

Free-Unix を用いた安価な自動微気圧データ計測・転送 システムの開発

綿田辰吾*・功刀 卓*

Cost Effective Automated Data Collection and Transmission System for Microbarograph Network Using Free-Unix

Shingo WATADA* and Takashi KUNUGI*

Abstract

We have developed a cost effective microbarograph collection and transmission system using free Unix. The system runs under Linux OS in a DOS/V compatible machine connected to an intelligent microbarograph with RS-232C communication, a digital GPS clock for car navigation, and a modem. A center machine dialups each machine at observational sites one by one at night and collects one-day data. Three novel points are : 1) the system does not have an analog circuit part to be adjusted so that the system can be maintained by non-specialists over the network, 2) the system can be modified and rebooted through the phone line from a remote site, 3) extension and modification to include other low-sampling-rate geophysical data in the system can be done easily at a nominal cost.

Key words : Microbarograph, Free Unix, Linux, Data Transmission, PPP, WIN

はじめに

常時自由振動の発見 (Nawa *et al.*, 1998) に伴い、大気海洋中のどのような現象が地球を揺らしづづけているのかに、興味が集まってきている。その励起源の解明のためには、常時自由振動帯域での直接地球を揺らし続けている大気圧の振舞いを知る必要がある。大気中に含まれる様々な周波数、波長の現象を調べるため、日本列島規模の微気圧計測ネットワークの構築に向けて、基本システムを作成した。システムはなるべく安価な消耗品で構成されること、維持費用を圧縮しながらも、無人自動収集解析が可能なこと、障害発生時が 1 日程度の遅れで把握できることを目標とした。開発途中の 2000 年 3 月 31 日、北海道有珠火山で噴火が発生したので、急遽北海道で臨時観測し、微気圧データを収集することに成功した。以後、現在までに北海道音別町、宮城県女川町江ノ島、高知県室戸市の 3 観測点で定常観測を開始した。本稿では、微気圧計測システムの

ハード構成、ソフト、運用形態について詳細に報告する。

基本構成

ハードウェア (図 1)

微気圧計以外は消耗品扱いとなる。

微気圧計 Paroscientific 760-16 B 60 万円

パソコン本体コンパクト Prosignia Desktop 320 8 万円

内蔵モデム I-O データ IFML-560 (ISA バス) 用 1 万 5 千円

GPS 時計 SONY IPS-5000 IPS-5000 用レベルコンバータ IPL-500 D 2 点合計 3 万 5 千円

マルチシリアルポート Cyclades CYCLOM-8 YEP/DB 25 7 万 5 千円

微気圧計継手 SWAGELOCK SS-10 M-6-4 2 千円

無停電電源装置 APC Smart-UPS 700 5 万円

微気圧計

微気圧計は水晶発信振動数の圧力、温度依存性を利用したものである (Paroscientific Inc., 1995)、一定時間の水晶の振動数 (約 40 KHz) を、より早い周波数 (10MHz) の基準振動数で測定し、水晶の振動数を測定する。測定時間が長ければより精度のよい圧力が得られるが、その値を出力

2000 年 10 月 6 日受付, 2000 年 10 月 30 日受理.

* 東京大学地震研究所海半球観測研究センター.

* The Ocean Hemisphere Research Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

