

公衆回線テレメータを用いた琵琶湖周辺地域での 高精度地震観測システムについて

西上 欽也・伊藤 潔・渡辺 邦彦
飯尾 能久・竹内 文朗・渋谷 拓郎
松村 一男・片尾 浩・松尾 成光
小泉 誠

A NEW PUBLIC-LINE TELEMETRY SYSTEM FOR ACQUISITION OF HIGH QUALITY SEISMIC DATA IN THE REGION AROUND LAKE BIWA

By *Kin'ya NISHIGAMI, Kiyoshi ITO, Kunihiko WATANABE,*
Yoshihisa IIO, Fumiaki TAKEUCHI, Takuo SHIBUTANI,
Kazuo MATSUMURA, Hiroshi KATAO, Shigemitsu MATSUI
and *Makoto KOIZUMI*

Synopsis

We have newly developed a public-line telemetry system, which is composed of transmitters and a data acquisition system. The transmitters at seismic stations store waveform data of triggered events. The data acquisition system at DPRI, Kyoto Univ., once a day, gathers trigger information from all the stations, and discriminates seismic data from noise-triggered ones by comparing the trigger time among neighboring stations. After this, only the seismic wave data are transmitted to DPRI from each station.

We have installed ten temporary stations around Lake Biwa region by using the telemetry system stated above. Following analyses will be done in this region: detailed seismic activity, 3-D inhomogeneous structure of P-wave velocity and of coda scatterers in the crust, depth distribution of earthquakes, and focal mechanism by waveform inversion.

1. はじめに

第6次地震予知計画の一環として、平成元年度より特別事業『西南日本内帯における主要活断層調査』が実施されている。参加機関は主として京都大学、名古屋大学、東京大学理学部、鳥取大学であり、地震、地震探査、測地、重力、地球化学、地球電磁気など多項目の総合観測により内陸地震予知の基礎資料を得ることを目的とする。このうち地震観測に関しては京都大学と名古屋大学との協議により琵琶湖周辺地域、特に花折、柳ヶ瀬、養老、一志断層周辺を重点観測地域とし、京都大学が花折、柳ヶ瀬断層周辺を、名古屋大学が養老、一志断層周辺をそれぞれ担当することとなった。

琵琶湖周辺地域は、地形的には若狭湾を頂点とし中央構造線を底辺とするいわゆる近畿トライアングルで

特徴づけられ、その内部には南北走向の高角逆断層が多く発達している¹⁾。上述の花折断層はその西縁に、また柳ヶ瀬、養老断層は東縁に位置し、それらに沿って（特にトライアングルの外側で）地震活動が活発である。また、琵琶湖北東部には地殻底地震が存在し、その近くまでフィリピン海プレートが沈み込んでいる可能性がある²⁾。このように、琵琶湖周辺地域はテクトニクス的に非常に興味深い所である。また、『地震予知特定観測地域』（名古屋・京都・大阪・神戸地区）に指定されていることから分かるように、歴史時代にマグニチュード7級の被害地震が多く発生しており、地震予知上も重要な地域である。広ダイナミックレンジ、高密度地震観測により、この地域の地震活動、地殻・最上部マントルの不均質構造、地震発生機構などについて調査することが主な研究テーマである。

今回の地震観測を行うにあたり、公衆電話回線を用いた高機能の移動観測用テレメータシステムが新たに開発された。観測システムの特徴としては、波形データが広ダイナミックレンジ、高精度（16ビット、最大400 Hz サンプリング）であること、隣接子局のトリガー情報を用いた地震判定により地震データのみを親局に収集すること、子局における観測パラメータを親局から変更できることなどがあげられる。本稿では、主としてテレメータ観測システムおよび現在、琵琶湖周辺地域で展開されている観測の現状について述べる。

2. 観測の概要

観測地域としては上に述べたような理由から柳ヶ瀬、花折断層を含む琵琶湖周辺地域が選ばれ、既設の定常観測点の間を埋めるように約20 km スパンで10カ所に観測点が設置された。Fig. 1 に今回設置した観測点の配置、Table 1 にその座標などを示す。親局は京都大学防災研究所附属地震予知研究センター内に設置されている。平成元年度は主としてテレメータ装置の開発、2年度はそれらのテストおよび観測点設置の準備が行われ、3年度から柳ヶ瀬断層周辺の3カ所で観測を開始し、4年度から10カ所での観測が行われている。これらの観測は平成5年度末まで続けられる予定である。

