

地震観測における無線制御システムについて —兵庫県南部地震第2次合同観測および飛騨総合観測の場合—

大学合同地震観測班
(技術担当, 文責 小泉 誠)

要 旨

地震予知を目指した大地震発生場の地殻内不均質構造を調査するため, 新しい観測システムが構築された。広域テレメータ観測網とデータ集中処理システム及び稠密アレー観測を一体化したものである。アレー観測における地震データ収録の可否は集中局からの無線指令による。これを無線制御システムと呼んでおり, 本稿ではこの部分に限って詳しく述べる。

キーワード: 地震, 観測システム, 無線制御, テレメータ, トリガー制御システム

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震直後に防災研究所地震予知研究センターでは約2週間程度余震の臨時観測が実施された。「これについて既に報告がある(伊藤他, 1996)。」その後いわゆる大学合同地震観測班(GROUPS-95)と呼ばれる全国の大学合同の緊急地殻活動観測網へと引き継がれた。これは3ヵ月後に初期の目的を果たして終了したが, 同年10月12日から1996年1月17日までGROUPS-95による第2次合同観測が実施された。「これについて既に発表が行われた(梅田康弘, 1996)。」その目的は余震域を含む広範囲の震源を精度良く求めること, 淡路島北部の野島断層およびその周辺の活断層の深部構造を調査すること, 並びに本震発生より起こっていた猪名川群発地震のメカニズムの調査であった。一方, 内陸地震研究グループが計画を進めていた飛騨地域総合観測は, 兵庫県南部地震のためその実施が遅れたが, 飛騨山脈を中心に地殻の不均質構造, とりわけ乗鞍岳直下の地震波減衰構造の検出を調査するとともに内陸大地震の発生との関連を探るため, 1996年7月から3ヵ月間実施された。「これについては既に発表が行われた(伊藤 潔, 1997, 藤井 巖, 1997)。」

第2次合同観測および飛騨総合観測ではいずれも既設の地震観測点に臨時の観測点を加えた広域テレメータ観測網を構築し, その観測網の中で淡路島北

部および猪名川町周辺(Fig.1), そして乗鞍岳を東西に横切る地域においては稠密アレー観測が1996年8月20日より10月20日まで行われた(Fig.2)。これらのアレー観測においてはいずれも無線制御信号により記録装置が駆動された。ここではその無線制御システムについて報告する。

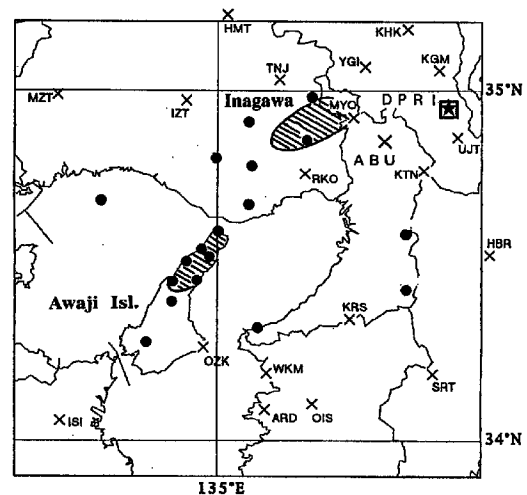


Fig.1 Seismological station for the 1995 joint seismological research in southern Hyogo Prefecture. ●:temporary telemetry stations. ×:permanent telemetry stations. □:data center. Shaded portions indicate two array observation areas.

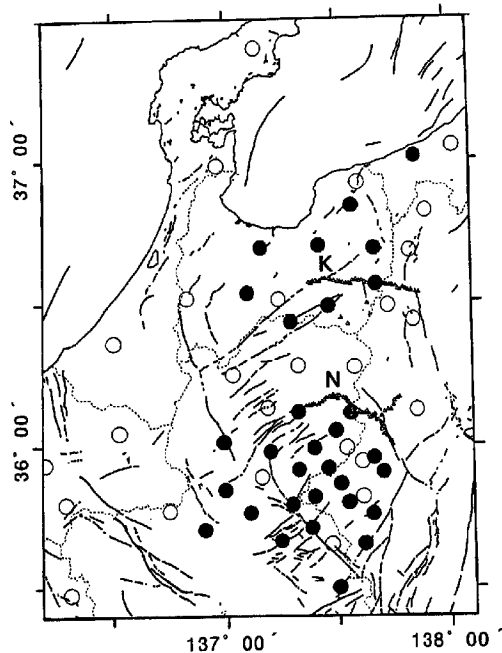


Fig.2 Seismological stations for the 1995 joint seismological research in Hida district.

