

海半球ネットワーク海外共同観測のための 地震解析システムの導入

—ベトナム社会主義共和国における例—

林 能成^{*†}・森田裕一^{*}

Data Analysis System for O.H.P. Broadband Seismic Observation Project in Vietnam

Yoshinari HAYASHI* and Yuichi MORITA*

はじめに

近年、広帯域地震計を用いた海外共同地震観測が、日本のいくつかの研究機関とアジア太平洋諸国との間で行われている。平成8年度から、地震研究所海半球観測研究センターが中心となって推進してきた「海半球ネットワーク」でもインドネシア、ロシアなど8カ国に観測点を設置し、現地研究機関と共同で観測点の維持管理を行ってきた。これらの地震計で得られる地震波形はデータセンターに集められ、多くの研究者によって地球内部構造や震源過程の研究に使用されているが、解析対象となるデータは全地球規模で観測される規模の大きい地震に限られている。そのため観測点近傍で発生している小さな地震の記録は、非常に良質なデータが記録されているにもかかわらず、ほとんど使用されていない。しかし、共同観測を実施している相手国研究機関の多くはその国内で短周期地震観測網を運営しており、我々の広帯域地震計のデータをそのような地域的なデータと併合処理できれば、相手国研究機関のみならず我々にとっても大変魅力あるデータになる。

これまでに共同観測を実施している国は開発途上国が多く、これらの国では観測機材ばかりか、地震学の基本的な解析を行うための知識や経験が不足している。また、解析を担う人材の教育訓練のための設備も満足に整っていない。このような現状から、共同観測の相手国は主

として観測点の維持管理といった保守業務を分担しており、今のところ広帯域地震計のデータを自ら解析するには至っていない場合が多い。共同観測を永続的に実施するには、共同観測で取得されたデータを双方の研究機関が共同で管理し、共同で研究する体制を整える必要がある。そのためには、観測点を設置するばかりでなく、解析のための装置の提供やその使用法についての訓練を併せて実施していくことが重要である。

このような観点から、海半球ネットワークにおける海外共同観測では、これまでも相手の状況にあわせてデータの解析装置を準備し地震計と共に設置してきた。そして2000年2月に新たな共同地震観測をベトナム社会主義共和国で開始する運びとなった(森田, 2001)。ここではベトナムでの広帯域地震観測を始める際に準備したデータ解析装置について述べる。

ベトナムにおける地震観測の現状

共同観測の相手機関に解析装置を設置する際には、相手の状況に応じてシステムを構築する必要がある。ここではベトナムの地震観測について紹介し、システム構築の際に考慮した点について述べる。

ベトナム社会主義共和国はインドシナ半島の東岸に位置する細長いS字型の国で、面積は約33万平方キロメートルと、九州を除いた日本の面積にほぼ等しい。北側は中国、西北はラオス、西南はカンボジアと3つの国と国境を接し、東側は長い海岸線で南シナ海に面している。人口は7,431万人(1996年)を数え、国土の3/4が山地であるため平野部では非常に人口密度が高い。

インドシナ半島はユーラシア大陸へのインド衝突の影響で大陸から押し出され、それにともないレッドリバー(紅

2001年7月5日受付, 2001年11月6日受理.

*東京大学地震研究所海半球観測研究センター,

†現(独)防災科学技術研究所.

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

†Now at National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.