子局装置は合計12台であるが、オプションとして光磁気ディスク（650 M バイト）を内蔵するタイプが5台、それ以外のタイプが7台である。後者は全てテレメータ仕様であるが、前者については現地収録仕様とテレメータ仕様の切り替えを行うことができる。上述の10観測点では全てテレメータ仕様で観測が行われている。更に、今後、現地収録仕様の子局2台を湖東地域に設置することを予定している。親局装置は2台あり、子局を2つのグループに分けて制御し、1台にかかる負担を小さくしている（性能的には、1台の親局で最大20台までの子局を制御できる）。

解析においては定常観測網のデータも合わせて用い、また名古屋大学設置観測点（5点）との間でデータ交換を予定している。これにより、空間的に高密度のデータを用いた解析が行える。また波形データのダイナミックレンジが広いので、コーダ波やP、S初動部分などの波形解析に有効である。これらのデータを用いて、琵琶湖周辺地域について本計画当初より提案されている研究テーマは次の通りである。

- (1) 琵琶湖周辺地域の地震活動を従来より高精度で調べる。
- (2) 走時インバージョンによる地殻・最上部マントルの3次元速度構造。
- (3) 地殻内におけるコーダ波散乱体の3次元空間分布。
- (4) 高精度震源決定による地震の深さ分布の下限。
- (5) 波形振幅を用いた発震機構解析。

3. 観測システム

観測および解析のシステム構成を Fig. 2 に示す。子局と親局はモデムを介して NTT 公衆電話回線に接続されている。子局では3成分地震データがトリガー起動により内部メモリ (D-RAM) に蓄えられる。親局は毎日定時に全子局のトリガー情報のみを収集し、そのトリガー時刻に基づいて地震とノイズの選別を行い、

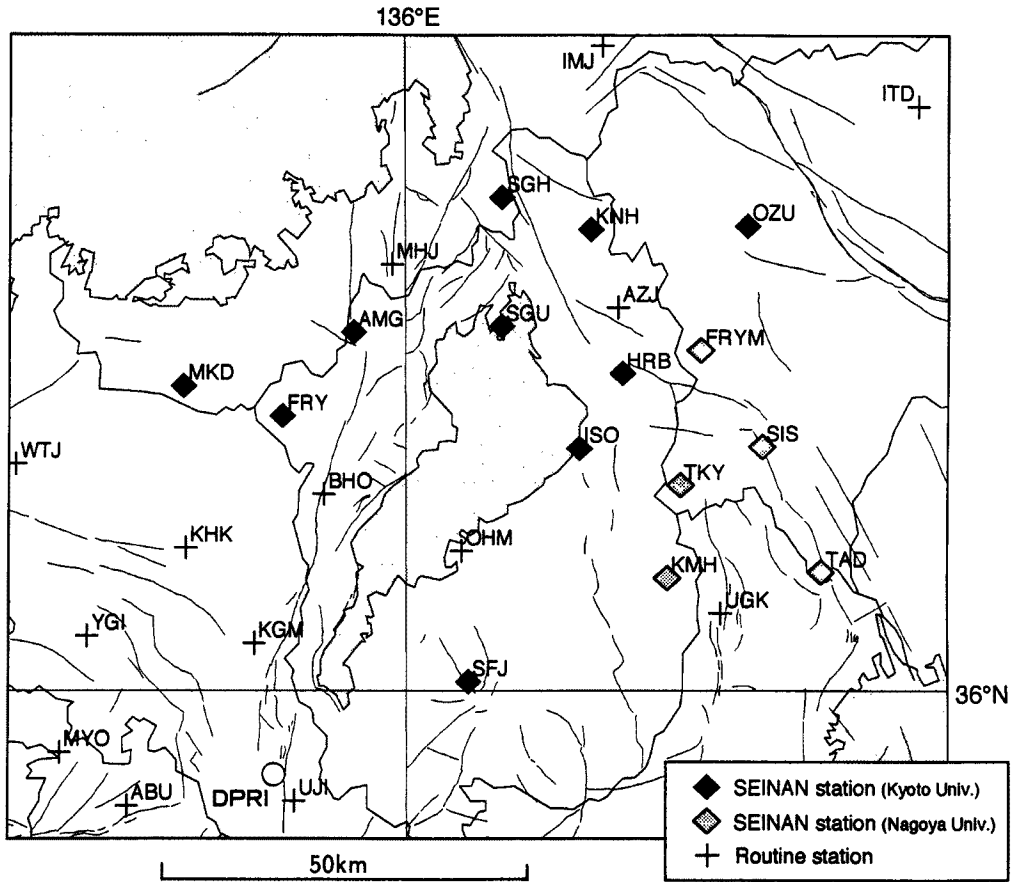


Fig. 1. Map showing the location of temporary telemetry stations (dark solid squares) around Lake Biwa and data acquisition station at DPRI, Kyoto Univ. (circle). Routine telemetry stations (crosses), temporary stations of Nagoya Univ. (light solid squares), and active faults³⁾ in this area are also plotted.