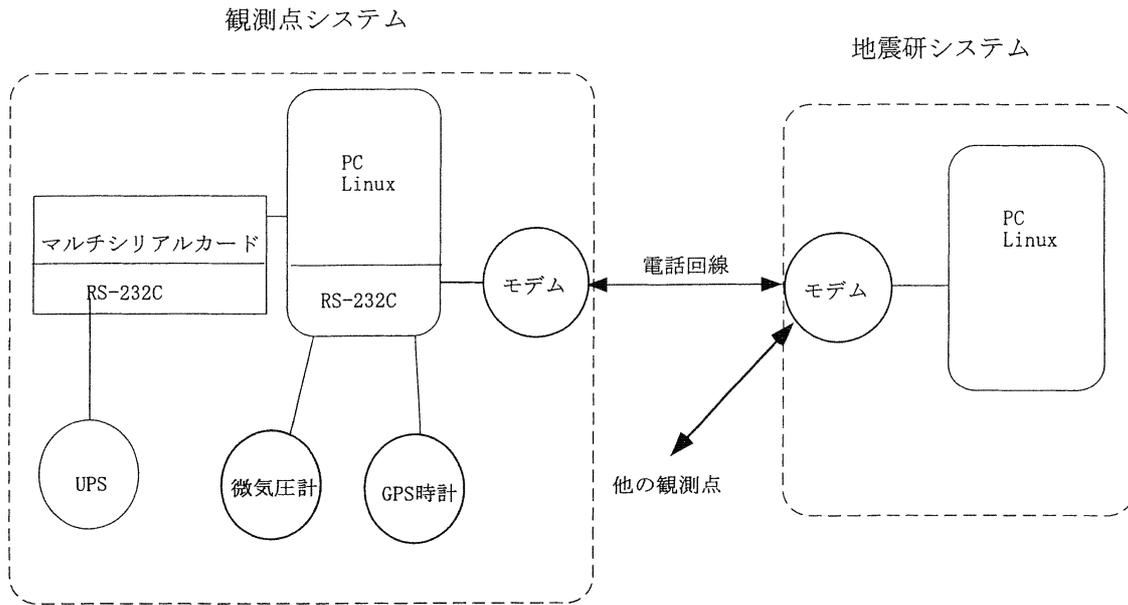


図 1. 微気圧計測・転送システムハード構成

するまでに要する時間が長くなる。実際には、個々の微気圧計水晶の温度補正項が記憶された ROM が微気圧計内に内蔵されており、圧力測定用と温度測定用の水晶の振動数が測定される。さらに、内蔵マイクロプロセッサで温度補正がなされた気圧値が双方向の RS-232 C から出力される。微気圧計は、RS 232-C インタフェースから各種コマンドにより様々な設定が可能となっている。振動数測定積分時間の設定により、積分時間 28 秒で最高分解能 0.05 ppm (対絶対大気圧) から、最短積分時間 0.0028 秒で分解能 240 ppm まで設定可能となっている。実際の測定間隔は積分時間にマイクロプロセッサの計算時間、RC 232-C によるデータ伝送時間を含むが、およそ測定間隔の時間の平均圧を出力していると思って良い。1 Hz サンプリングでは分解能はほぼ 2 ppm となる。計器のノイズは、圧力取りこみ口をふさぐとわかるが、分解能よりもはるかに低い。伝送速度は 150 bps から 19,600 bps までの 8 段階に設定可能。1 秒間の移動平均の振幅特性を評価する。元波形 $f(t)$ を間隔 Δt でサンプリングして $f_k = f(t = k\Delta t)$ と、 $f(t)$ を間隔 Δt で平均してえられる値 $g_k = \frac{1}{\Delta t} \int_{(k-1/2)\Delta t}^{(k+1/2)\Delta t} f(t) dt$ の周波数応答比を、 $f(t) = e^{i\omega t}$ として調べると

$$\frac{g_k(\omega)}{f_k} = \frac{\sin \frac{\omega \Delta t}{2}}{\frac{\omega \Delta t}{2}} \quad (1)$$

となる。この周波数特性は、低周波側に大きな振幅を持つが、ナイキスト周波数 $\omega = \frac{\pi}{\Delta t}$ より高いところにも振幅をもつ応答関数となっている。したがって、ナイキストに近

い高周波波形を扱うときには注意しなければならない。

パソコン本体

通信販売で一番安い PC を購入。CPU Celeron 500 MHz, メモリ 64 MB, 内蔵ハードディスク 6 GB. PCI バスにマルチシリアルカード, ISA バスに内蔵モデムを挿入。本体装備の 2 個のシリアルポートは微気圧計と GPS 時計につながる。

内蔵モデム

Linux で使用可能な ISA バス用の内蔵モデムを使った。NTT ドコモの携帯電話を外部モデムとして使用する PDC データアクセスユニット V をマルチシリアルポートに接続して利用することもできる (平田ほか, 1999)。この携帯電話モデムを使った観測点システムは、NTT 公衆回線を引くことが容易でない国立天文台乗鞍コロナ観測所での微気圧観測に用いた。

GPS 時計

SONY IPS-5000 はカーナビゲーションなどの汎用に作成された GPS 時計で、シリアルインターフェースを持ち、時刻情報 (世界時), 同期情報, 位置情報, 衛星方位, 電波受信情報などを含む 110 文字を、TLL レベルコンバータ IPD-500D を経由してシリアルポートへ毎秒送信する (株式会社ソニー, 1995)。GPS 時計の初期化や各種設定もシリアルポートを介して行われる。地震計測用に使われる GPS 時計のように 1 pps のアナログパルス信号は出力しない。文字情報の発生間隔は 10 ミリ秒前後ふらつくが、低速データには十分である。シリアル伝送速度は 9,600 bps 固定である。

