小型PCを利用した地震解析システムの構築－エクアドル共和国における火山災害軽減研究協力での活用－

著者	山品 匡史, 熊谷 博之
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	65
ページ	71-76
発行年	2004-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001145

小型PCを利用した地震解析システムの構築

－エクアドル共和国における火山災害軽減研究協力での活用－

山品匡史*・熊谷博之*

Development of a Seismic Data Analysis System Using a Portable Personal Computer and Its Application to Volcano Researches in Ecuador

Tadashi YAMASHINA and Hiroyuki KUMAGAI

Solid Earth Research Group,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
yamasina@bosai.go.jp, kumagai@bosai.go.jp

Abstract

The difference in the computer environment may become a serious problem in collaborating researches with developing countries and technical training programs. To solve this problem, we have introduced the barebone PC having the mobility and flexibility for system extensions. Using this system, we can construct the system suitable for a local computer environment with a reasonable price, and test necessary software and programs in advance. In this report, we outline this system and its application to volcano researches in Ecuador.

Key words : Portable personal computer, Computer environment, Seismic data analysis, Ecuador, Volcano hazard mitigation

1．はじめに

独立行政法人防災科学技術研究所（防災科研）防災研究情報センター国際地震観測管理室では，「地震観測網の運用」プロジェクトの１つとして海外に展開している広帯域地震観測網の運用を行っている（井上ほか 2003）．協力機関の関係者を招いたつくばでのワークショップや現地におけるセミナーの開催，さらに国際協力事業団（現独立行政法人国際協力機構，JICA）の研修生受け入れや講師派遣などを通じて，地震・火山の研究・観測に関する技術移転を積極的に行っている．

筆者の一人である熊谷は，平成 13 年度のJICA集団研修「自然災害防災研究コース」に参加したエクアドル共和国国家防災局（Direccion Nacional de Defensa Civil）の Marco Rivera 氏の研修を担当した．この研修では，エクアドルで現在も活発な噴火活動を続けるトゥングラワ（Tungurahua）火山（**図１**）の地震データの解析とその火山災害軽減への利用をテーマとした．その後，熊谷の継続的なエクアドル訪問や，同国の主要活火山の地震観測を実施している国立理工科大学地球物理研究所（Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional）の研究員の招聘を通じて，同研究所との火山性地震の解析に関する共同研究を行っている．またこの共同研究がきっかけとなり，エクアドルの火山災害軽減を目的としたJICAのプロジェクトが平成 16 年度より立ち上がる予定である．このプロジェクトでは，上述のトゥングラワ火山および噴火の懸念が大きいコトパキシ（Cotopaxi）火山（**図１**）における稠密な広帯域地震計の設置を計画している．最新の観測技術の導入とデータ解析技術の向上を通して，同国の火山モニタリング技術の高度化とその火山災害軽減への活用がこのプロジェクトの目的である．このプロジェクトは現在のところ立ち上げ段階であるが，すでに同国の主要新聞社が取材に来るなど社会的にも関心を呼んでいる．

こうした開発途上国との共同研究や技術移転において

*独立行政法人　防災科学技術研究所　固体地球研究部門



図1　エクアドルの主要な活動的火山
Fig. 1　Major active volcanoes in Ecuador.

は，双方の環境の違いが問題の1つになる．これまでに開発されてきた地震学や火山学における解析に利用されているプログラムはUNIX系のOSで動作するものが多い． UNIX系OSの動作するワークステーションは最近まで大変高価であったことから，開発途上国ではその導入が困難であった．しかしながら，近年はLinuxやFreeBSDといったパーソナルコンピュータ（PC）上で動作するUNIX系OSが開発され，比較的安価にUNIX環境を整備することが可能となっている． Rivera氏との研修においても，PC＋Linuxを用いたコンピュータ環境を利用した．これは，研修に用いたプログラムやデータを持ち帰ってもらえば，同様の環境を自国で構築できると考えたためである．しかしながら，熊谷がJICA研修のフォローアップとして初めてエクアドルを訪問した時には，UNIX系OSが導入されていたコンピュータは1台も存在しておらず，Rivera氏が日本での研修終了後に持ち帰ったデータやプログラムは利用できない状況にあった（熊谷・林, 2002）．そこでその訪問中に，研究所にあったPCへLinuxをインストールすることにより，プログラムなどを利用可能にした．しかしながら，このような現地におけるインストレーションを短い滞在期間に行うことは大変非効率である上，コンパイラの違いなどからプログラムが正常に動作しない危険性を伴う．

