

DAT 型レコーダを用いた神奈川県西部における臨時地震観測

永井 悟*・棚田俊收*

Temporary seismic observation in western Kanagawa prefecture with DAT-recorders

by

Satoru NAGAI and Toshikazu TANADA

1. はじめに

神奈川県西部及びその周辺部は、本州弧に伊豆一笠原弧が衝突する伊豆衝突帯に位置しており、箱根、丹沢山地、神縄・国府津—松田断層帯など、複雑なテクトニクスを有する。伊豆衝突帯における地殻構造、及び、フィリピン海プレート（PHP）の形状については未だ不明瞭な点があり、十分な解明がなされていない。

PHP 形状については、1990 年代以降盛んに議論されている（例えば、Ishida, 1992；津村ほか、1993）。近年の 3 次元地震波速度構造解析（トモグラフィー法）による推定（Matsubara *et al.*, 2005；弘瀬ほか、2008）や、反射・屈折法地震探査により関東山地東縁下での詳細な 2 次元断面による推定（例えば、Sato *et al.*, 2005）は、既往研究での PHP 形状とは整合的ではない。

また、一方で、30km 以浅、地殻及び上部マンツルの構造については、議論が尽くされたとは言い難い。例えば、富士山合同稠密観測による地震波トモグラフィー解析（Nakamichi *et al.*, 2007）では、地震波速度と地表地質との比較をしているが、富士山直下の構造に関する議論が中心であり、伊豆衝突帯、特に神奈川県西部のテクトニクスにまでは議論が及んでいない。また、関東山地東縁下での反射・屈折法地震探査による構造の議論（Sato *et al.*, 2005）は 2 次元断面によるものであり、水平方向の広がりや議論するにはより多くの探査測線が必要である。

そこで、神奈川県西部地域を中心とした伊豆衝突帯におけるフィリピン海プレート上面に至るまでの地殻及び上部マンツルの 3 次元地震波速度構造の解明、及び、そのテクトニクスについての研究を進めている。観測点分布の粗密（図 1）による地域差もあり、3 次元地震波トモグラフィー解析において、数 km 程度の構造の変化を議論するための十分な解像度が得られていない。これ

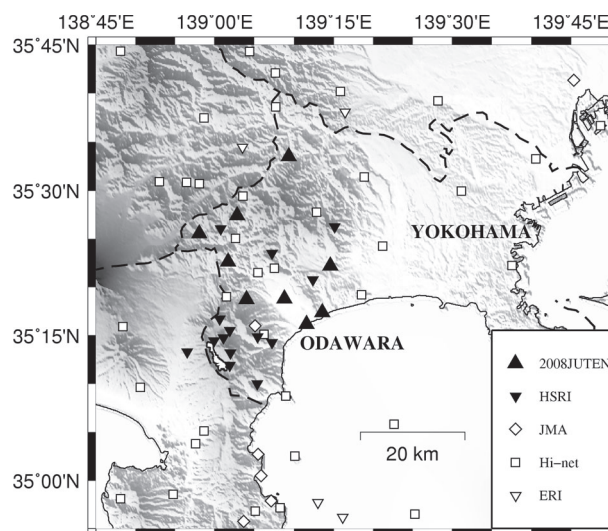


図 1 神奈川県西部および周辺部の定常地震観測点と本研究における臨時観測点（▲）。定常観測点は、神奈川県温泉地学研究所：HSRI、気象庁：JMA、防災科学技術研究所：Hi-net、東京大学地震研究所：ERI による観測点を示している。

を補うため、神奈川県西部において、DAT 型レコーダを用いた機動的臨時地震観測を行うこととした。本報告では、その臨時観測の概要と処理方法について紹介する。なお、解析については別稿で報告する。

2. DAT 型レコーダ

DAT 型レコーダ（篠原ほか、1997；羽田ほか、1999）は、海底地震観測用低消費電力大記録容量デジタルレコーダー（篠原ほか、1993）に GPS 受信機能付加した、小型で長時間地震観測の出来る、現地収録方式の機動的陸上観測機器である。レコーダ名称は、開発当初、Digital Audio Tape を使用していたことに由来し、現在では Data

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
資料、神奈川県温泉地学研究所報告、第 40 巻、69-74、2008.