Table 1. List of temporary observation stations. Origin of X-Y coordinates is (135.5° E, 35° N)

Station		Longitude (°E)	Latitude (°N)	Height (m)	X (km)	Y (km)	Period of Observation	
Code	Name						Start	End
1	SGH Sugihashi	136.1492	35.6106	200	58.822	67.929	1991.05.18-	
2	KNH Kanaihara	136.2840	35.5708	270	71.072	63.608	1991.05.28-	
3	SGU Sugaura	136.1466	35.4522	90	58.703	50.362	1991.06.05-	
4	OZU Ozu	136.5195	35.5735	195	92.415	64.102	1992.03.13-	
5	HRB Horibe	136.3293	35.3916	130	75.342	43.756	1992.03.18-	
6	ISO Iso	136.2636	35.2997	130	69.455	33.511	1992.03.19-	
7	AMG Amasugawa	135.9196	35.4457	160	38.099	49.522	1992.03.23-	1992.09.07
8	MKD Makidani	135.6586	35.3799	165	14.410	42.159	1992.03.24-	
9	FRY Furuya	135.8094	35.3414	440	28.131	37.915	1992.04.01-	
10	SFJ Shofukuji	136.0927	35.0101	165	54.097	1.277	1992.12.21-	

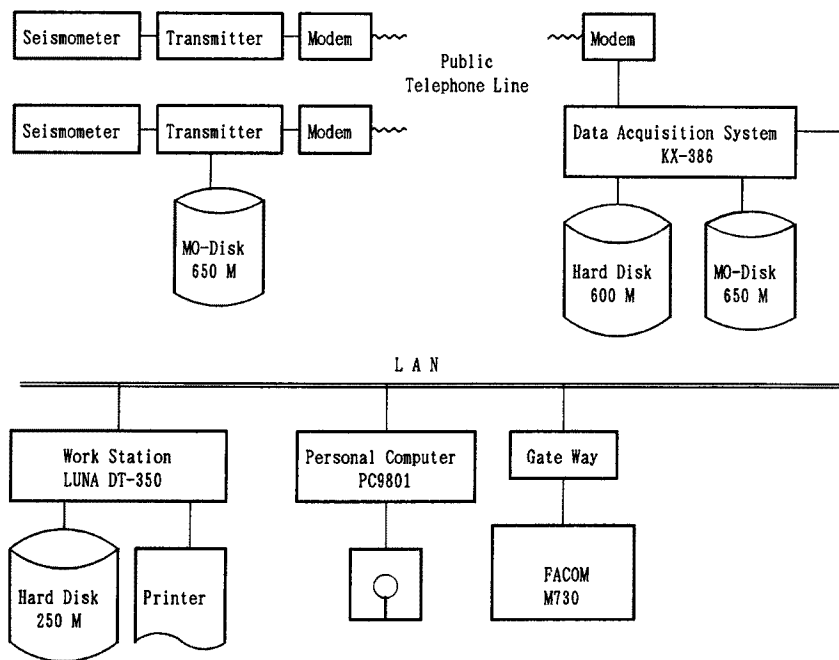


Fig. 2. Diagram of observation and data processing system.

地震と判定されたイベントだけの波形データを収集し、ハードディスクに蓄積する。波形データの読み取り、解析は LAN で接続されたワークステーション等で行われる。以下、それぞれの機器について説明する。

なお、テレメータ装置は株式会社近計システムにより製作され、開発には同社および京都、名古屋、東北各大学の担当者らがあつた（本稿最後を参照）。

3.1. 子局装置

(1) 仕様

近計システム製で、アンプ部 (EAT-1000) および制御部 (EAT-1000) の2つのユニットで構成される (Photo. 1)。重量はそれぞれ20, および25 kg である。主な仕様は以下の通り。

(a) 入力

チャンネル数 1～6 (任意に設定可能)
 入力レンジ $\pm 10, \pm 1, \pm 0.1, \pm 0.03$ V (各 ch 毎)
 アンプ倍率 1, 10, 100, 333倍相当

ローカットフィルタ 0.05 Hz
 ハイカットフィルタ 100, 200 Hz (-42 dB/Oct)

A/D 変換 16 bit (ノイズ ± 2 LSB)
 サンプリング 400, 200, 100, 50, 20, 10 Hz

(b) メモリ

プリメモリ 6 K バイト/ch
 メインメモリ 2 M バイト/6ch
 外部メモリ 650 M バイト光磁気ディスク (オプション)