ソフトウェアを含めた同一の計算機環境を実現するには，あらかじめOSがインストールされ，プログラムの動作確認が済んだPCをそのまま利用すれば良い．しかしながら，主に使用されているデスクトップ型のPCは，サイズが大きく重量もあるため持ち運びに不便である．筆者の一人である山品がインドネシアにおける広帯域地震観測データの解析のために，スリムタイプのものを持参したことがあるが，やはりその大きさと重さから移動に非常な不便を感じた．また，超過手荷物手数料が発生するなど，輸送費用の点も問題となった．一方，ノート型のPCは可搬性に優れているが，システムの拡張性に劣りかつ高価である．このような問題を鑑み，我々は，計算機環境の違いに起因する開発途上国への技術移転における問題の解決法をこれまで検討してきた．その結果，持ち運びが容易で比較的安価に相手方に必要なシステムの構築が可能な小型PC（ベアボーン）を利用した解析システムの導入が有効であるとの結論に達した．ここでは，今回エクアドルとの共同研究用に構築した小型PCを利用した地震解析システムと実際の活用例について報告する．



図2　今回導入したシステムの全景
Fig. 2　Overview of the barebone PC system.

2．システム構築

今回採用したベアボーンを用いたハードウェアの構成を以下に述べる（**図2**, **図3**）．ベアボーンとは，一般的にケースにマザーボードのみが組み込まれており，ユーザーが用途に応じてCPUやメモリ，ハードディスク，CD-ROMなどの光学ドライブを選択して組み上げることができるPCである．PC本体としては，Quixun社製の「Opera Piccolo」を用いた．この製品は，外付けのCD-ROMドライブ程度のサイズ（幅146 mm × 奥行き254 mm × 高さ42 mm）で重さも2.5 kg程度と軽量で可搬性に優れている．また，LANやUSB 1.1，IEEE1394といった各種コネクタも標準で備えている．特に，プリンタ用コネクタを備えていたことが採用のポイントとなった．開発途上国ではネットワークプリンターは高価であることからその利用は一般的でなく，より安価なローカルプリンターへの接続が必須だからである．CPUにはIntel社製の「Celeron 1 GHz」を，メモリは512 MB，内蔵ハードディスクドライブの容量は20 GBとした．そ