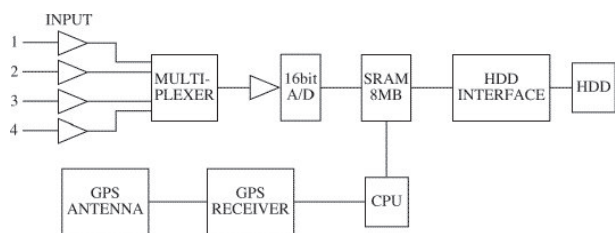


図2 DAT型レコーダ収録におけるブロックダイアグラム（クローバテック株式会社 HP：<http://www.clovertech.co.jp/dat4.html> より引用）。

Acquisition Terminal の略称として使用されている。

本研究での臨時地震観測では、ハードディスク (HDD) を記録媒体とする DAT-4 型レコーダを使用した。GPS 受信ボード、プリアンプ、電源部、CPU および A/D 変換基盤、HDD 接続部からなる。主な仕様は、A/D 変換分解能 16bit、最大出力電圧 $\pm 4.5V$ 、外部電源として 12V を必要とする。外部電源としては、単 1 乾電池 40 本またはカーバッテリー（一部には商用電源を利用するために充電器を接続）を使用した。取得チャンネル数、サンプリング周波数、位置情報・内部時計校正用の GPS データ受信間隔は選択できるようになっている。また、アンプ基板増幅率は、3 段階で、温泉地学研究所所有の DAT レコーダは 40dB、60dB、80dB の仕様となっている。データ収録は図 2 に示すブロックダイアグラムに従って行われ、圧縮可能な独自のフォーマットで記録される。

なお、2004 年以降は小型化及び A/D 変換分解能 24bit に拡張した DAT-5 型の開発・改良、及び、処理ソフト改良が行われている（羽田、2006）。

3. 臨時地震観測

定常観測点の分布、及び、トモグラフィー解析における解像度向上を確認しつつ、神奈川県西部に臨時観測点を 2008（平成 20）年に展開した。定常観測点の間を埋めるように観測点候補位置を決めて、さらに理論地震波走時データによる解像度テスト（チェッカーボードテスト）による 3 次元トモグラフィー解析への寄与を確認して、最終的な候補地とした。2008（平成 20）年 5 月 12 日に踏査・設置した丹沢 (WK81J) 及び足柄平野 (WK82J) の 2 点を最初に、計 9 点を 6 月までに展開した（図 1、表 1、および、写真 1）。各観測点は Mark Products 社製の固有周波数 2Hz の 3 成分地震計と DAT-4 型レコーダからなる。GPS データ受信間隔は 4 時間とし、サンプリング周波数 200Hz、アンプゲインは通常収録時のデータ圧縮がなされるように 60dB または 40dB とした。臨



写真 1 臨時地震観測点設置概況（WK80J）。

時地震観測点は約 40 日ごとに、外部電源及び HDD 交換を行い、2008 年末まで観測を継続した。

4. DAT 型レコーダの収録記録再生処理

一連の DAT 型レコーダ収録記録再生処理に関するフローを図 3 に示す。各臨時観測点で HDD に収録されたデータファイルは、処理用及びバックアップ保存用の HDD に全てコピーした。収録記録ファイルは、1 観測点 1 収録期間毎に、DAT-4 用に改良されたプログラム群を用いて、最終的に WIN フォーマットファイル（上部、1994）に変換した。