(c) 時計

精度 $\pm 5 \times 10^{-8}$

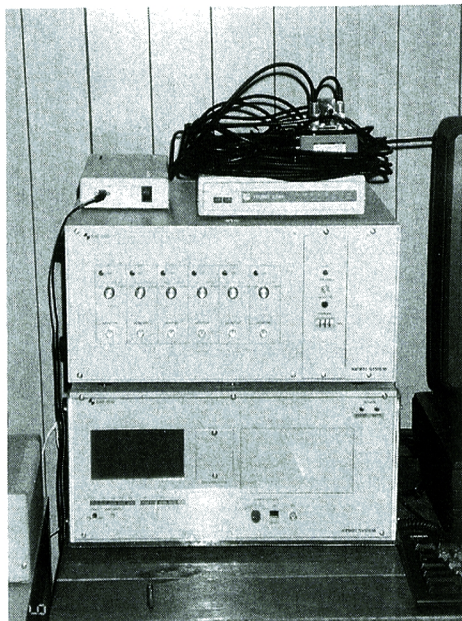


Photo. 1. Telemetry transmitter EAT-1000 (lower) and EAT-1100 (upper). A modem and an FM antenna can be seen on them.

自動校正

1回/日 (FM チューナー内蔵)

サンプリングは常に 400 Hz で行われ、200 Hz 以下のサンプリングデータについてはその平滑処理により作成される。今回の琵琶湖周辺での観測では 200 Hz サンプリングで行われている。また、A/D 変換直前の入力信号をモニタすることができる。

メインメモリの大きさは 2048 K バイト (1024 K ワード) であり、200 Hz サンプリングで 3 成分データを取り込んだ場合、最大約 28 分間の収録が可能である。今回の観測では 1 イベントあたりの収録時間を最小 1 分、最大 2 分間と設定しているため、子局での収録可能イベント数は 14~20 個となる。また、プリメモリの大きさは 1 チャンネルあたり 3 K ワードであり、データ遅延時間は 200 Hz サンプリングの場合最大 15 秒である。収録される波形データの先には、観測点番号、トリガー時刻、データ量などの他、観測時の設定パラメータのほぼ全てがトリガー情報として書き込まれる。また、外部記憶装置として容量 650 M バイト (両面) の 5 インチ光磁気ディスクを取り付けることができる。この場合は、トリガー情報だけを親局へ伝送することもできる。

時計は 1 日 1 回午前 9 時の NHK 放送時報 (FM) に合わせて自動校正される。今回の観測点は山間部にあるものが多く、子局内蔵の FM チューナーでは受信状態の悪い所が数カ所あり、そこでは別のラジオで FM または AM 放送を受信し、それを FM トランスミッタ (共永電気産業社製 KT-601) で約 76.5 MHz で再送信して子局チューナーに伝えるという方法をとった。時刻修正量は停電情報と共にログファイルに記録され、トリガー情報伝送時に一緒に親局に伝送される。

地震計は固有周期 2 Hz のマークプロダクト社製 L-22D、3 成分を全点に設置した。また、モデムはアライドテレシス社製 T2000SA を用いた。通信速度は回線状態により 9600 bps もしくはそれ以上が可能である。しかし、実際の波形データ伝送に要する時間とデータ量をチェックすると、通信速度が 9600 bps の数分の 1 程度といった観測点もある。

システム運用後、モデムが AC 電源ノイズによりハングアップすることが分かったので、その対策として無停電電源装置 (UPS) を取り付けた。また、EAT-1100 についても電源ノイズもしくは名にらかの原因でハングアップすることがあり、その場合には EAT-1000 側から自動的にリセットをかけるように改良した。

(2) トリガー

子局は通常、トリガーにより起動される。収録開始および停止の判定は、地震動以外のノイズをできるだけ除去するように、次のような手順で行われる。なお、以下に述べるトリガーパラメータの設定はいずれも子局の液晶表示メニュー画面での選択による。

(a) トリガーレベルの設定

一定のタイムウィンドウで入力データの移動平均を計算し、それを平均オフセットとする。データから平均オフセットを引いた絶対値の移動平均を同じウィンドウ内で計算し (データの標準偏差のようなもの)、それを平均ノイズレベルとする。これに一定のファクターをかけ、更に一定のオフセットを加えたものをトリガーレベルと定義する。ここで、タイムウィンドウの長さはデータ数 200~2000、ファクターは 0~100、オフセットは $2^0 \sim 2^{15}$ (digit 単位) の範囲から選択する。