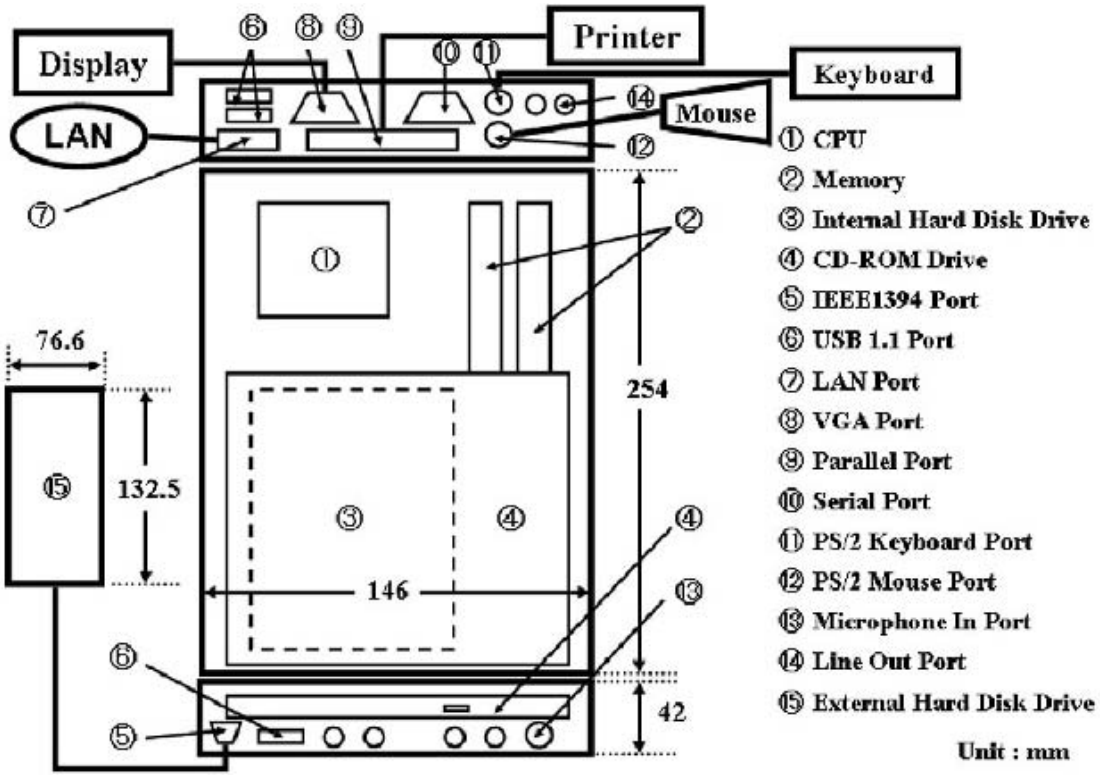


図 3　システム図
Fig. 3　System configuration.

の他の外部接続機器としては，英語キーボード，3 ボタンマウス，IEEE 1394 & USB 2.0 接続の外付ハードディスクドライブである. 外部接続機器でも可搬性を重視し，なるべく大きさの小さい物を選択した．特に外付ハードディスクドライブは手のひらサイズながら 80 GBと大容量であり，かつ転送速度も IEEE 1394の場合 400 Mbpsと非常に速く，大量のデータの扱いやバックアップを可能としている．なお，ディスプレイは現地のものを利用することとした．もし，ディスプレイがこの PC 用に独占して利用できない場合に備えて，1台のディスプレイを複数台の PC で利用できるディスプレイ切替器を購入した．OS には，PC UNIX の1つである，Red Hat 社製「Red Hat Linux 8.0」を用いた．同 OS を採用した理由は，世界的に広く利用されていること，スペイン語(エクアドルの公用語)を含む多言語対応であること，無料で入手できることなどからである．OS のインストールでは英語を標準の言語とし，スペイン語の表示を可能とすると共に保守作業などを考え日本語の表示も可能とした.

以上のハードウェアおよび OS の設定に加え，地震学・火山学でのデータ解析のための基本的なソフトウェアやプログラムのインストールを行った．地球物理学分野でグラフや地図などを描画するために広く利用されている GMT（Wessel and Smith, 1998）および地震波形の基本的な解析ツールである SAC（Goldstein *et al*., 1999），さらにスペクトル解析を行うための存否法（Kumazawa *et al*., 1990）のプログラムを導入した．これらはLinux で標準となっている GNU のコンパイラ（gcc, g77 など）を用いて問題なく動作した．さらに，より高度な地震データの解析を行うためのプログラムの導入も試みた．火山のような非常に強い不均質構造が存在する場合にもより正確に走時を計算することが可能な差分計算に基づく地震波トモグラフィー（Benz *et al*., 1996）および低周波地震や微動の震源メカニズムを推定するための波形インバージョン（Nakano *et al*., 2003）のプログラムである．トモグラフィーのプログラムについては，Linux 標準のコンパイラでは正常に動作しなかった．そこで富士通九州システムエンジニアリングから販売されている Linux 用のC言語および Fortran 言語用のコンパイラ「Parallel Fortran & C Package V4」を購入した．この商用コンパイラを用いたところトモグラフィーのプログラムも正常に動作した．一方，科学技術計算のための数値計算やデータ解析などで定評のある MathWorks 社製の MATLAB は，高価なことと地球物理研究所で Windows 用のものをすでに用いていたため導入しなかった．その代りに Samba をインストールし，Linux 上のファイルを Windows マシンからアクセスできるようにした．これにより，既存の Windows PC に導入されている MAT-

表1　今回整備したシステムの概要
Table 1　Specifications of the barebone PC system.

