

# GPSを内蔵した小型データロ ガーの開発

東北大学理学部宇宙地球物理学教室\*

西村太志

東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センター\*\*

森田裕一・浜口博之

Development of Small Digital Data Logger  
with Global Positioning System

Takeshi NISHIMURA

Geophysical Institute, Faculty of Science, Tohoku  
University, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980, Japan

Yu'ichi MORITA and Hiroyuki HAMAGUCHI

Observation Center for Prediction of Earthquakes  
and Volcanic Eruptions, Faculty of Science,

Tohoku University, Aramaki,

Aoba-ku, Sendai 980, Japan

(Received January 27, 1994;

Accepted March 10, 1994)

## § 1. はじめに

微小地震の高精度の震源決定や詳細な地殻構造の推定には、十分な時計の精度を確保することが必要不可欠であり、高精度の刻時を容易に確保できるテレメータ方式の観測が広く用いられてきた。しかし、テレメータ方式は、商用電源や信号伝送用の有線・無線回線の確保の必要性から観測点場所に制約を受ける。また、発展途上国でのテレメータ方式による地震観測には、無線用電波の許可や電源等の確保を必要とし、資材の運送費等の経済的問題なども生じる。

そこで、装置が軽量で機動性に富む、データロガーを用いた地震波形収録方式が考えられる。しかし、現在使用されているロガーの多くは、内蔵時計の精度が $10^{-4} \sim 10^{-6}$ であり、十分な刻時精度を確保するためには、ラジオ等から基準刻時信号を入力し、内蔵時計を校正しなければならない。また、消費電力は数ワット以上で、蓄電池での長期の地震観測には不向きである。

最近、森田・西村 (1993) は、GPS 受信機基板と市販の CPU ボードを利用し、小型の低消費電力 (5 V, 35 mA) の GPS 時計を開発した。その結果、ミリセカンド

の高精度の刻時をメンテナンスフリーで確保することが容易となってきた。また、一方では、電子部品の低消費電力化やメモリーの大容量化も進みつつある。そこで、GPS 時計の機能に、増幅部・A/D 変換部・メモリー部等からなる地震波収録機能を組み合わせ、高精度の刻時機能を有し、かつ、低消費電力動作の小型データロガーを開発したので報告する。

## § 2. データロガーの構成

### 2.1 設計方針

刻時精度を容易に確保し、操作性をよりよくするために、以下の事項をロガーの主な設計方針とした。

(a) GPS の刻時信号を利用してミリ秒の刻時精度を確保する。

(b) 商用電源のない地域での長期観測を可能にするために低消費電力動作とする。

(c) ケーブルの接続やパラメーターの設定等の作業を極力少なくする。

(d) 動作状況の確認を容易にし、未熟者にも観測の保守を可能にする。

(e) データ回収・編集は汎用性をもたせ、かつ、操作を簡単に行えるようにする。

### 2.2 仕様

今回開発したデータロガーの仕様の概要を Table 1 に、ブロックダイアグラムを Fig. 1 に示す。低消費電力動作を実現するために、信号増幅部などのアナログ素子や CPU, A/D 変換部等の電子部品は、集積度が高く小型・低消費タイプのものを選択した。

ロガーの心臓部にあたる CPU は、動作モードとしてスリープモードが装備されている CMOS 8 bit CPU の Z84C015AF (Toshiba) を採用した。動作クロックを約 5 MHz で使用し、消費電力を極力小さくするために、この CPU の持つスリープモード機能を最大限使えるように回路とソフトを設計した。Fig. 2 に動作の概略を示す。電源投入後、初期設定を行い、GPS 受信機から時刻と測位情報を読み込んだのち、スリープモードに入る。そして、1 ms 毎にかかる水晶時計からの割り込み (NMI; マスク不可割り込み) により動作を開始し、時間のカウントアップ、A/D 変換、トリガー判定、液晶への表示を実行したのち、再びスリープモードに入る。そして、次の割り込みまで動作を停止したまま待機する。動作停止中にはほとんど電流を消費しないため、この設計により、スリープモードを使わないときに比較して約 30 mA の電流を節約することができた。これらのアルゴリズムは、アセンブラ言語で記述されたソースプログラムをパソコン上でコンパイルし、ROM に焼き付けら

\* \*\* 〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉

Table 1. Specifications of the Data Logger.