(b) 収録の開始

データから上述の平均オフセットを引き去ったものをモニターし、一定のウィンドウ内に一定の回数以上、正負両方向にトリガーレベルを越えたときトリガー判定がONとなる。複数成分の入力信号のトリガー判定が、設定された AND, OR 論理を満たした時に、データ収録が開始される。ここで、トリガー判定のウィンドウの長さはデータ数100~1000、回数は1~10の範囲から選択する。

(c) 収録の停止

(a) で述べたトリガーレベルに一定のファクターをかけたものを停止レベルと定義する。(b) の場合と同じ入力成分について、データから平均オフセットを引き去ったものをモニターし、一定のウィンドウ内に一度も停止レベルを越えなくなった時に収録を停止する。ここで、停止レベルのファクターは、0.01~3、停止判定のウィンドウの長さはデータ数200~2000の範囲から選択する。なお、収録時間の下限、上限をそれぞれデータ数3000~24000、3000~60000の範囲内で設定できる。また、収録時間を固定することもできる。

ここに述べた判定方法では、(a) におけるタイムウィンドウを適当に短く設定することにより、地震波動より長周期のノイズの影響を平均オフセットとして引き去ることができ、脈動などによるトリガーを少なくすることができる。また、トリガーレベルが入力データに対して時間的にゆっくり変化するので、P, S 波のような急激な振幅の増加に対してはトリガーするものの、例えば、車によるノイズなどのようにゆっくり振幅が大きくなるものを除去することができるはずである。また、(b) のトリガー判定で述べたように、パルス的なノイズも除去することができる。しかし、実際にはトリガーレベルの変動に起因すると思われるノイズトリガーやミストリガーもあり、今後改良すべき点は多い。特に、ノイズレベルが小さい時にトリガーレベルが極端に下がってしまうのを避けるために、(a) におけるオフセットをある程度大きく設定しておくことが必要である。

上述のトリガーモード以外にも、収録開始時刻と収録時間を10通り設定できるタイマーモード、子局装置以外から収録開始・停止の接点信号を受けて起動する外部起動モード、親局からの起動コマンドを受けて収録を開始するリモート起動、同じく親局からのコマンドを受けて地震計を含んだシステムの検定を行うキャリブレーション起動などにより子局を起動することができる。これらは外部起動モードを除いて、いずれも親局からのモード変更、制御が可能である。

3.2. 親局装置

(1) 仕様

近計システム製ファクトリコンピュータ KX-386-01 (Photo. 2)。CPU は80386プロセッサ (20 MHz)、OS は UNIX System V (SCO-Xenix)、メインメモリ 8 M バイト、外部記憶装置としてハードディスク (600 M バイト)、光磁気ディスク (両面 650 M バイト)、5 インチフロッピーディスク各1台、および14インチ・ターミナル、14インチ・カラーグラフィックディスプレイを持つ。なお、電源投入後、自動的に観測状態に入り、以下に述べる親局での操作は全てターミナルに表示されるメニュー画面により行う。

(2) 地震判定・波形データ収集

前節で述べたように、子局でのトリガー判定は通常、1点での波形データのみをモニターして行われるので、子局で収録されたデータには地震以外のノイズデータも比較的多く含まれることが予想される。親局ではできるだけ有効に回線を使用するために以下に述べるような地震判定を行い、地震と判定されたイベントのみの波形データを収録する。

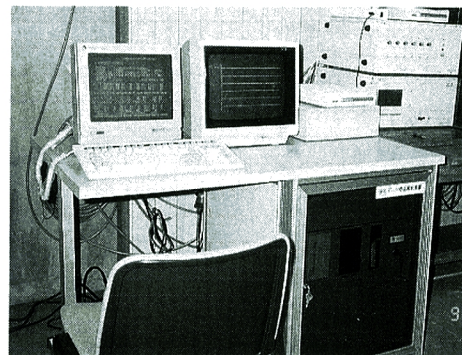


Photo. 2. Telemetry data acquisition system. A console display, a color-graphic display and a modem, from left to right, can be seen on the table.