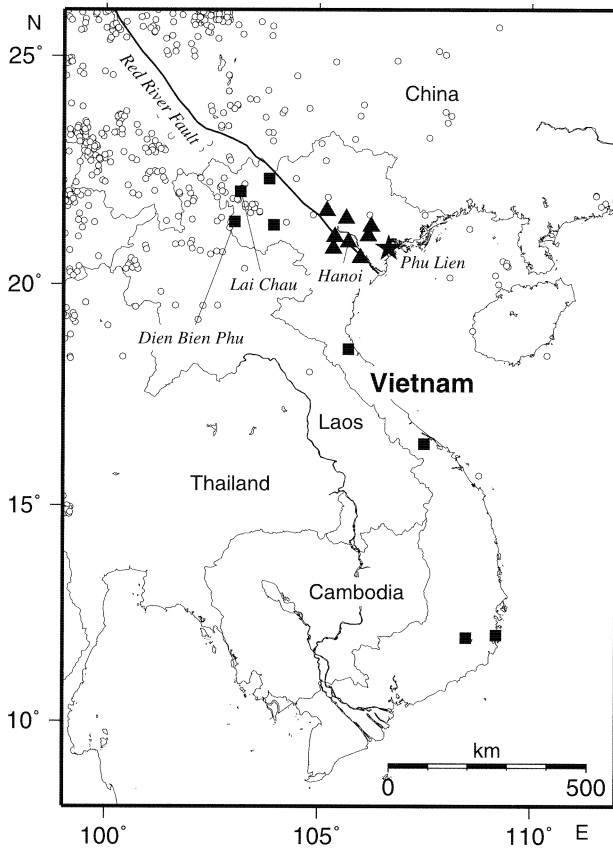


図 1. ベトナムの地震観測網と震央分布。
○は USGS の PDE による 1973 年から 2000 年までの震央分布。
▲はテレメータ観測点, ■は独立観測点, ★は海半球プロジェクトで設置した広帯域観測点。

河) 断層帯を形成したと考えられている (Tapponier *et al.*, 1986)。このレッドリバー (紅河) 断層はチベット高原から中国雲南省, ベトナム北部を通っており, 中国雲南省内ではこの断層に近接したところで M7 クラスの被害地震が多数発生している。ベトナム国内では歴史時代にこの断層の活動記録はないが, この断層沿いの地域は首都ハノイを含む人口稠密地帯であることもあり, ベトナム国内では将来の活動可能性などが大いに注目されている。

図 1 は米国地質調査所の PDE データによる, ベトナムを含むインドシナ半島の震央分布図である。この図に見られるようにベトナムにおける地震活動はほぼハノイ以北の北部地域に限られている。これらの地震のうちいくつかでは被害が発生したことが知られている。たとえば 1983 年 6 月 24 日には北西部山岳地帯のライチョウ省トゥアンザオ付近を震央とする M6.7 の地震が発生しており, 建物などに多数の被害が生じている。また 2001 年 2 月から 3 月にかけて, ライチョウ省の省都ディエンビエンフー付近で M4.0–M4.9 の地震が続けて 3 つ発生し, 建物などに被害が生じている。このように, 現在の地震の活動域は明らかにレッドリバー断層から南西にシフトしており, この地



図 2. ベトナム地球物理研究所の外観 (右から 2 人目が所長 (当時) の Nguyen Dinh Xuyen 博士)。

域の地震活動を詳細に知ることは現在のインドシナ半島のテクトニクスを理解する上での鍵となると考えられる。

ベトナムにおける地震観測は, 首都ハノイにある国立科学技術研究センター地球物理研究所によってなされている (図 2)。地球物理研究所には 5 つの部門があり, そのうち地震観測網部門が地震観測を担当している (図 3)。現在のベトナムの地震観測網は 1990 年代に国連開発計画 (UNDP) により整備されたもので, 2001 年 3 月現在で図 1 の三角及び四角に示す 17 観測点で地震観測が行われている (Nguyen, 2000)。このうちの 9 点 (図 1 の三角) はハノイ近郊の紅河デルタ内に設置されており, これらの観測点のデータはハノイの地球物理研究所へ無線テレメータで送られている。残りの観測点は GPS による時刻更正機能を持った収録装置で, 波形データはイベントトリガー方式で記録され, 定期的にフロッピーディスクにコピーして研究所へ送られている (図 4)。