まず、解凍処理プログラム rubbish5 により、収録記録ファイルを地動データファイルと GPS 取得データファイルとに分解した。解凍処理だけは、1 収録ファイルそれぞれに対して行う必要がある。解凍処理以降は、1 観測点 1 収録期間毎に処理が出来るように地動データリストファイルと GPS 取得データファイルをそれぞれ 1 ファイルにまとめた。GPS 取得データファイルは GPS データ解析プログラム gpsread5 により、位置座標情報（緯度・経度データファイル群）と、GPS 時刻とその内部時計（RTC）との差である時刻校正情報と、に分離した。位置座標情報は、観測点位置座標の決定に用いた（表 1）。時刻校正情報は、内部時計のズレの日変化やその変化の連続性などを考慮して、校正データの飛びの手動削除や RTC 設定後及び HDD 回収後の GPS 取得記録を追加するなどして、補正された。補正した時刻校正情報を使用して、時刻補正を行うと同時に UT から JST に変換しながら、解凍された地動記録データから、正分から 1 分ごとに切り出し、WIN システム（上部・東田、1992）における raw フォーマット形式に変換した。時刻補正・解凍されたデータの切り出しから WIN フォーマット化処

表 1 臨時地震観測点一覧表

観測点ID	緯度(度)	経度(度)	標高(m)	地名	地震計設置状況	増幅率(dB)	設置期日
WK80J	35.45726	139.04717	540	山北町中川(大滝沢)	露岩	60	2008年6月25日
WK81J	35.42596	138.96797	575	山北町世附	コンクリート上	60	2008年5月12日
WK82J	35.37733	139.02853	230	山北町川西	堰堤	60	2008年5月12日
WK83J	35.31279	139.06726	320	南足柄市雨坪	コンクリート上	60	2008年6月11日
WK84J	35.31362	139.14689	27	小田原市栢山	強震観測点(東大)	40	2008年6月11日
WK85J	35.26951	139.19372	10	小田原市酒匂	強震観測点(東大)	40	2008年6月11日
WK86J	35.28982	139.22622	60	小田原市羽根尾	コンクリート上	60	2008年6月18日
WK87J	35.37032	139.24372	183	秦野市曾屋	露岩	60	2008年6月11日
NK81J	35.55856	139.15617	360	相模原市伏馬田	露岩	60	2008年6月17日