Analog Input	: 4 channel (differential)
Amp Gain	: 1, 10, 100, 1000
Low Pass Filter	: 12 dB/oct $f_0 \sim 1\text{--}300$ Hz
A/D Resolution	: 12 bit
Sampling frequency	: 100, 200 Hz
Waveform Data Length	: 3000, 4000, 6000, 9000 samples
Recording Medium	: IC MEMORY CARD (JEIDA Ver. 4) SRAM 2 MByte
Time Accuracy	: $\pm 2$ ms
Display	: LCD (16 charas $\times$ 2 lines)
Supply Voltage	: 6–15 V
Power Consumption	: 5 V: 50 mA (typ.) +400 mA (at GPS operating)
Size	: 30 $\times$ 40 $\times$ 6 cm
Weight	: 3 kg

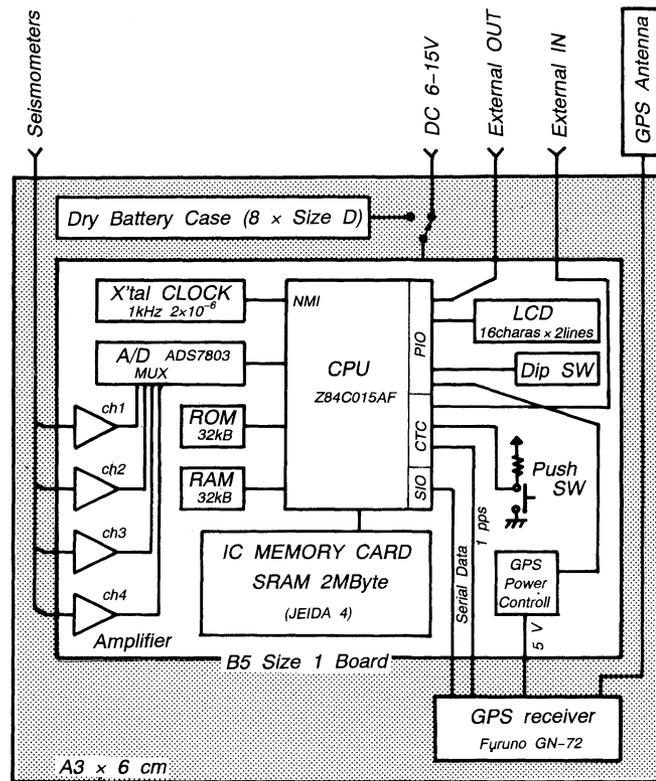


Fig. 1. Block diagram of the data logger.

れている。従って、トリガー判定の論理や液晶への表示内容等は、ソースプログラムを書き換えることにより容易に変更できる。次に、波形収録や時計較正機能等について若干の説明を加える。

地震波形信号の入力は4チャンネル用意されている。アンプには、計測アンプ (INA 102; パーブラウン社; 無信号時電流  $750 \mu\text{A}$ ) を利用し、低消費電力・高精度化

を図っている。また、アンチ・エイリアシング・フィルターも用意し、その遮断周波数は、数 Hz から数百 Hz までの範囲で、外付けの抵抗により設定できる。そして、サンプルホールド・マルチプレクサ機能内蔵で、分解能 12 bit の A/D 変換器 (ADS7803; パーブラウン社; 動作時 10 mW) によりデジタル化する。サンプリング周波数・チャンネル数は基板上に用意されたスイッチ