ベトナム地球物理研究所では, 震源決定などの解析には 9 観測点からなるテレメータ観測網のデータが主に使用されている。独立観測点で収録されたイベントデータはテレメータ観測網のデータとは別に処理され, 最終結果の参考とされているのみで, あまり活用されているとはいえない (図 4)。そのため, テレメータ観測網から離れた最も活動度の高い北西部の山岳地帯 (ライチョウ省など) では, 震源の精度はそれほど高くない。

海半球ネットワークで設置した広帯域地震計は現在のところ 1 点で, これはベトナム国内唯一の広帯域地震計である。その観測点は図 1 の星印に示す, ハノイから 100 km ほどのフーリエン観測点 (ハイフォン市キエンアン) である。これまでに述べたような現状を鑑み, 1) テレメータ観測網の波形, 2) 独立観測点のイベントトリガー波形, 3) 海半球プロジェクトで設置した広帯域地震計の波形, の 3 つを併合して震源決定するシステムが, ベトナムの研究機関の地震観測網を改善する上で有効であると考え, 新たに

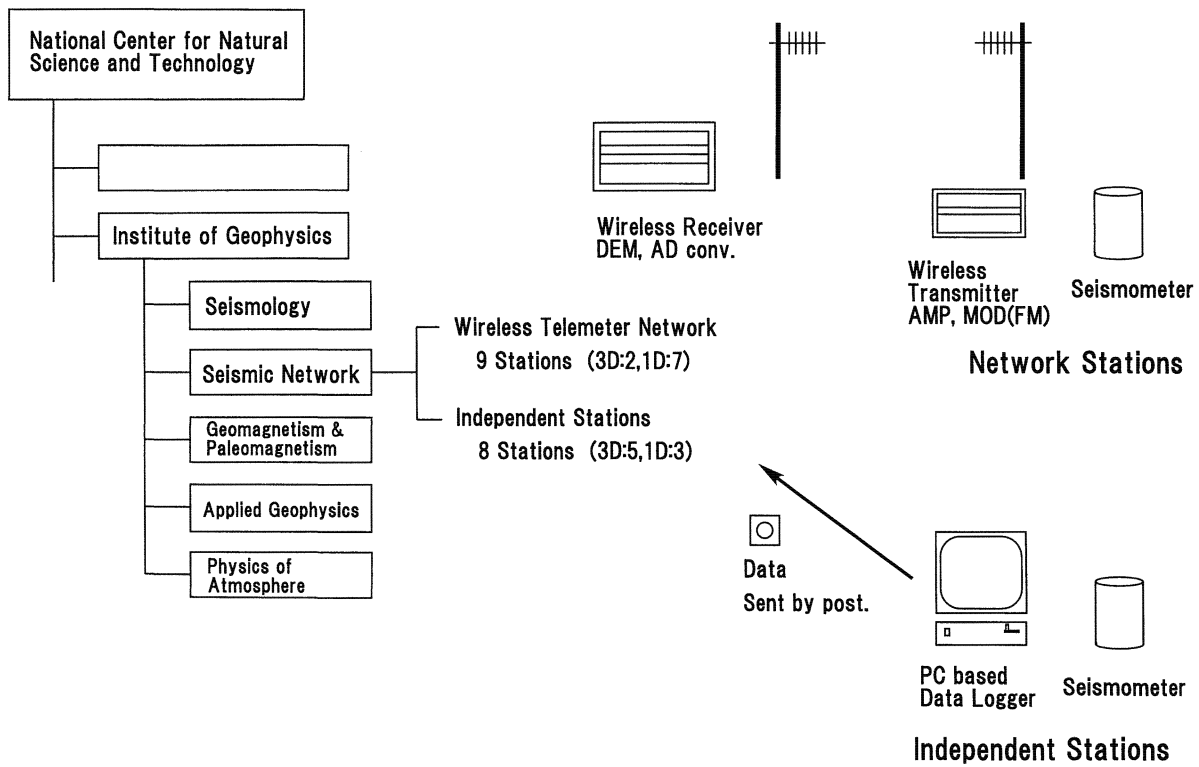


図 3. ベトナム地球物理研究所の組織図と観測システムの概要.