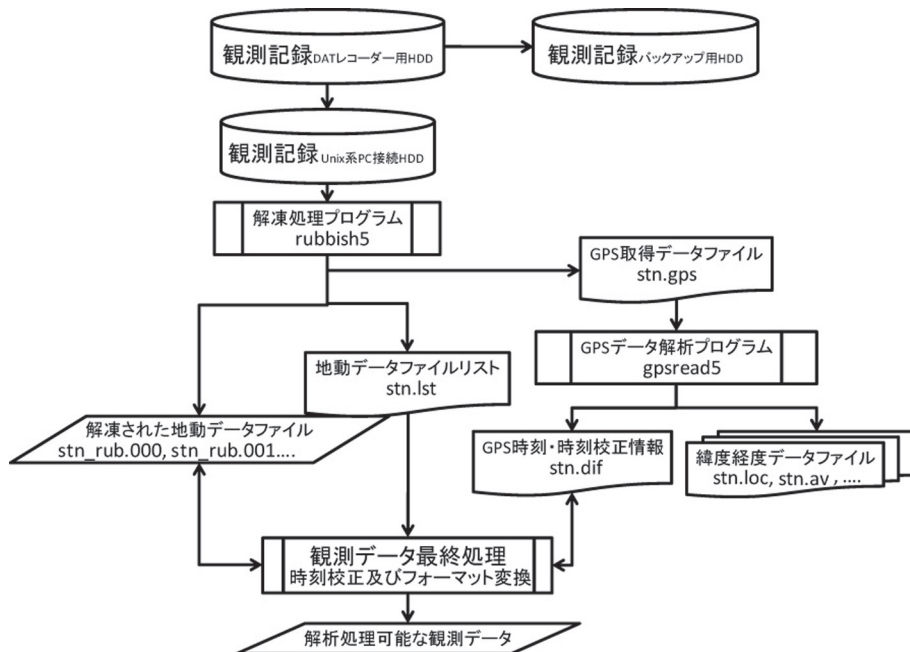


図 3 DAT 型レコーダ収録記録再生処理のフローチャート。本稿における“観測データ最終処理”は図 4 に示す。

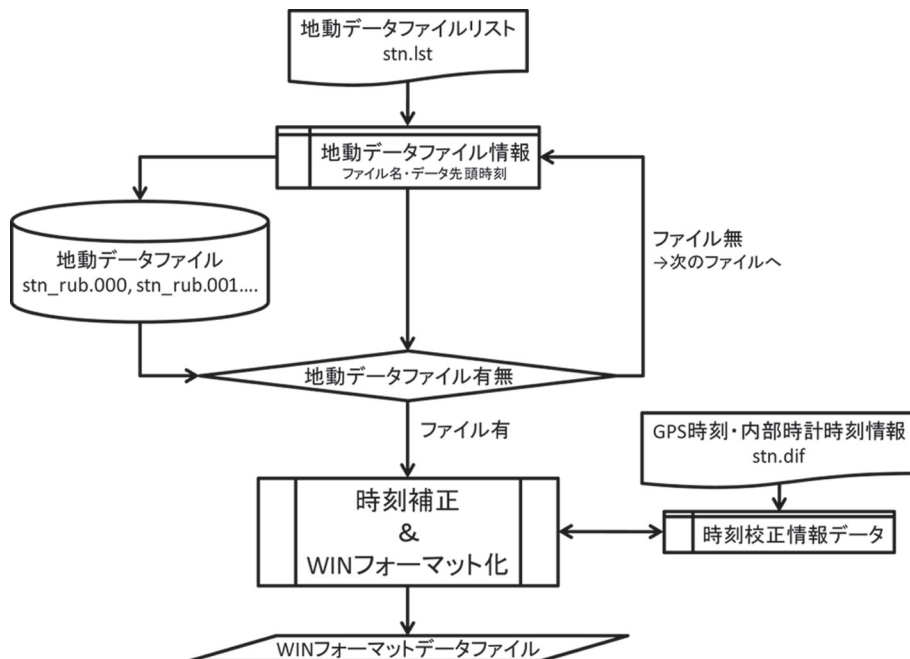


図 4 解凍展開された DAT 型レコーダ収録記録の WIN フォーマット変換プログラム rub2winraw5 のデータ処理フローチャート。

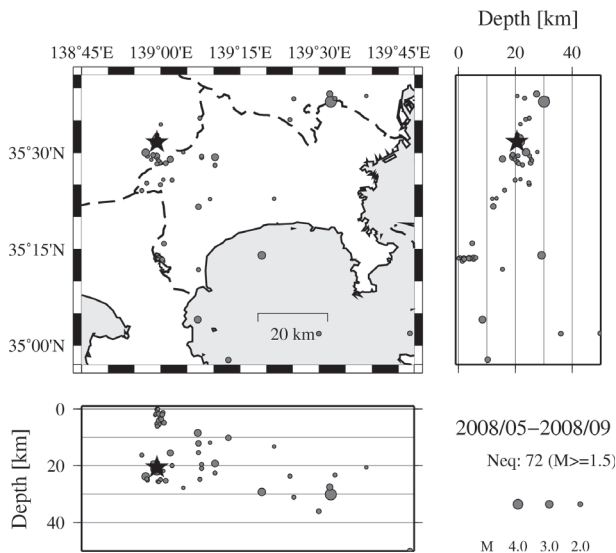


図5 臨時地震観測網展開後から2008年9月末までに発生した地震の震源分布 ($M \geq 1.5$)。★は図6で示す地震波形記録例の地震。

理は、従来は必要なデータ範囲のリスト作成、データの切り出し、フォーマット変換の3段階の処理をしなければいけない。DAT-5型レコーダにも対応した処理プログラムでは、この点は解消されているが、著作権の問題によりプログラムの使用は限られている。そこで、以前に著者が開発した、効率よくWINフォーマット化できる変換プログラムをさらに改良したrub2winraw5を使用した(図4)。また、時刻補正についてだが、サンプリング間隔以下の時刻校正値については切り捨てられ、それに応じたサンプル数をずらすのみの補正であり、リサンプリングにより補正はなされない。このような補正は従来の処理方法を踏襲している。その為、サンプリング間隔以下の時刻校正値は、各生成ファイルについてログファイルに出力される。