(a) トリガー情報の収集

親局は毎日自動的に、設定された時刻に全子局のトリガー情報を収集する。また、設定時刻以外でも、いずれかの子局でトリガーが頻発しメモリ残量が設定値より小さくなると、その子局は自動的にトリガー情報を親局に伝送し、その時点で親局は他の全子局のトリガー情報収集を開始する。ここで、メモリ残量（子局側で設定）は20～50%の範囲から選択する。また、データ収集時刻は1日10回まで設定可能であるが、今回の観測では1日1回午前0時に設定されている。

(b) 地震判定

判定は収集されたトリガー時刻のみを用いて行われ、隣接した子局間で、ある一定の時間内に共通のトリガーがあった場合にそれらが地震データと判定され、それ以外は全てノイズデータと判定される。各子局毎にあらかじめ、参照する隣接子局の組み合わせ、地震と判定するためにはどれだけの時間内に何点以上で共通のトリガーがあればよいのかを設定しておく。特定の子局において収集された全てのイベントを無条件に地震と判定させるような設定も可能である。地震判定の結果を画面表示でモニターすることができる。

(c) 波形データの収集

上記の地震判定結果に基づき、地震と判定されたイベントの波形データ収集およびノイズデータの消去が各子局に対して順次行われる。以上の地震判定、波形データ収集は自動的に行われるが、それ以外にも随時、これら一連の処理を親局において実行させることができる。

上述のような手順で子局から地震波形データを収集する場合を親局モードと呼ぶ。これに対して次に述べるような子局モードでデータを収集することも可能である。子局モードに設定された観測点では、トリガーによりイベントが収集されると、直ちにトリガー情報が親局に伝送される。親局では送付されたトリガー情報が子局モード観測点からのものであることを確認後、直ちにその波形データ伝送を要求する。このようにイベントが発生する度に波形データを親局で収録することができる。なお、子局、親局両モードの観測点が混在することも可能である。

(3) 子局の制御

親局から子局に対して次のような制御を行うことができる。

(a) 観測パラメータの変更

子局設置時に現地で設定する全てのパラメータを親局から変更することができる。即ち、観測点番号、親局電話番号などの登録データ、サンプリング周波数、入力チャンネル数などの観測パラメータ、およびトリガーレベル、データ収録時間などのトリガーパラメータなどである。親局、子局モードの変更も行える。

(b) 時刻修正

子局の時計を数秒以内の精度で修正することができる。この修正後、子局では次の正時時報により正確に自動校正される。

(c) 子局の起動

前節で述べたようにリモート起動、キャリブレーション起動を行うことができる。これらの場合、いずれも30秒間のデータが収録された後、直ちに親局に伝送される。タイマー起動の設定変更も可能である。

(d) データの伝送・消去

各子局のトリガー情報を収集し、そのリストを見て各波形データ毎にその伝送または消去を指示することができる。

なお、子局に何らかのトラブルがあり電源リセットによる再立ち上げを必要とする場合は、親局側のパソコンからRS232C、モデムを介してコマンドを伝送することにより、現地へ行かなくてもリセットを行うことができる。

(4) その他の機能

上に述べた以外の親局の機能としては、子局の時刻修正ログおよび停電ログファイルの表示、種々の通信結果ログファイルの表示、ハードディスク内の地震波形データのリスト表示およびグラフィックディスプレイ

イへの波形表示, 子局で収録された光磁気ディスクのデータリスト表示およびグラフィックディスプレイへの波形表示, ハードディスクから光磁気ディスクへの波形データのバックアップなどがある。

3.3. 読み取り・解析システム

親局のハードディスクに収録された地震波形データの読み取り・解析専用機としてワークステーション(オムロン製 LUNA DT-350)がイーサネットに接続されている。LUNAの主な仕様は、CPU 68030 プロセッサ(20 MHz, 4 MIPS), OS UNIX4.3BSD, メインメモリ 12 M バイト, ハードディスク 250 M バイトで、16インチ・カラーグラフィックディスプレイ, レーザープリンタを持つ。また、同じく LAN により接続されたパソコン(NEC PC98 シリーズ)やゲートウェイを介した汎用計算機(京大防災研, 地域防災システム研究センターの FACOM M730)を用いて定常観測網の読み取りデータとの統合, データやプログラムファイルの転送, 解析などの処理を行う。LUNA による波形データの読み取りについては、既存の読み取りソフトウェアを用いた手動もしくは半自動検測を行う予定である。Fig. 3 に LUNA による波形出力例(画面ハードコピー)を示す。

4. 今後の解析予定

2節で述べたような解析が今後、データの蓄積を待って、行われる予定であるが、ここではその一例として琵琶湖周辺地域におけるコーダ波散乱体分布の研究について簡単に紹介する。

従来のコーダ波研究では、不均質性が地殻・上部マントル内に一様、ランダムに分布するとの仮定のもとで、媒質の平均的な散乱、減衰特性が調べられ、コーダ波減衰の周波数依存性、その依存性とテクトニック活動度との相関など媒質構造の不均質性に関する研究が世界各地でひろく行われてきた。さらに、最近では強い不均質構造(コーダ波散乱体)の空間分布を決定論的に推定しようとする研究が幾つか行われている^{4),5)}。このような決定論的研究は地殻・上部マントルの不均質性を探る新しいアプローチとなり得るものである。