ハードウェア	本体	Quixun　Opera Piccolo
	CPU	Intel　Celeron 1 GHz
	メモリ	センチュリー　オペラピッコロ専用メモリ　SDRAM 256 MB × 2
	内蔵 HD ドライブ	シネックス　IDE 20 GB
	CD-ROM ドライブ	24 倍速読み取り専用
	外付 HD ドライブ	Logitec　ポータブル HDD　LHD-PBA80FU2　(IEEE1394 & USB 2.0 接続)
	キーボード	PFU　Happy Hacking Keyboard Lite 2　(PS/2 接続)
	マウス	Logicool　First Mouse 3 Button II　(PS/2 接続)
	ディスプレイ切替器	エレコム　VGA 切替器　DTSP4-VGASV
OS		Red Hat　Red Hat Linux 8.0

LAB から本システム上のデータを扱うことが可能となった.

表1は今回構築したシステムをまとめたものである. このシステム一式を用意するのに必要な金額は商用コンパイラを除いて約15万円と大変安価にシステムを構築することができた.

3. エクアドルにおける利用例

平成15年8月24日～9月16日にかけて熊谷がエクアドルを訪問し，このシステムを実際にエクアドルの地球物理研究所に持ち込んだ（**図4**）. 本体そのものはノートPCよりも小さくまた軽量のため持ち運びにほとんど支障を感じなかった. また外付ハードディスクが80 GBと大容量のため，必要なデータやプログラムをすべてこのハードディスクへ保存することができた. エクアドルの通信事情は悪く，必要なデータなどを後からインターネット経由で転送するといったことは，特に大容量データの場合は実質的に不可能である. そのため必要となりそうなものをすべてハードディスクに保存できたのは大変有効であった.

現地でのシステムの立ち上げは, 概ね順調であったが, いくつかトラブルがあった. ひとつは当初用いたディスプレイが旧式だったために，Linuxがディスプレイを認識できなかった. これはより新式のディスプレイを用いることで解決した. もうひとつは，Linuxが原因不明の停止（フリーズ）を繰り返すということであった. 特に他のPCとのデータの転送や通信をしているときに突然この停止が発生した. このような症状は，日本でテストしたときにはまったく現れないものだった. 原因をいろいろと調べた結果，ハブに問題があるかもしれないということになった. 研究所で用いていたハブが旧式だったために，本システムのネットワーク機器との間でのデータのやり取りがうまくいかず，システムに高い負荷が掛かった，という可能性が考えられた. そこでハブについてもより新式のものに替えたところ，この問題も解決した. このような問題は日本では想定できなかったが，開発途上国では未だに旧式の機器を用いており，それがシステムにまで影響することがあるということを知る良い機会となった. またシステムの立ち上げそのものではないが，停電も問題であった. 今回の滞在中も何度か停電があった. もっともひどい時は半日以上にわたっていた. 無停電電源装置をつけるのが解決策のひとつであるが, 高価なため現地での購入は困難である. 停電対策は今後の検討課題である.



図4　本システムを用いた地球物理研究所での作業風景. 左から，Indira Molina 氏，Alexander García 氏，熊谷.
Fig. 4　Working with the bearbone PC system（Indira Molina, Alexander García, and Hiroyuki Kumagai from the left).

これらの問題を除いて，システムは順調に稼働した. プログラムの動作テストも日本で終えていたため，プログラムが動かないといった問題は発生せず，効率的に作業を進めることができた. 今回の訪問ではこのシステムを用いてトゥングラワ火山の地震波トモグラフィーとグアグアピチンチャ（Guagua Pichincha）火山（**図1**）で発生した微動の震源メカニズムの推定を行うことを目的

とした．トゥングラワ火山のトモグラフィーによるP波速度の3次元イメージには，火道を示すと考えられる山頂から深さ5 kmまでつながったパイプ状の高速度領域が見られた．またこの速度構造を用いて震源の再決定を行った結果，震源がこのパイプ状の構造のまわりに集まりかつ浅くなるという傾向が見られた．一方，グアグアピチンチャ火山の微動の波形インバージョンによる震源メカニズムの推定では，より垂直に近いクラックの振動を示唆する結果が得られた．これは微動がガスなどの流体が鉛直な割れ目に沿って移動するときに発生していることを示している．なおこのインバージョンを行う上で必要となるグリーン関数は，あらかじめ防災科研のスーパーコンピュータを用いて計算した．グリーン関数の計算は大変時間がかかるため，このLinuxによるシステムのみを用いて行うことは困難であるが，スーパーコンピュータと組み合わせることにより，より高度な解析が現地で可能となった．グリーン関数は一度計算できれば，同一の火山については他のイベントの波形インバージョンにも使うことができるため，その汎用性は高い．

