微小地震観測に市販のテープレコーダーを 応用する試み

熊本大学理学部物理学教室 大 塚 道 男
京都大学理学部附属阿蘇火山研究施設 久 保 寺 章
熊本大学医学部附属診療放射線技師学校 檜 垣 強

(昭和 47 年 4 月 11 日受理)

An Application of Audio Tape Recorder to Seismic Observations

Michio OTSUKA

Department of Physics, Faculty of Science, Kumamoto University

Akira KUBOTERA

Aso Volcanological Observatory, Faculty of Science, Kyoto University

Tsuyoshi HIGAKI

Radiological Technical School, Faculty of Medicine, Kumamoto University

(Received April 11, 1972)

A test experiment has been carried out to apply audio tape recorder directly to seismic observations. Parallel seismic observation by use of the new technique with the traditional drum system and with data recorder system has proved its utility especially toward the micro seismic observations.

The sharp cut-off against the extra low-frequency signal which is inherent to audio tape recorders is a key to obtain high S/N ratio of seismic signal from extraneous noises.

The feasibility of tape recorders together with their low costs and light weight is expected to facilitate seismic observations particularly of aftershocks and swarms which require rapid mobilities of observation.

1. はじめに

余震や群発地震の観測に、その地動波形を記録することを目的としてデータレコーダーが利用されることが多い。波形の忠実な再現性を得る点において、その効用はすでに証明済みであり、あらためて問うまでもない。しかし、実用的観点から見たとき、データレコーダーの重量が、これらの地震の観測に要求される機動性に対して障害になつていないことは否めない。またデータレコーダーの操作は一般にある程度の技術を要し、委託観測の自由度を狭める。その上価格が高く、多点観測には不向きであるなどの欠点も備えている。

森谷 (1969) は、この欠点を考慮して、一般のテープレコーダーを地震観測に向くように手

直しすることを考案して、この方法が広く応用されている。この考え方は、テープレコーダーにデータレコーダーのもつ忠実度を賦与することである。それに対して、ここに紹介するのは、一般用のテープレコーダーを何等改造することなく、地震観測に応用することである。これは大変安直な試みに思えるが必ずしもそうではない。オーディオ用テープレコーダーの録音範囲は可聴周波数帯域を目標にしている普通地震観測の対象としている帯域とは異なる。そのある意味での‘不忠実さ’を積極的に地震観測に利用できないだろうかという発想に根ざすものである。

われわれがテープレコーダーを利用して行なつた地震観測の方法、検定、実例などについて述べるのがこの論文の目的である。

以下、テープレコーダーを用いる地震観測方式を T.R. 方式と略記し、それに対して、従来のデータレコーダーを用いる地震観測方式を D.R. 方式と書く。

2. 観測方法

われわれの用いた観測システムのブロックダイアグラムを Fig. 1 に示す。

Fig. 1. A block diagram of the proposed observing system.

ピックアップ：上下動，固有周期=1 sec，

電圧感度=3.2 v/kine,

前置増幅器：直流増幅器（電圧利得最高 60 db），

テープレコーダー：オーディオ用ステレオデッキ，

フィルター：0.5 μ F のコンデンサー 2 個と 3H のチョークで構成される π 型ローパスフィルター，

ペンレコーダー：直流増幅器付き（最高感度 0.02 v/cm）。

録音時は前置増幅器の出力をテープレコーダーの AUX. IN

ジャックに入れ，再生時は LINE OUT ジャックまたは EXT.

SP. ジャックよりフィルターにつなぐ。テープスピードは，録

音時にはできるだけ長時間録音するために 4.75 cm/sec，再生時

は作業の能率化のため録音時の 4 倍の 19 cm/sec を用いる。次節に本方式の周波数特性を示すが，これはこのようなテープスピードの変更を実施して検定したものである。T.R. 方式と時間送りを一致させるために D.R. の録音は 3 $\frac{1}{2}$ inch/sec で行ない，再生は 15 inch/sec でおこなつた。

3. 周波数特性

上に述べた方式における観測システムの総合倍率すなわち

記録紙上のペンの振幅 / 地動の振幅

を周波数の函数として書いたものを Fig. 2 に示す。後述するように、参考のため同一地点で D.R. 方式も試みたので、その周波数特性も Fig. 2 に書き込んである。ただし両方とも、それぞれのシステムで得られる最高感度ではなく、熊本市近郊の柿原で観測を実施した状態のままを書いてある。共に観測場所の雑微動を考慮して許容限界一ぱいである。