Data Flow at Institute of Geophysics

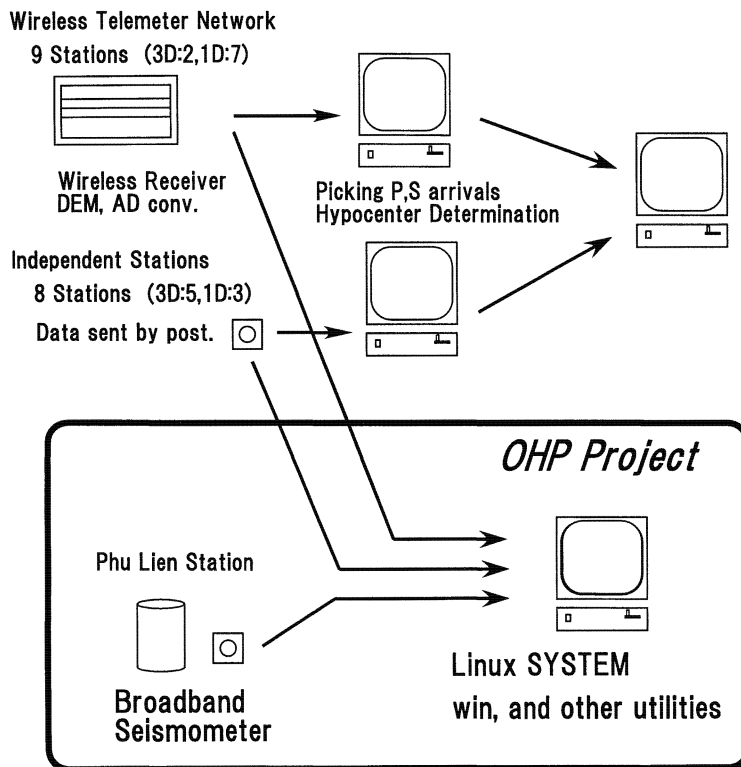


図 4. ベトナム地球物理研究所における震源決定処理の現状と本システム導入による改善の模式図.

システムを構築した。

システムの概要

ベトナムではパソコンやインターネットがここ数年で急速に普及し、一般的な IBM-PC（いわゆる Windows のパソコン）とその周辺機器は比較的簡単に購入・修理することができる。また近年、IBM-PC 上で動作する UNIX-OS（Linux など）が急速に普及してきており、これを用いることで大変安価に UNIX ワークステーションの機能を実現できる。これまでに開発された地震学的な解析ツールの多くが UNIX 上で動くものであるため、IBM-PC と Linux の組み合わせを採用することで、解析ツールなどの資産を継承し、安価で、故障時等にも比較的簡単に現地で修理できるシステムを構築できると考えた。本計画ではハードウェアとして IBM 社のデスクトップ PC を使い、OS には RedHat Linux 6.0（英語版）を使用した（図 5、表 1）。キーボードや画面表示に日本語が使用されると現地研究者が利用できないため、当然ながら英語キーボードや英語 OS を採用した。

解析に使用するソフトウェアについては、1) 現在のところベトナムでは主たる解析が震源決定であること、2) 今後

ベトナム国内で臨時観測が予定されており、システムの拡張性に柔軟性があること、3) ソースコードが公開されており、その一部を改変可能（学術目的に限る）なこと、などの理由から、地震研究所を始め日本全国で広く使われている win（卜部・東田，1992）を用いることにした。

しかし日本で用いている win そのままの状態ではベトナムでは役に立たないので、ベトナムの観測網の現状を考慮に入れて改良（チューンナップ）しなければならない。改良のポイントは、1) 地図表示システムの設定、2) 速度構造・観測点情報の設定、3) 波形データを win フォーマットに変更するプログラムの準備、という 3 点であった。