本プロジェクトでは琵琶湖周辺地域における地殻内の不均質構造を調査するために、Nishigami (1991)⁵⁾

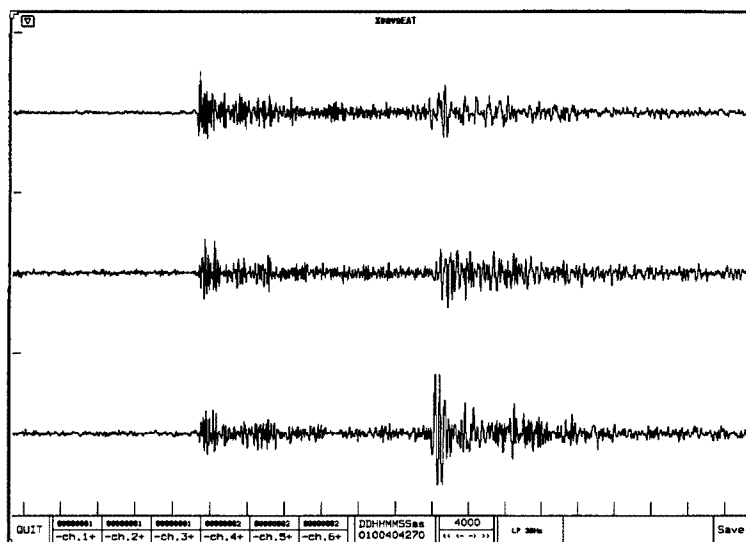


Fig. 3. An example of seismograms displayed on the screen of LUNA. UD, NS and EW components at station SFJ are shown from top to bottom. Time mark is shown at the bottom, graduated every one second.

の提案した解析手法を用いる。すなわち、琵琶湖周辺の地震100個程度を選び、今回設置した観測点および近隣の微小地震定常観測網で観測される波形データを用い、コーダ波の平均的な時間減衰に対する観測波の揺らぎ、すなわち「コーダ波エネルギー残差」として定義される観測量を算出する。琵琶湖周辺地域を1辺10 km、1,500個程度のブロックに分割して各ブロック内の散乱係数を未知量とし、1次・等方散乱の仮定のもとで導出された観測方程式をインバージョンにより解く。現在のところ波形データの蓄積が十分ではないので、本稿では模擬データを用いたシミュレーションの結果のみを示す。

琵琶湖を中心とした東西、南北150 km、深さ0~80 kmの範囲を解析領域とし、これを1辺10 kmの立方体ブロック1,800個に分割した (Fig. 4 参照)。阿武山観測所の震源ファイルからマグニチュード3以上で解析領域の中心付近 (東西、南北70 km 以内、深さ、0~40 km) に発生した地震105個を選び、それらの震源座標を解析に用いる地震のデータとして与えた。観測点としては今回設置した10点に、美浜、浅井、坊村、京北、上賀茂、近江八幡の6点の定常観測点を加え、S波走時のある程度小さい観測点のみを解析に用いることとし、それらの「コーダ波エネルギー残差」については適当な解析区間で乱数データとして与えた。インバージョンにより得られた解には当然意味がないが、解の分解能を評価することは可能である。Fig. 4 に定常観測点だけの場合 (a)、およびそれに今回の観測点データを加えた場合 (b) のそれぞれの解析に対する分解能を示す。得られた各ブロック内の解にどの程度他のブロックの影響が混ざっているかを示し、分解能が1.0の時は他ブロックの影響をまったく受けない解で、逆に0.0の場合は解の分解能が全くないことを意味する。解析領域の周辺部では scattering shell によるサンプリングが少なくなるため分解能が悪くなるものの、琵琶湖周辺地域での分解能は比較的良好で、特に今回設置点のデータを加えた場合は深さ約25 km まである程度の分解能で結果が得られるものと期待される。

5. おわりに

今回開発されたテレメータシステムは、ここに述べてきたように、特に親局からの子局制御機能が優れており、安定した運用が開始された後には高精度地震観測システムとして大きな威力を発揮するものと思われる。今後、比較的長期間の臨時観測網の設置には有力な手段となるであろう。しかしここで、あえて本システムの問題点とも言えるものを書きとどめておくとすれば、次のようなことである。まず、デジタルデータ、トリガー収録、テレメータ伝送ということで常時アナログデータをモニターできない観測システムであり、もし現地に設置された子局の動作にバグが出現した場合、それを解決するまでに多くの労力と時間を要することである。実際、このようなバグの処置に1年程度も要している。また、運用後も親局側での波形モ