上記の処理によって生成された観測点毎のWINフォーマットファイルは、WINシステムにより、同時刻毎の統合、定常観測データとの統合、及び、検出処理などが容易に可能となる。

5. 取得データの検出処理

臨時観測点で取得されたWINフォーマット連続記録はWINシステムを用いて、定常地震観測データと同様に、イベント抽出及び検出処理を行う。

イベント抽出は、温泉地学研究所定常地震観測データ及び気象庁一元化地震データとの統合処理を行う事を前提として行う。温泉地学研究所定常観測におけるグル

ープトリガーにより得られたイベント検出情報により、定常観測データと同名称で、かつ、同じ時間範囲のイベントファイルを作成した。

トモグラフィー解析用の基本データ(以下、基本処理データ)として、永井ほか(2008)の方法に従って、温泉地学研究所の処理対象としている神奈川県およびその周辺で発生した、マグニチュードが1.5以上の地震を気象庁一元化震源から抽出した。臨時観測点の展開された2008年5月12日以降9月末日までで72個の地震が抽出できた(図5)。上記の地震について、気象庁一元化震源に基づいた半自動検出と呼ばれる方法で初期処理を施した。半自動検出とは、震源情報をもとに各観測点での予想到着時刻を計算し、その予想到着時刻をもとに各地震記象に時間窓を設定し、その時間窓の中で自動検出を行うことによって初動の到着時刻を読み取る方法である。この手法の有効性は、2000年鳥取県西部地震稠密余震観測データに適用した千葉(2003)により示されている。なお、1次元速度構造モデルは、定常観測に使用している単純な構造モデルを使用した。この後に、順次会話的検出をしつつ、定常観測データと統合して、3次元トモグラフィー解析を行っている。

記録波形及び半自動・会話的検出の例として、全臨時観測点で良好な記録が得られた2008(平成20)年7月15日22時25分ごろに山梨県東部・富士五湖で発生したM2.7の地震の記録を図6に示す。この直前の震度3を記録したM4クラスの地震が発生したが、DAT型レコーダで設定した記録可能な範囲を超えた地震動であったため、主要動到達前にその記録が振り切れていた。図6(A)及び(B)は、それぞれ、丹沢山地(WK81J)と足柄平野(WK82J)の2臨時観測点における3成分記録、臨時観測点6点における上下動成分の記録であり、半自動検出の結果を示している。初動極性の読み違いなどはあるが、おおむね地震波到着時刻の検出は良好である。図6(C)に会話的検出の結果を示すが、大差はない。初期処理としての検出精度は、解析における誤差を考慮すると、3次元トモグラフィー解析には有効である。また、図6(A)及び(B)に点線で示される予想到着時刻はズレが生じているが、これらのズレは丹沢山地で早く、足柄山地および足柄平野では遅いという、この地域の地震波速度構造をよく反映している。これらのズレは、1次元速度構造では考慮されていない、速度構造の3次元不均質によるものである。トモグラフィーの結果などから観測点補正値を導入すれば、半自動検出でも会話的観測と大差のない精度の高い検出が可能となる。