まず震源決定結果を画面に地図表示する際に、元の win であらかじめ設定されている縮尺では 1 枚の画面にベトナム全土を表示することができなかった。そこで地図モードの設定縮尺部のソースコードを一部修正し、より小縮尺のものを表示できるようにした。その結果、最小縮尺の地図ではベトナム全土の震源分布を表示できるようになり、ベトナム側に大変好評であった。また海岸線及び国境データについては NOAA の The National Geophysical Data Center にある Coastline Extractor というホームページ

表 1. ベトナム地球物理研究所に設置した解析システムの概要

	メーカー	機種名
パソコン本体	IBM	PC-300（メモリ 128MB）
OS		RedHat6.0（2001年6月に Turbo Linux6.5 に変更）及び英語版 Windows98
モニター	シャープ	LL-T1510A
DVD RAM	Panasonic	LF-D102J
プリンター	OKI	MICROLINE703N3
変圧器(220V-100V)		特注品（容量 1kVA）

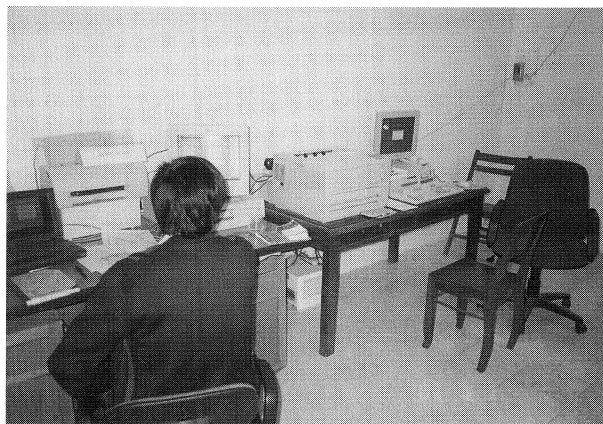


図 5. ベトナム地球物理研究所に設置した本システム。背中は Nguyen Quoc Dung 博士。

からインドシナ半島全域のデータをダウンロードし、win-c コマンドでバイナリーデータに変換して使用した。なお、ダウンロードした生のデータには 1975 年までの南北ベトナムの国境が含まれており、政治上の問題を避けるため、これについては手作業で除去した。

速度構造については、ベトナム地球物理研究所で使用しているものとはほぼ同じ構造になるよう設定した。チャンネルファイルについては、テレメータ観測網、独立観測点、広帯域地震計がそれぞれ重ならないように定義した。またベトナム地球物理研究所の観測点では、アンプゲインや地震計の感度が書類として残されていないため、機器のカタログなどを参考にしてそれらの定数を推定したが、win から推定されるマグニチュードはベトナム側の定常処理のも