Fig. 2 で注目したいことは倍率のピークが D.R. 方式に較べて著しく高いこと、それに対して低周波と高周波において著しく低くなっていることである。低周波における下がりとはテープレコーダーが音声周波数帯を対象にしているため内部の増幅器に起因し、高周波のそれはローパスフィルターとペンの特性によるものである。特

に低周波域において著しく低倍率であり、中間周波域に向けて急上昇するこの特性は T.R. 方式の地震観測への適用性を厳しく規定する要因となり同時に利点ともなっている。

4. 実 測 例

ここに述べる予備観測後、実測例は着々と蓄積されつつあるが、ここでは主として予備観測を行なった柿原での観測結果について述べる。柿原は熊本市の中心部より北西方 5 km、国鉄鹿児島本線より 1 km 程離れた地点である。この場所での地震観測は、かねてドラム式記録方式で行なわれ、しばしば小さな地震が発生する地域として注目されて来た。その頻度は大体一日に 2~3 個程度であつた。

この土地でドラム方式と並行して、T.R. 方式の観測をした結果、ドラム記録に対応しない小さな振動が幾つも見つかった。その頻度は大体一時間に 1~2 個であつた。これはドラム方式では記録されない小さな地震ではないかと思われたが、その確証をつかむために平均 500 m 程のスパンのトライパタイトネットを張り、通常おこなわれるようなデータレコーダー記録と共に、三つの地震計のうちの一つを T.R. 方式に分岐した。その結果の例を Fig. 3 (a)~(c) に示す。いずれも上 3 段が D.R. 方式による記録、最下段が T.R. 方式による記録である。ただし、D.R. 方式と T.R. 方式を同時に再生して絶対時刻を同一記録紙上で揃えることは至難であつたので D.R. 記録と T.R. 記録は別々に記録して貼り合わせたものである。従つて

Fig. 2. Magnification curves of the proposed system and the traditional system with data recorder. Both curves are plotted for the actual conditions as used in obtaining records presented in this report.

Fig. 3. Examples of records obtained in the comparative observations of D.R. and T.R. systems.

T.R. 方式と D.R. 方式の厳密な同時性には疑問があるが時計から分マークが記録されているので振動の対応関係には全く疑いがない。

これによつて T.R. 方式が小さな地震を記録することは証明されたと言つてよいであろう。しかも、いずれの記録を見ても、初動立ち上りのみを問題にするならば T.R. 方式が D.R. 方式に較べておとつていることは全くない。このことは Fig. 3 中の幾つかの記録を早送りにした Fig. 4 (a)~(c) になお明瞭に見とれるであろう。

なお、この予備観測には正確な時計を使用しなかつたが、後に行なわれた多点観測にはステレオデッキの他チャンネルに水晶時計の秒パルスが入れられている。その記録の一例を Fig. 5 に示す。上 2 段は柿原での記録、下 2 段は柿原から西へ 6 km 程離れた岩戸という観測点での同一地震の記録である (時計には補正が必要のため両記録の秒パルスの同時性はこの図からは保証されない.)。

初動の発震時が高い精度で読みとれることが了解されるであろう。このように多点観測が極めて高い時刻の精度で行なうことが、T.R. 方式の最も真価を発揮する点ではないかと思われる。

Fig. 6 はやや遠い地震の初動から初期微動の部分の記録である。驚くべきことに、T.R. 方式の記録には地震の痕跡すら見られない。この地震の周期が約 1 秒程度のものであることと、周波数特性とを考え併わせると寧ろ当然のことであるが、このことは T.R. 方式の適用範囲が

Fig. 4(a)

Fig. 4(b)

Fig. 4(c)

Fig. 4. Detailed waveforms of some seismograms in Fig. 3 with the enlarged horizontal scale.

Fig. 5. An example showing seismograms of the corresponding earthquake at the two stations 6 km apart. Note that each seismogram is accompanied by accurate crystal clock pulse so that onsets of events can be read very accurately.

Fig. 6. An example of seismogram of an earthquake at distance. Note that even a trace can not be found in T.R. record.

極めて近い小さい地震に限られていることを如実に物語っている。

Fig. 7 は国鉄鹿児島本線の列車通過による微動の推移である。図の右側 2/3 は列車が最も近距離を通過中の一分半程の記録であつて、D.R. 方式、T.R. 方式共にノイズレベルは高い。図の左側 1/3 の部分はこの約 5 分前の状態を示している。注目してほしいのは、列車通過の 5 分前に D.R. 方式の記録にはやや長い周期の振動がすでに始まつているのに対して、T.R. 方式の記録は全く静かであることである。(T.R. 方式の記録の中に所々、クリックの認められるのは、分を示すタイムマークである。) このことは、列車までの距離が遠くなる程高周波振動

Fig. 7. Comparison of ground noise from passing train. Note that while in D.R. records noise is high in the records 5 minutes ahead the approach of train, it stays quite calm in T.R. record.