マルチシリアルポート

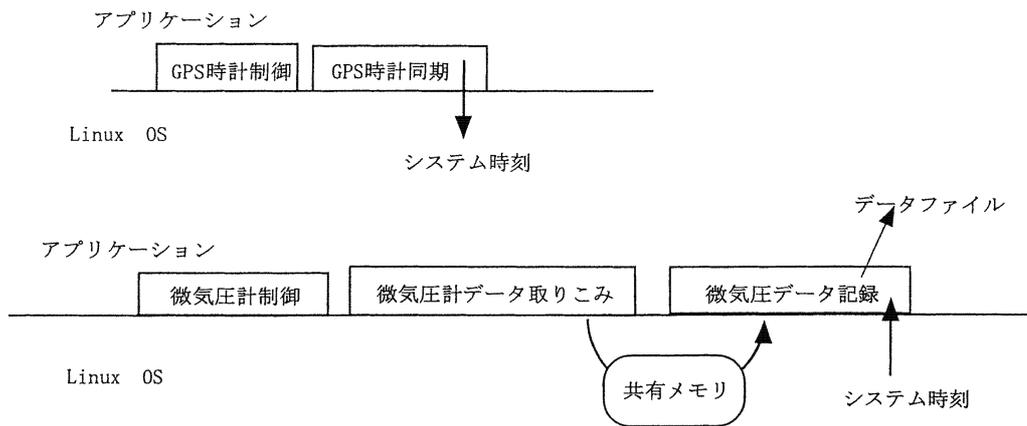


図 2. 微気圧計測・転送システムソフト構成

本システムでは、モデム、微気圧計、GPS 時計、無停電電源装置と 4 個のシリアルデバイスを使用するため、シリアルポートの増設が必要となる。使用した Cyclades 社のマルチシリアルポートは、通常の配布される Linux で標準にサポートされ、ドライバはモジュールで組み込まれる。購入したマルチシリアルポートは 8 個あるポートのひとつを使用するが、未使用のポートには他の観測機器の増設が可能である。

微気圧計継手

微気圧計から塩ビチューブなど圧力を取り出すときには、微気圧計の圧力計測バルブとチューブを連結する。

無停電電源装置

American Power Conversion 社は各種市販 OS 向けの制御ソフト Powerchute を販売しているが、Smart-UPS 700 用に、Linux 向けの制御ソフト Powerchute を無料公開している。Powerchute を用いると、停電、復電時の細かな設定、指示が可能となる。本システムはモニタを除き、Smart-UPS 700 からの電力供給で 100 分間以上稼動する。

ソフトウェア (図 2)

時刻同期用とデータ収集用のプログラムは完全に分割し、それぞれ単独で運用可能となっている。GPS 時計が故障した場合でも PC のシステム時間を基にデータ収集プログラムが稼動する。また、将来他の観測機器を余裕のあるマルチシリアルポートに接続し、微気圧計と同様に独立プログラムを同じ PC 内で動かすことによりデータ収集が可能となる。複数のシリアルポートに接続された機器から個々のタイミングでデータを受信するため、select () 関数を用いてシステムの負荷が大きくなるようにした (Johnson and Troan, 1998)。同一シリアルポートを複数のプログラムで同時に使用することを避けるため、ロックファイルにより排他的制御を行っている。すべてのプログラムは Linux 上で C 言語を用いて書かれ、GNU C コンパイラでコンパイルされ、RedHat 6.1J 上で稼動している。

GPS 時計制御プログラム check_gps.c
 微気圧計制御プログラム check_baro.c
 GPS 時刻同期プログラム set_clock.c
 微気圧データ取りこみプログラム shm_baro.c
 微気圧データ記録プログラム get_baro.c

GPS 時計制御プログラム

GPS 時計が出す文字列情報を可読な形にして表示したり、GPS 時計の設定コマンドを発行する。

微気圧計制御プログラム

微気圧計記録を数値出力させたり、微気圧計の各種設定を行う。

GPS 時計同期プログラム

GPS 時計からの文字列情報から時刻情報を取り出し、PC のシステム時間を GPS 時刻 (GPS が同期していない場合は GPS 時計の内部時計の時刻) に同期させる。同期する頻度は 1 秒毎から 1 日毎までコマンドラインで設定可能。通常は 10 分毎に設定。同期したときの GPS 時計とシステム時刻をログファイルに記録する。なおすべて時刻は世界時 (UTC) を採用している。