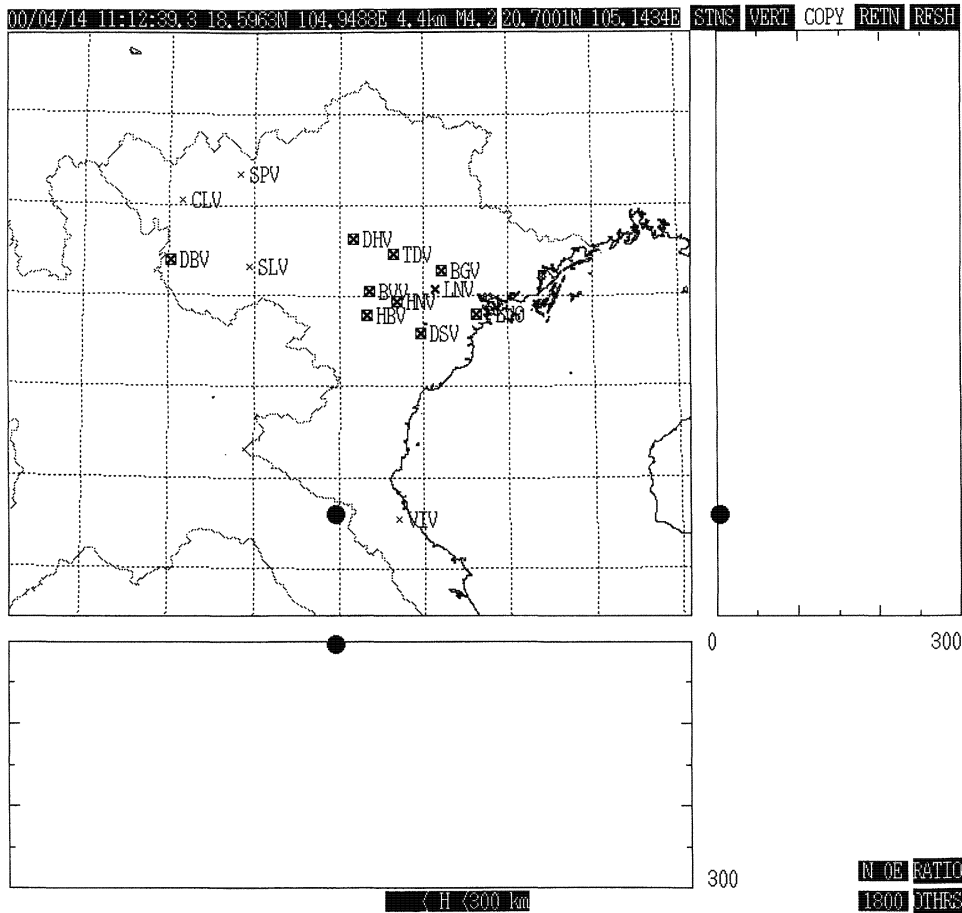


図 6. 本システムを用いて震源決定した例。

のに比べ 0.5~0.8 程度大きくなる。これについては今後の課題としたい。

波形データのフォーマット変換については、ベトナム地球物理研究所の観測波形データを win フォーマットに変換するプログラム (dp2win) と、我々の広帯域地震計の波形記録を win フォーマットに変換するプログラム (wd2win) の二つを作成した。これらのプログラムを用い、ある地震に関する全ての地震波形を win フォーマットに変換し、win のユーティリティソフトの一つである wadd で一つに結合して波形データを準備することとした。プログラムの開発にあたっては、ベトナム地球物理研究所で使用している波形データフォーマットのドキュメントがなかったため、波形データ及び使用している解析ソフトのソースコードからフォーマットを解明した。これは思ったよりも簡単ではなかった。

以上のような準備の結果、テレメータ観測網・独立観測点・広帯域観測点という異なった観測波形データの一つにして扱えるようになり、win で P 波及び S 波の到達時刻を読み取り震源決定をすることが可能となった。今まで独立観測点のデータはテレメータ観測点の解析に補助的に使

われるだけであったが、このシステムにより積極的に用いられるようになり、最も地震活動度の高い北西部山岳地帯での震源決定の精度向上に大きく寄与すると考えられる。また現地にはポストスクリプトプリンターも設置し、震源決定の結果を地図上にプロットしてその場で紙に出力することもできる。そのプリンターで出力した解析結果の一例を図 6 に示す。日本ではあたり前のこのようなシステムでも、ベトナムで応用すれば、これまでに比べて格段の技術革新となる。

win に関連するソフトウェア以外にも、いくつかのソフトウェアをインストールした。まず、地図を作成する時に便利で、多くの地震学研究機関で使われている GMT (Wessel and Smith, 1991) をインストールした。これを使うことで自由かつ簡単に解析結果等のグラフや地図を出力でき、さらに UNIX のシェルコマンドについての知識も身につく。それゆえ GMT は、UNIX 初心者がシステムに親しむ上で効果的なツールの 1 つと考えられる。また最終的には、ベトナムの研究者が自らの手でプログラムを作成し様々な解析をする際にこの UNIX 機を利用してもらいたいと考えているため、コンパイラーを始めとした開発ツ-