はその時間が 1 分程度であることを Fig. 7 は物語っている。

5. 委託観測

D.R. 方式では一般に機械のあつかいに技術を要するので委託観測の幅に制限をうける。また、価格、重量、保守のための人件費などのため多点観測には適さない。それに反して T.R. 方式は、機械の扱いやすさのため、委託観測が可成り自由であり、人件費が少なくてすむこと、軽量でスペースをとらないことなど、極めて多点観測向きの面を沢山もっている。事実、この論文にある D.R. 方式でのトライパタイト観測の折、夜間の観測に延べ 20 名余りの学生の援助を受けた他は、それ以後各地で試みている多点観測を含めて、すべて委託観測によるものである。テープレコーダーの始動・停止、ラジオの時報記録方法など、すべて自動化されているので観測者はただ一日一回テープのかけかえ作業をするだけである。ただ、今の所、最長テープを用いても 4 時間しか記録できないので深夜の 4 時間だけ観測できるようにしているのが改善を待たれる点である。観測をお願いした方々の中には中学生や家庭の主婦もあつたが観測技術上の失敗は非常に少ない。Fig. 5 の記録はこうして得られたものの一例である。

録音されたテープは研究室で紙記録に再生されるが、その方法についても触れておこう。一般にテープレコーダーはテープの早送り状態では音がきこえないしくみになっている。これをテープの早送り状態でも音のきこえるように改造するのはきわめて簡単な作業である。こうして、録音されたテープを早送りすると雑微動の音が風のささやきのようきこえる。地震の音はピストルの発射音のようきこえるのですぐにわかる。そこでテープを止め、一寸戻して 19 cm/sec のテープ速度で再生すればいいだけである。この方法は大変効果的で遅送りの再生記

が消えてゆくという嶋等 (1970) の結果を考え併わせて予想されることである。

前述の通りこの観測点は線路から僅か 1 km 程度しかへだたつていない。もし、この地点で D.R. 方式またはドラム方式の観測を行なうとすれば、列車の通過時は、その前後かなり長時間にわたり大振幅のノイズに悩まされなければならない。その時間は少なく見積つても 10 分にのぼる。T.R. 方式

た。筆者等は初動の時刻や方向のみを対象にしているので、一寸乱暴な言い方だが、たとえそれが高次振動によるものであつても構わないと考えた。しかし、もし、そのことが T.R. 方式の利点となつているのならば、少なくとも Fig. 2 による T.R., D.R. 両方式の比較は意味をもたなくなる。同図は前置増幅器の入力電圧以降の検定結果に振動理論による P.U. の特性を接続したものである。

そこで、筆者等がかつて P.U. の電圧感度を検定する目的で振動台による加振テストをおこなつた結果を示してそのことに答えてみたい。使用した P.U. は本論文におけるものと同一である。Fig. 9 の横軸は加振周波数、縦軸は P.U. からの出力電圧を示す。

Fig. 9. Calibration of the P.U. by a shaking table.

目的が異なつていたので 15~20 c/s の間のデータが欠除していることが惜しまれるが、この間の電圧上昇が全く正常であることを確かめた上でスキップしたものである。20 c/s より高周波での検定は技術的に困難が多かつたのでなされていない。

しかし、当面の問題に対するデータとしてはこれで十分であると思う。すなわち、Fig. 4, Fig. 5 において、T.R. 方式で記録された振動の周波

数がほとんど 12~20 c/s の範囲に収まつていると思われるからである。T.R. 方式は P.U. の高次振動にたすけられたのではないということはあるだろう。

ちなみに、Fig. 9 の直線の勾配より求めた電圧感度は 2.95 v/kine であり公称よりやや低い。振動台の振幅 0.2 mm の絶対値にも多少疑問があり、この方法によつて電圧感度を求める試みは甚だ困難である。

なお、本実験にあたり振動台の使用をお許しいただいた熊本大学工学部、吉村虎蔵教授ならびに実験に御協力いただいた緒方典介、宮崎靖男の両氏に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 嶋 悦三・柳沢馬住・工藤一嘉, 1970, 列車によつて起こされた波動の減衰, 地震 2, 23, 332-333.
 森谷武男, 1969, 安価にできるポータブル・データレコーダー, 地震 2, 22, 146-147.