微気圧データ取りこみプログラム

微気圧データ記録プログラム

微気圧計からシリアルポートへのデータ出力頻度は微気圧計の設定により変更できるが、その頻度は正確に 1 Hz とならない。そのため、データ取りこみプログラムが微気圧計の測定頻度で数値を共有メモリへ出力し、微気圧データ記録プログラムが GPS 時計に同期した頻度で共有メモリから記録を取り出すサンプリングを行うように設計した。データの受け渡しにファイルではなく、共有メモリを使用したのは、より安全で正確、高速な受け渡しを行うためである (卜部, 1994)。今回、読みこみ部と書きこみ部は、他の各種記録計や記録方式に対応して将来の移植性を高め

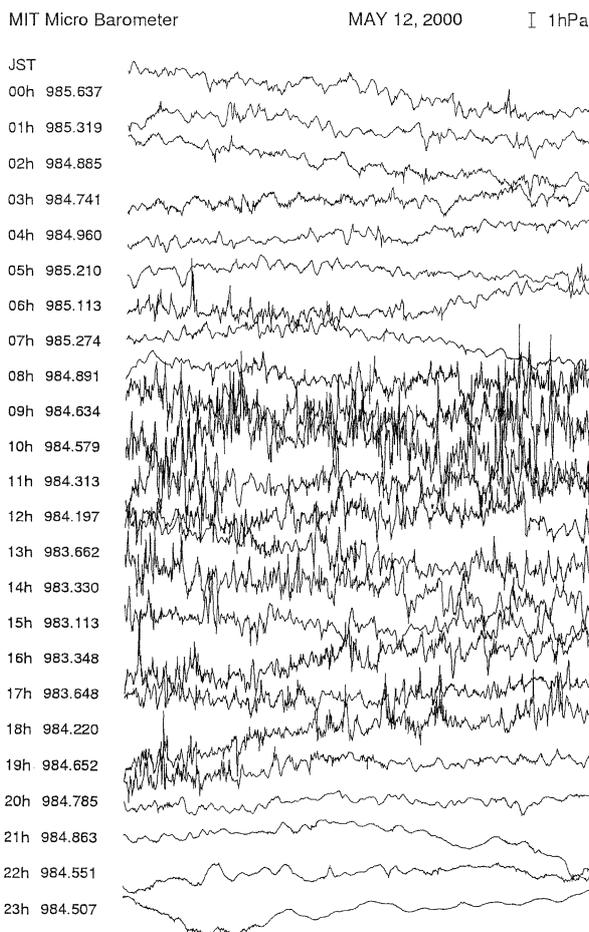


図 3. 北海道有珠山近くの北海道大学有珠火山観測所三豊観測点で観測された 2000 年 5 月 12 日のモニタ記録

るため分割した。記録方式は 1 分間 60 個のデータを 60 Hz のデータとして WIN 形式 (卜部, 1994) で圧縮し, 1 時間に 1 個のデータファイルを作成する。

システムの運用形態

運営を自動化するために, 観測点システムと収集局システムでは cron を用いて適当な時間に各種プログラムが起動される。

観測点システム

観測点では微気圧計取りこみプログラムと, 記録プログラムが常に稼動している。この二つのプログラムが立ち上がっているかどうかの判断をし, 立ち上がっていない場合には立ち上げるシェルスクリプトを毎分実行している。cron で 10 分おきに GPS 時計同期プログラムが実行され, GPS 時刻とシステム時刻の同期がとられる。観測点マシンには PPP サーバがインストールされ, 一般公衆回線を通じて, 収集局からの PPP ダイアルアップ接続を任意の時間に行える。PPP 接続確立後は, 収集局から観測点マシンへ telnet が可能となり, 観測点マシンのソフト的な保守, 更新, 点検, さらにシステムリポートなどのコマンド



平成 12 年 5 月 13 日

F A X 送信	
送信先	送信元
有珠火山総合観測班室	〒 113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大学地震研究所 海半球観測研究センター 綿田 辰吾 (わただ しんご)
北海道大学理学部 地震火山研究観測センター 笠原 稔 教授 TEL 0142-21-5093 FAX 0142-21-5004	TEL 03-5841-5776 FAX 03-5800-2386 (自動送信元) FAX 03-3812-9417 (返信はここへ) E-mail watada@eri.u-tokyo.ac.jp
通信枚数 本状を含め	3 枚
<p>臨時に設置させて頂いた微気圧計のモニター記録をお送りします。 MIT (三豊) SYR (サイロ展望台) の二観測点分です。</p> <p>記録紙 1 枚が 1 観測点の 1 日分です。1 時間ごと 24 トレースにわかれています。振幅スケールは, 記録紙右上に示しましたように, 1hPa が約 4mm にあたります。各トレースの左に, トレースの開始時刻 (日本時間) と 1 時間ごとの平均気圧を示しました。各トレースはこの平均値を引いたうえで表示してあります。</p> <p>迅速な情報伝達のため, 記録紙作成と FAX 送信を毎日一回自動的に going しています。不明な点がありましたら, 下記まで御連絡をお願いします。</p> <p>東京大学地震研究所 海半球観測研究センター 綿田辰吾 TEL 03-5841-5776 E-mail: watada@eri.u-tokyo.ac.jp FAX 03-3812-9417</p>	