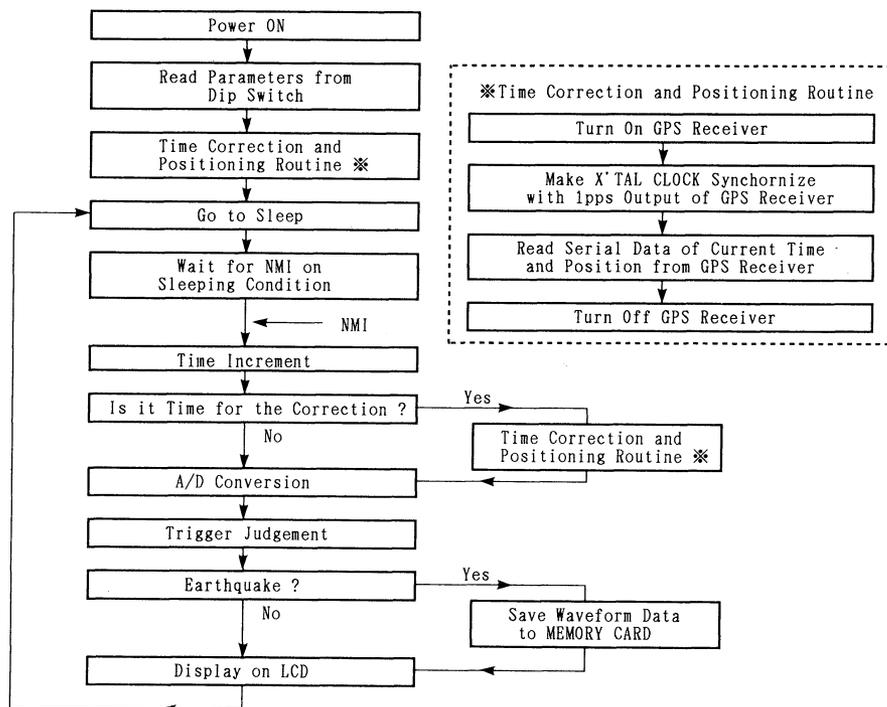


Fig. 2. Data acquisition algorithm. NMI is a non maskable interrupt by X'tal Clock. Details of the subroutine 'Time Correction and Positioning Routine' is indicated in the right side enclosed by a dash line.

(Dip SW) により選択できる。A/D 変換されたデータは、まず、RAM に一時的に記録される。このうちチャンネル番号 1 に取り込まれたデータは、以下の手順でトリガー判定に用いられる。まず、過去 10 分間の平均振幅  $(A_i)$  を計算する。そして、取り込んだデータの振幅  $(A_i)$  との比  $r = |A_i/A_i|$  を求める。この比  $r$  がトリガーレベル  $(R)$  を 500 サンプルの間に  $N$  回以上超えたとき、地震であると判定する。パラメータ  $R$  と  $N$  は、Dip SW により設定できる。地震と判定されたときは、Dip SW により設定されたデータ数を RAM に取り込んだのちに、IC MEMORY CARD (以下 IC CARD) へ転送・保存される。プレトリガーのデータ数は、全データ長の約 1~2 割に設定されている。また、波形データの他に、時間・測位データ・GPS 時刻校正情報等も保存される。

データ保存に用いた IC CARD は、JEIDA ver 4 規格の 2 MByte SRAM である。この JEIDA ver 4 規格のカードは、日本電子工業振興協会と米国の PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) の規格と共通であり、現在 2MByte の容量のものまで市販されているが、同一形状のまま 64 MByte までの拡張性が用意されている。また、IC CARD には可動部がないため振動やほこりには比較的

強い。

GPS 受信機 (GN-72; 古野電気) を利用した時計機能に関するハードウェア・ソフトウェアの仕様は、森田・西村 (1993) と同様である。低消費電力化を図るために、通常は、温度補償型水晶 (TCO-703A; TOYOCOM, 精度  $2 \times 10^{-6}$ ;  $-10 \sim 40^\circ\text{C}$ ) を用いた 1 kHz の発振信号を NMI 端子に入力し、RAM に記録されている時間をカウントアップする。そして、1 時間に 1 回の頻度で GPS 受信機の電源を投入し、出力される刻時信号と測位データを読み込み、1 秒パルスと水晶の発振の同期をとる。これらの時刻校正作業は約 30 秒から数分間に終了し、GPS 受信機の電源は切られる。そして、再び水晶時計により時刻管理が行われる。時計の刻時精度は  $\pm 2 \text{ ms}$  以内 [森田・西村 (1993)] であり、微小地震観測に十分な時計精度を確保することができる。