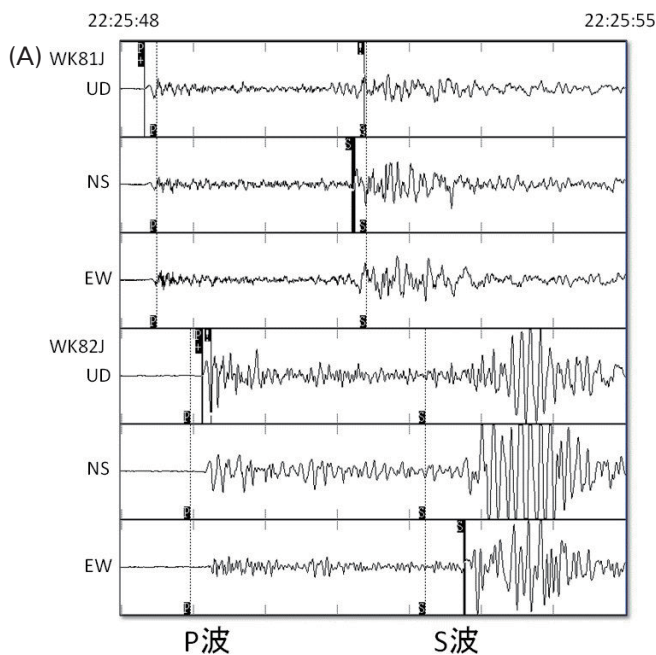
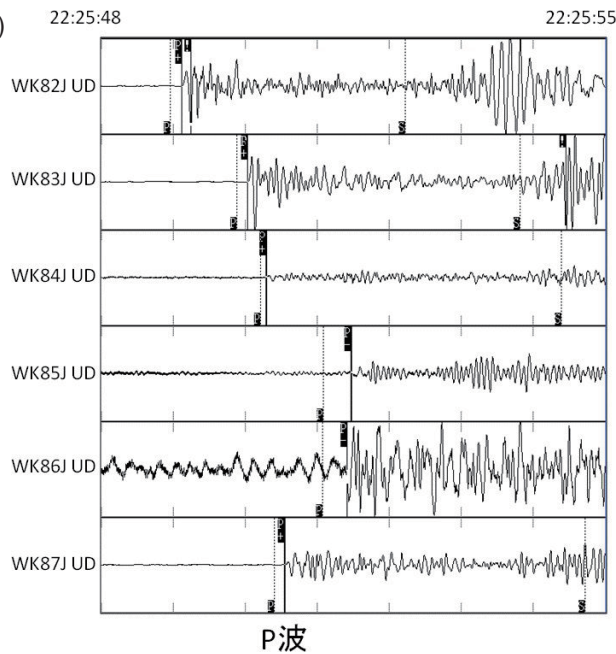
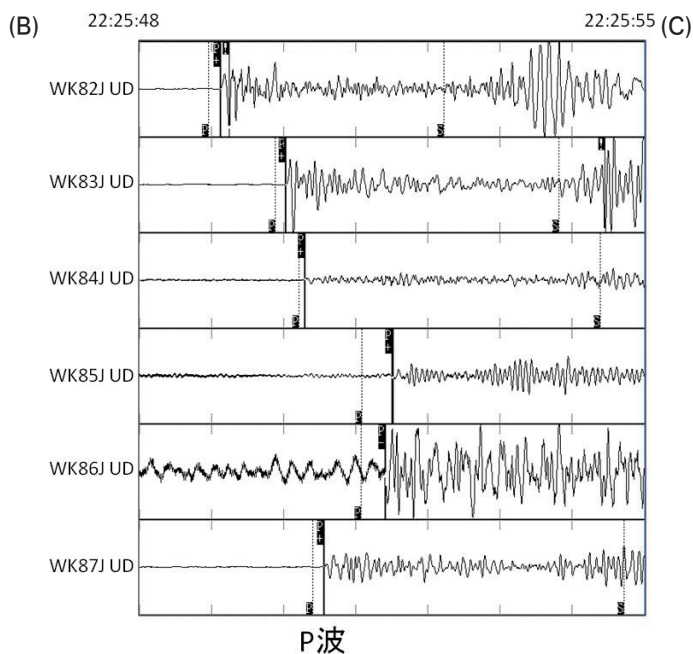


図6 臨時地震観測網で取得された地震波形記録の例。この地震の震源は図5における★である。(A) (左図) は丹沢山地 (WK81J) と足柄平野 (WK82J) の2観測点における3成分記録。(B) 及び (C) (左下図および右下図) は各臨時観測点における上下動記録。波形記録は7秒長記録で、目盛りは1秒である。波形記録中の点線・実線は、地震波の到着予想時刻・検測値を示す。(A)(B) は気象庁一元化震源値を用いた半自動検測によるもので、(C) は (B) を会話的検測による更新したもの。記録の縦幅は、 $1.82 \times 10^4 \text{m/s}$ で、観測点 WK84J、WK85J、WK86J の記録は他の記録に比べて、8倍拡大 ($2.27 \times 10^5 \text{m/s}$) してある。