このような構造解析，震源決定，および震源メカニズム解析は，火山現象のより深い理解に不可欠のものであり，かつ，モニタリング技術の高度化にも貢献するものである．今回は3週間あまりと短い滞在であったが，このような解析システムの工夫を通して，効率的に現地の研究者が基本的な解析手法を習得することができた．

4. おわりに

今回，システムの可搬性と拡張性，さらにプログラムの安定的な動作を重視し，小型PCをベースとした地震解析システムの構築を行った．実際にこのシステムをエクアドルに持ち込み，その実用性の高さを示した．本システムの最大の特長である可搬性は，海外との共同研究や研修，特に相手国が開発途上国である場合に非常に役立つことが期待される．JICAの研修などでは，研修生の要望や研修内容に応じたシステムを構築し，研修後そのまま持ち帰り本国における業務や研究に利用する，といった活用方法が考えられる．これは，研修の成果を自国で活かすという研修最大の目的を達成するうえで大変有効かつ効率的であると考える．また共同研究においては，共同研究者を日本に招聘する場合に，本システムを持参してもらうことで，計算機環境を変えることなく効率的に研究を推進することができるであろう．このように本システムは，研修や共同研究を有効かつ効率的に進めるための手段と道具を提供している．しかしながら，本システムが真にその機能を発揮するためには，利用者である研究機関や研修生がプログラミングなどを自立的に行えるようにするためのフォローアップと協力体制の確立が不可欠であろう．

謝辞

波形インバージョンのプログラムのインストレーションおよび動作チェックについては，名古屋大学大学院環境学研究科の中野優博士にお世話になりました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1）Benz, H.N., Chouet, B.A., Dawson, P.B., Lahr, J.C., Page, R.A., and Hole, J.A.（1996）: Three-dimensional P and S wave velocity structure of Redoubt Volcano, Alaska. J. Geophys. Res., **101**, 8111-8128.

2）Goldstein, P., Dodge, D., and Firpo, M.（1999）: SAC2000 : Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers. UCRL-JC-135963, Invited contribution to the IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology.

3）井上公・根岸弘明・熊谷博之・宮川幸治・山品匡史・雷楓・柳澤宏美（2003）: 旧全地球ダイナミクス観測網の現状について－地域防災への貢献に向けて－. 月刊地球, **25**, 431-436.

4）熊谷博之・林能成（2002）: 発展途上国の研究者向け短期研修に適した地震解析システムの整備－エクアドル共和国の火山研究者を迎えて－. 東京大地震研技研報, No.**8**, 9-15.

5）Kumazawa, M., Imanishi, Y., Fukao, Y., Furumoto, M., and Yamamoto, A.（1990）: A theory of spectral analysis based on the characteristic property of a linear dynamic system. Geophys. J. Int., **101**, 613-630.

6）Nakano, M., Kumagai, H., and Chouet, B.A.（2003）: Source mechanism of long-period events at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, inferred from waveform inversion of the effective excitation functions. J. Volcanol. Geotherm. Res., **122**, 149-164.

7）Wessel, P. and Smith, W.H.F.（1998）: New improved version of Generic Mapping Tools released. EOS Trans. Amer. Geophys. U., **79**, 579.

（原稿受理：2003年9月30日）

要　旨

開発途上国との共同研究や技術移転を目的とした研修においては，相手国との計算機環境の違いが障害となることが多い．この問題の解決のために，我々は可搬性および拡張性に優れた小型PC（ベアボーン）をベースとしたシステムを導入した．このシステムを用いることで，プログラムの動作確認をあらかじめ行なうことができるとともに，現地の情況に適したシステムを比較的安価に構築することができる．本報告では，エクアドル共和国における火山災害軽減を目的とした共同研究のために，同国国立理工科大学地球物理研究所に導入した地震解析システムの概要を述べ，さらに実際の利用例について紹介する．

キーワード：小型PC，計算機環境，地震データ解析，エクアドル共和国，火山災害軽減