ローガーの動作状況を把握できるように、基盤上に 16 文字 2 列の液晶 (LCD) を装備した。液晶は常時 2 mA 程度の電流を消費するが、全体の消費電流に比較して小さいので、常に電源は投入されている。この液晶には、A/D 変換中、波形収録中、時計校正中といったローガーの動作の状況を示す表示の他に、IC MEMORY CARD のメモリー使用状況、時刻校正・測位情報、入力信号の振

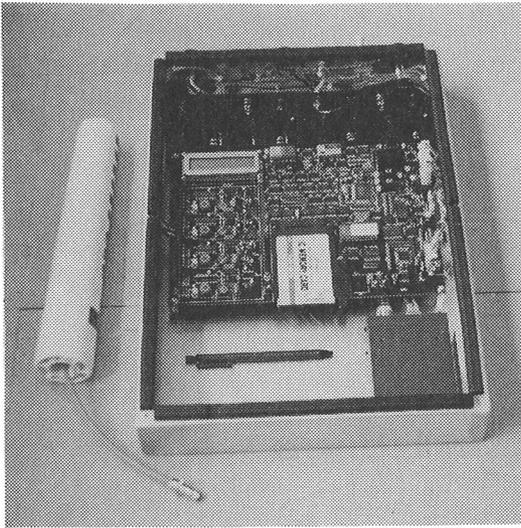


Photo 1. View of the data logger. GPS Antenna is shown in the left side of the data logger.

幅等の情報をプッシュスイッチ (Push SW) により選択し表示することができる。また、付属として、外部出力信号端子からのタイムコードの出力や、外部入力端子へのトリガー信号入力により波形収録の開始もできる。

以上の機能は、B5版の1枚のボード上に配置され、GPS受信機とともに、A3サイズ(30×40×6 cm)の一つのケースに納められている(Photo 1)。ケースの外側に接続するラインは、地震計信号入力線、電源線、GPSアンテナ信号入力線、外部出力線のみにし、コネクタ接続作業に伴う設置作業の複雑さやトラブルの軽減化を図っている。

ロガーの消費電流は、デジタル部約 40 mA/5 V (typ)、アナログ部約 8 mA/5 V (無信号入力時)である。また、GPSが動作する1時間に数分間は、さらに約 400 mA/5 V の電流が消費される。従って、内蔵の乾電池ケースにアルカリの単一電池(約 10 Ah) 8本を装着することにより約 2週間、また、40 Ahの車載用鉛蓄電池で約 4週間の連続動作が可能である。

### § 3. 設置作業

地震計やGPSアンテナを設置し、電源を投入すれば、ロガーは、自動的に時刻設定と観測点の測位(30秒から数分)を行い、ディップスイッチの設定に従って地震波の収録を開始する。その後、液晶に表示される各種情報(時刻・観測点位置・各チャンネルの振幅値・使用メモリー容量・時刻校正情報等)を確認することにより、ロガーが正常に作動しているかどうか判断できる。また、ディップスイッチで設定されるサンプリング周波数・

チャンネル数・トリガーパラメータ等の情報は動作中にいつでも液晶表示で確認できるので、設定ミスによるトラブルが軽減される。

### § 4. データ回収・編集

観測点でのデータ回収の作業は、IC MEMORY CARDの交換によって行う。IC MEMORY CARDの交換は、フロッピーディスクとほぼ同様な操作感覚で行うことができる。また、カードが抜かれている状態では、「NO IC-CARD」の画面を液晶に表示し、挿入ミスのトラブルを防止している。

回収されたIC CARDのデータは、パソコンを用いてフロッピーディスクに転送され編集・保存する。IC CARDのReader/WriterはRS-232Cを利用できる装置(JA232-NT; FUJISOKU社)を用い、各種パソコンとの接続を可能とした。転送時間は、19200 bpsで約20分である。なお、パソコンのバス直結タイプのReader/Writerを使用すれば、数分間でデータ転送が可能である。波形データは、IASPEIのPCEQフォーマットに準拠して保存するよう設定されているので、震源決定・スペクトル解析・コードQ解析等は、IASPEIのソフトウェア[LEE *et al.*, 1986]の使用が可能である。