ルもインストールし、その英語の参考書なども持って行った。

システムの導入とトレーニング

解析システムの設置・調整は2000年2月16日から23日にかけて、広帯域地震計の設置と併せて行った。設置の際に多少トラブルはあったが、調整は順調に完了し、最終日には研究所の研究者を集めた簡単な講習会も行った。しかし、ベトナム地球物理研究所に初めて導入されたPC-UNIX機であることもあり、具体的な操作法やワークステーションの管理については講習時間が不足していたことは否めない。そこで2001年2月に研究所の地震観測網部門の責任者である Nguyen Quoc Dung 博士を日本に招き、地震研究所で約2週間にわたるマンツーマンの講習会を実施した。その結果、UNIXの基礎、波形データフォーマットの変換、winによるP波・S波の検出、震源決定などの一通りの作業ができるようになった。今後はDung氏がベトナム地球物理研究所の若い研究者を教育し、多くの研究者がデータ解析できるようになることを期待している。

ま と め

今回、著者の一人(林)は初めて海外共同観測プロジェクトに参加し、解析システムの開発・供与・訓練を含めた観測点の設置を分担して行った。解析システムは順調に稼働していたが、機械が1台のみでかつ身近にUNIXに慣れた人がいないため、多くの研究員がこのシステムに慣れ親しむには至っておらず、定着するまでに今しばらくの時間が必要であろう。2001年6月には、故障したパソコン及び観測点の保守も兼ねてハノイの地球物理研究所を訪問し、解析システムの載ったパソコンを3台に増設し、より多く

の人に触ってもらえるように改善した。

今回のベトナム観測プロジェクトに参加して、海外での共同観測では単にセンサーを設置しデータを取得するだけでなく、このような共同研究の「芽」を育むことも怠ってはならないことを痛感した。現地の状況をふまえた解析システムを構築することは共同研究を推進する上で重要な仕事の一つである。

謝辞：本プロジェクトは主として新プログラム方式・科学研究費補助金創成的基礎研究「海半球ネットワーク：地球を覗く新しい目」、文部科学省振興調整費「アジア・太平洋地域における地震・津波防災技術の開発」によって行われました。またシステム開発作業の一部は、平成12年度地震研究所リサーチアシスタント研究「共同観測実施国向けの汎用性の高い地震解析システムの開発・整備」により行いました。地震研究所の佐藤比呂志助教授の査読は原稿の改善に役立ちました。ここに感謝いたします。

文 献

- 森田裕一, 2001, 海半球広帯域地震観測網の現状と将来: ベトナムにおける広帯域地震観測の例—対蹠点地震観測, 地球惑星科学関連学会2001年合同大会予稿集, S0-001.
- Nguyen, D. X., 2000, An Overview of Earthquake Disaster in Vietnam, In "An overview of natural disasters in Vietnam, EDM/RIKEN EQTAP Project", 35-65.
- Tapponier, P., G. Peltzer, and R. Armijo, 1986, On the mechanics of the collision between India and Asia. In "Collision Tectonics" (Coward, M.P. and Ries, A.C. eds.), *Geol. Soc. Spec. Pub.*, **19**, 115-157.
- The National Geophysical Data Center Coastline Extractor ホームページ (<http://rimmer.ngdc.noaa.gov/coast/>), 2001.
- ト部 卓・東田進也, 1992, WIN-微小地震観測波形検出支援のためのワークステーション・プログラム(強化版), 地震学会講演予稿集, **2**, 331.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith, 1991, Free software helps map and display data, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, Washington D.C., **72**, 441.