6. まとめ

3次元地震波トモグラフィ解析における解像度向上を主目的として、神奈川県西部において、DAT型レコーダを用いた臨時地震観測網を展開した。2008(平成20)年6月には計9点を展開し、良好な記録が得られている。本臨時観測は2008(平成20)年末まで継続した。トモグラフィ解析などに有効なデータが得られた。

臨時地震観測により取得されるデータと定常地震観測データを統合したデータに用いて、3次元地震波トモグラフィ等の地震波解析を行う事で解像度の向上による詳細な地下構造など、新たな知見が得られる事を期待される。

謝辞

本研究では、気象庁一元化震源カタログを使用しました。気象庁一元化震源カタログは独立行政法人防災科学技術研究所、東京大学、気象庁、及び、神奈川県温泉地学研究所の地震観測データを使用して、気象庁が文部科学省と協力して整理したものです。本研究は神奈川県重点基礎研究推進事業(平成20年度)として実施した。臨時観測点2点は東京大学地震研究所強震動観測施設を使用させて頂きました。また、図の一部はGeneric Mapping Tools (Wessel and Smith, 1995) によって作成しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 千葉美穂 (2003), 2000 年鳥取県西部地震の精密余震分布, 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文, p.p.42.
- 羽田敏夫 (2006) DAT 型レコーダの改良と新型 DAT-5 型レコーダの開発, 東京大学地震研究所技術報告, 12, 24-40.
- 羽田敏夫・酒井要・小林勝・橋本信一・井上義弘・三浦禮子・田上貴代子・松原誠 (1999) デジタルオーディオ記録機 (DAT レコーダー) を用いた地震観測 (1997-1998 東北合同観測), 東京大学地震研究所彙報, 5, 39-64.
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭 (2008) Double-Difference Tomography 法による関東地方の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, 地震, 2, 60, 123-138.
- Ishida, M. (1992) Geometry and relative motion of Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, 489-513.
- Matsubara, M., Hayashi, H., Obara K., and Kasahara K. (2005) Low-velocity oceanic crust at the top of the Philippine Sea and Pacific plates beneath the Kanto region, central Japan, imaged by seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 110, B12304, doi:10.1029/2005JB003673.
- 永井悟・棚田俊收・本多亮 (2008) 気象庁一元化震源に基づいた温泉地学研究所地震データベースの整備と今後の課題, 温地研報告, 40, 51-58.
- Nakamichi H., Watanebe H., and Ohminato T. (2007) Three-dimensional velocity structures of Mount Fuji and the South Fossa Magna, central Japan, *J. Geophys. Res.*, 112, B03310, doi:10.1029/2005JB004161.
- Sato, H., Hirata N., Koketsu K., Okaya D., Abe S., Kobayashi R., Matsubara M., Iwasaki T., Ito T., Ikawa T., Kawanaka T., Kasahara K., and Harder S. (2005) Earthquake source fault beneath Tokyo, *Science*, 309, 462-464.
- 篠原雅尚・末広潔・松田茂夫・小沢和夫 (1993) DAT レコーダーを用いたデジタル大容量海底地震計, 海洋調査技術, 5 (1), 21-31.
- 篠原雅尚・平田直・松田茂夫 (1997) DAT を用いた GPS 時計付き低消費電力大容量デジタルレコーダ, 地震, 2, 50, 119-124.
- 津村紀子・堀内茂木・長谷川昭・笠原敬司 (1993) 山梨県東部におけるフィリピン海プレート上部境界面の位置 - SP 変換波による推定 -, 地震, 2, 46, 109-118.
- ト部卓・東田進也 (1992) win - 微小地震観測網波形験測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, No.2, 331.
- 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, 日本地震学会講演予稿集, No.2, 384.
- Wessel, P. and Smith, W. (1995) New version of the generic mapping tools, *EOS. Trans. Am. Geophys. Un.*, 76, 329.