これらのデータ転送作業の際には、データ確認のため、パソコン画面上への波形表示も同時に行われる。また、操作は、フロッピーディスクの交換やリターンキーの入力作業だけであるので、パソコンに習熟していない人も容易に行うことができる。なお、このデータ編集プログラムは、すべてQUICK BASICの言語で記述されているので、PC98シリーズやIBM系のパソコンのいずれでも実行できる。

### § 5. おわりに

地震計とGPSアンテナの設置後、データロガーの電源を投入すれば、刻時精度の高い地震波形データとともに、GPSにより観測点の位置が数10mの誤差内で記録される。従って、地図から位置決定することが困難なときや、外国で地図を入手することが困難な場合にも、容易に精度の良い位置情報が得られる。また、低消費電力で作動するので、車載用鉛蓄電池(およそ12 Ah以上)と、最大出力10W程度の小型太陽電池(表面積: 約30×40 cm)を併用することにより、定常観測の実施が十分可能である。また、IC MEMORY CARDによるデータ回収は観測点現場へ持ち込む装備を小さくするので、山岳地等の保守の労力を軽減できる。

現在、ザイール共和国自然科学研究所(C. R. S. N.)と共同で、東アフリカ地溝帯地域において、今回開発した

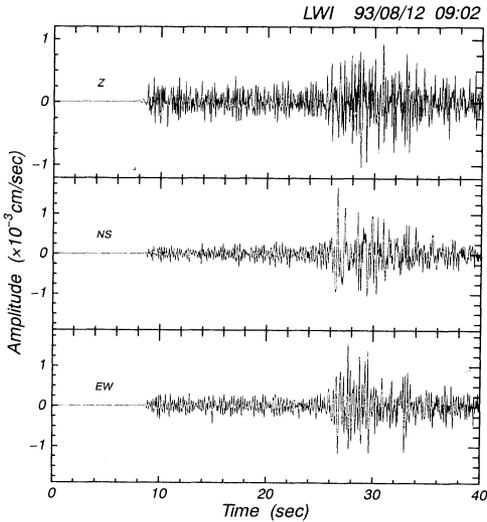


Fig. 3. An example of seismograms recorded at East African Rift System. [Lwiro Station (C. R. S. N., Zaire), on Aug. 15, 1993]

ロガーによる定常地震観測を実施している [西村・他, 1993]. その際, ロガーが小型軽量であったため, 貨物として輸送する必要がなく, 旅行用トランクで現地に持ち込むことができ, 調査期間を短縮することに役立った. また, データ回収作業の説明を現地の技術職員に半日程度ただけで, 現在, ロガーの保守とデータ回収・編集は順調に行われている. 現地からは, フロッピーディスクのコピーを郵送してもらい解析に利用している. Fig. 3 は, 同地域で記録された自然地震波形例であ

る. このように, これまで商用電源や高精度のメンテナンスフリーな時計がないために, 高精度の微小地震観測をすることが困難であった同地域を含め, 世界のどの地域に於いても, 今回開発したロガーにより高精度のデータを取得することが可能となった.

このロガーは小型・軽量であり, 短時間の設置作業で測位データを自動的に記録できることから, 爆破実験等による構造探査にも利用することも可能である.

#### 謝 辞

このロガーを用いた観測の際には, ザイール自然科学研究所 (C. R. S. N.) の N. Zana 博士, M. Sassa 氏, T. Mavonga 氏, M. Akumbi 氏をはじめ, 同研究所職員の協力を頂きました. また, プリント基盤の設計や部品選択等では, 凌和電子(株)の大羽政司氏の協力を頂きました. 記して感謝致します. この研究では, 国際学術研究(学術調査) (No. 04041018) の一部を使用しました.

#### 参考文献

- LEE, W. H. K. (Ed.), 1989, Toolbox for seismic data acquisition, processing, and analysis, IASPEI Software Library, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior.
- 森田裕一・西村太志, 1993, GPS 受信機基盤を用いた高精度地震観測用時計の開発, 地震 2, 46, 67-74.
- 西村太志・森田裕一・浜口博之・T. MAVONGA・M. SASSA・N. ZANA, 1993, GPS 内蔵小型データロガーを用いた東アフリカ地溝帯における微小地震観測, 日本地震学会講演予稿集, No. 2, 270.