N:Norikura array line. K:Tateyama-Kurobe array line.

2. 観測の概要

兵庫県南部地震の第2次合同観測では既設観測点9点に臨時点18点を加えた計27点の地震データが、専用電話回線により宇治の防災研究所に設置された合同観測集中局に集められ自動処理された。

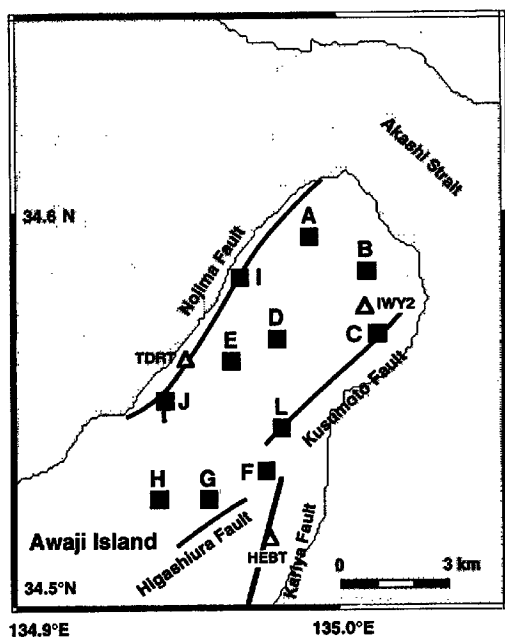


Fig.3 Observation points in northern part of Awaji island. ■: array seismometers(A~L). △: temporary telemetry stations.

稠密アレー観測域である淡路島北部では11地点約100観測点, 猪名川町を中心とした観測域では11地点約80観測点が展開された(Fig.3, Fig.4)。

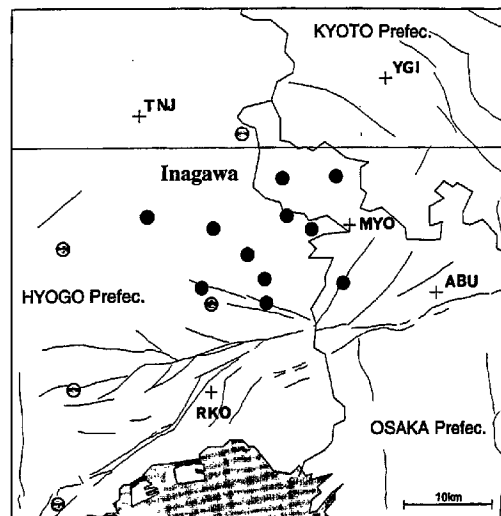


Fig.4 Observatoion points around Inagawa area.

●: array seismometers. ○: temporary telemetry stations. +: parmanent telemetry stations.

アレー観測点では固有周波数4.5Hzと2Hzの地震計を使用した。地震データは2MBのSRAMカードに記録され、無線トリガー収録指令信号を受信する受信機とともに設置された。有線広域網で捉えられた地震が観測目的域内のものであれば、集中局よりトリガー信号が六甲N T T天文通信館屋上に設けられた送信所に送出され、そこからさらに放射状にトリガー信号が発射され、アレー観測点の記録装置が一斉に駆動される。同様に飛騨総合観測では名古屋大学理学部および京都大学防災研究所の既設観測点26点に臨時点27点を加えた計53点の地震データは、専用電話回線により岐阜県大野郡清見村の名古屋大学理学部附属高山地震観測所を集中局として集められ自動処理された。上記の第2次合同観測と同様、トリガー信号は集中局より国立天文台乗鞍コロナ観測所を送信所として全方位に発射され、アレー観測点の記録装置を一斉に駆動した。地震計は固有周波数4.5Hz3成分一体型を49組, 2Hzを15組を用いた。乗鞍岳を東西に横断する稠密アレー観測は高山市の東から乗鞍岳を越え、長野県木祖村境峠および安曇村稲核に至る約45kmの測線に64点の観測点が設置

された(Fig.5)。

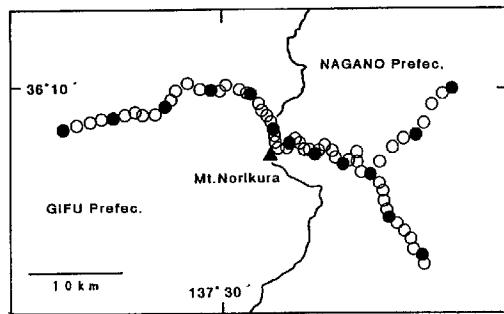


Fig.5 Norikura array line. ○: 4.5Hz 3-components assembly type seismometer.