図 4. 自動ファックス転送時のカバーページの文例

の実行が, 遠隔地にある収集局からログインすることで可能となる。観測点のシステムでは負荷は非常に小さく, 通常は 0.1% 程度であって, 負荷によるプログラム遅延などの影響は皆無である。

収集局システム

地震研究所に設置してあるマシンは毎日 1 回 cron により, 各観測点へ自動 PPP ダイアルアップ接続を行い, FTP 転送により 1 日分のデータファイルを送送するシェルスクリプトが実行される。1 観測点の 1 日分のファイル量は約 100 k バイトで, 1 観測点あたり 2, 3 分でファイル転送できる。時刻をずらして複数の観測点へダイアルアップ接続を行う。収集局では, 転送されたファイルからモニタ用プロットの作成, プリンタへ出力 (図 3), 所外ファックスへの自動送信 (図 4), 画面モニター用プロットの作成などの各種シェルスクリプトを起動し, 様々な処理を自動化することができる。収集局からの自動収集, 状態監視は柔軟に設定変更が可能で, 緊急時には観測点を手動 PPP ダイアルアップ接続することにより, データ収集や遠隔操作によるシステムの設定の変更, 微気圧計や GPS 時計への各種コマンド発行が可能である。

特 徴

計測器以外は消耗品であるため、安価に構成することができた。同じく PC をベースにした ERIOS システム（鷹野, 1991）があるが、Free-Unix を用いたことにより複数のプログラムによる分割処理が可能となった。現地に出張することなく電話回線経由で PPP 接続の後、login してプログラムの編集、コンパイル、起動ができるため、観測点のプログラム変更が劇的に容易になった。システムリブートも電話回線経由で行った。他の低速度観測量も本システムに取りこんで同様の処理によりデータ収集・転送が可能となる。観測機器ごとにプログラムを独立に稼働させることができ、自由な拡張性に富む。

ま と め

新規に微気圧データ収集・転送システムを開発した。本システムの特徴は、

- 1) アナログ回路部を調整する必要がないため、アナログ回路の知識がない素人にも作成、維持が可能であること。
- 2) Unix システムを用いているので、遠隔地からでもシステムの変更や拡張、運用形態や監視の設定の柔軟性が非常に高いこと。
- 3) 他の地殻変動、気象情報などの低速サンプリングデータの収集転送にも容易に応用が可能であること。

と、
が挙げられる。

謝 辞：今回の開発では森田祐一助教授には PC のシリアルポートについて多くを教えていただいた。博士課程 2 年の山本希君には Linux 全般についての数多くの質問にのっていただき、また手のかかる相談にも快く応じていただけた。大竹雄次助手には接着剤、防水剤について相談にのっていただいた。武尾実教授と東原紘道教授の査読は原稿改善の上で有益でした。ここに深く感謝いたします。

文 献

- 平田安廣・中尾 茂・渡辺 茂, 1999, 地殻変動観測データの携帯電話によるデータ収集システムについて, 震研技報, 5, 116-119.
- Johnson, M. K. and E. W. Troan, 1998, プログラミング Linux, アスキー出版局, 494 頁.
- 株式会社ソニー, 1995, Global Positioning System IPS-5000 取扱説明書, 32 頁.
- Nawa, K., N. Suda, Y. Fukao, T. Sato, Y. Aoyama, K. Shibuya, 1998, Incessant excitation of the Earth's free oscillations, *Earth Planet. Space*, 50, 3-8.
- Paroscientific Inc., 1995, Digiquarts Precision Pressure Instruments Programming and Operation Manual, 75 pp.
- 鷹野 澄, 1991, ERIOS のデータ収集方式, 平成元年・2 年度文部省科学研究費補助金「国際協力による広帯域地震観測点の配置とデータ・ライブラリの運営」研究成果報告書, 129 頁.
- ト部 卓, 1994, 多チャンネル地震波形データのための共通フォーマットの提案, 地震学会講演予稿集・1994 年度秋季大会, 252 頁.