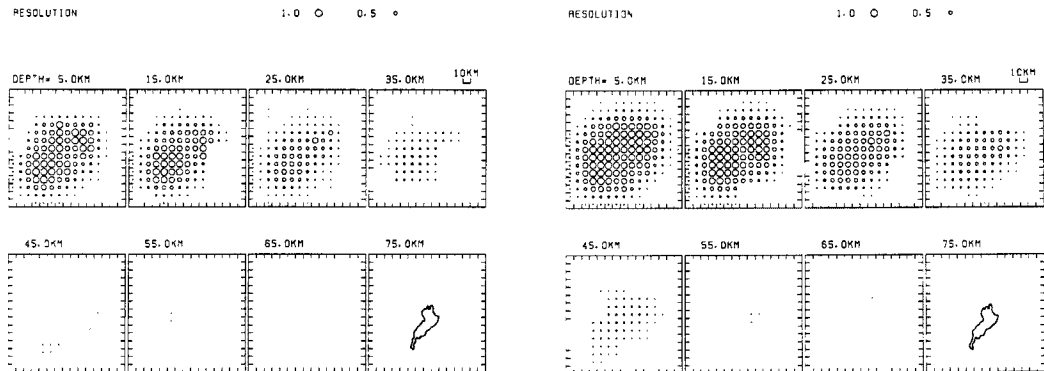


Fig. 4. Resolution of scattering strength inversion in the case of using (a) six routine stations only and (b) those added ten temporary stations. Diagonal element of resolution matrix is plotted for each block, with rough illustration of the location of Lake Biwa at the lowermost layer.

ニターに注意を払わないと子局側での欠測状態を見逃しやすくなってしまいます。親局が何らかの理由で長時間ハングアップした場合、子局には親局からの制御(伝送, 消去)が効かない波形データがたまることがあり、子局も事実上のハングアップ状態に陥ってしまいます。さらに、観測点には電話回線の敷設が必要であり、それに伴った土地・建物貸借手続き上の問題で機動性に欠けることも、今後、解決すべき点であろう。

謝 辞

観測装置の設置にあたり土地・建物の一部をお貸し戴くなどお世話になっている山下雄弘氏(杉箸)、藤田繁光氏(金居原)、竹田忠雄氏(菅浦)、高橋 篤氏(小津)、清水 薫氏(堀部)、米原町水道課磯浄水場(磯)、杉生真生氏(天増川)、糸田正夫氏(槇谷)、梅本一義氏(古屋)、甲西町上水道管理センター(正福寺)およびそれぞれの地元の方々へ心よりお礼申し上げます。また、観測を手伝って戴いた京都大学防災研究所附属地震予知研究センターの山田 勝氏、細 善信氏、臨時観測点のデータを戴いた名古屋大学理学部地震火山観測地域センターの大井田 徹氏に感謝いたします。

なお、テレメータ装置の開発には大学側からは京都大学:伊藤 潔, 渡辺邦彦, 飯尾能久(現在, 科学技術庁防災科学技術研究所), 竹内文朗, 西上欽也, および黒磯章夫氏(現在, 気象庁), 名古屋大学:大井田 徹, 山崎文人, 東北大学:松澤 暢の各氏, および近計システム側からは高島一徳, 井上宜久, 内田 淳の各氏らがあつた。関係者の方々に感謝いたします。

計算には京都大学防災研究所附属防災科学資料センター(現在, 地域防災システム研究センター) FACOM M730 および京都大学大型計算機センター FACOM M-1800 を利用した。

参 考 文 献

- 1) Huzita, K.: Tectonic development of the median zone (Setouti) of Southwest Japan since Miocene, J. Geosci. Osaka City Univ., Vol. 6, 1962, pp. 103-144.
- 2) Hurukawa, N.: Normal faulting microearthquakes occurring near the Moho discontinuity in the northeastern Kinki district, Japan, J. Phys. Earth, Vol. 29, 1981, pp. 519-535.
- 3) 活断層研究会: 日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 1980, 363pp.
- 4) 篠原雅尚・平田 直・卜部 卓・浅沼俊夫: 伊豆半島熱川における小規模アレイ観測による散乱体の推定, 地震Ⅱ, 第43巻, 1990, pp. 471-482.
- 5) Nishigami, K.: A new inversion method of coda waveforms to determine spatial distribution of coda scatterers in the crust and uppermost mantle, Geophys. Res. Lett., Vol. 18, No. 12, 1991, pp. 2225-2228.