●: 2.0Hz 3-components L-22 type seismometer.

3. 無線制御システム

このシステムは1993年10月から11月にかけて栃木県日光市周辺で行われた大学合同地震観測で最初に用いられたもので、アレー観測網に設置された多数の観測点の記録装置の駆動をコントロールするトリガー指令のシステムである。

リアルタイムで伝送されてくる地震データの連続表示、収録、オンライン処理、およびオフライン処理を行う自動地震情報解析システムの一部をなす同時多点地震観測制御装置の入力に広域有線観測網の地震データが入力されA/D変換される。この装置に接続されたパソコンによりトリガー収録指令をだすためのパラメータを設定する事が出来る。観測目的とする領域の範囲や使用する観測点数の設定、トリガー論理、トリガーレベルの設定が行われる。この設定を満足するようなイベントが発生した場合に同装置の出力から矩形パルスのトリガー収録指令信号がだされる。

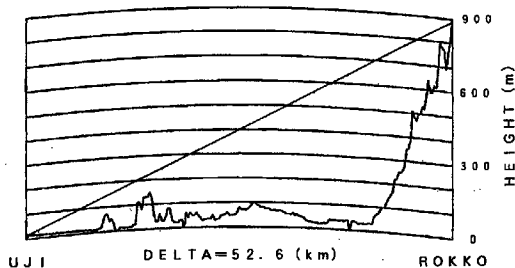


Fig.6 Topographical profile between data center (Uji) and relay station (Rokko)

兵庫県南部地震の第2次合同観測では淡路島北部および猪名川町周辺でアレー観測を実施するための

トリガー送信所を何処にするかを調査した結果、両地域で無線信号を良好にキャッチ出来る送信場所として六甲山上を選出した。Fig6は宇治防災研究所地震予知研究センターと六甲山上のNTT天文通信館を結ぶ地形断面を示した。同時多点地震観測制御装置の出力から出されたトリガー収録指令信号は宇治防災研究所地震予知研究センター屋上から402.7MHzの搬送波をDTMF信号の‘*’ (1209Hzと941Hzを組み合わせたもの) で変調し、六甲NTT天文通信館の屋上に設置した中継点で復調、55.34MHz出力10Wにより再度DTMF信号と時刻スローコードを発信する。淡路島北部および猪名川町周辺の各アレー観測点ではこれを受けて同時に収録を開始するものである(Fig.7)。時刻スローコードは常時発信されており各点で電波の受信状態が確認出来る。また六甲NTT天文通信館屋上からのトリガー発信は、地震予知研究センターでも常時モニターされ、これをカウントすることによりトリガー数を管理した。

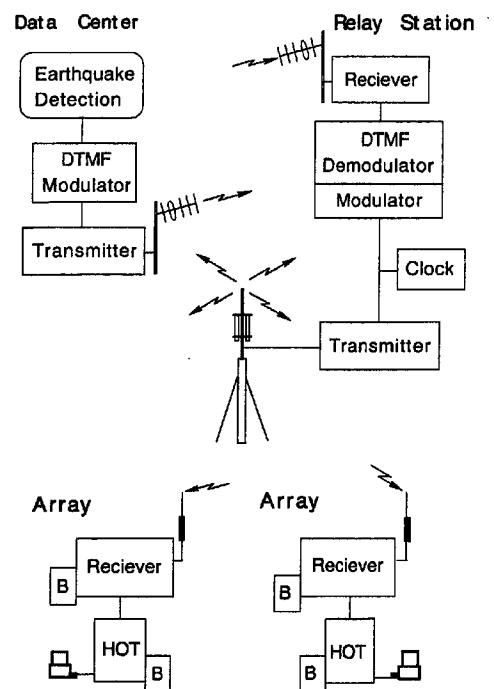


Fig.7 Block diagram of radio wave control system.

飛騨総合観測の場合無線の送信は、64.175MHzを名古屋大学理学部附属高山観測所から直接国立天文台乗鞍コロナ観測所へ送信を試みたが、高山観測所のすぐ近くに山が迫り見通しでないため、夜間の電界強度が落ちることがあって不安定となったため、一旦近くの清見村公民館の屋上へ63.965MHzの無線でトリガー収録指令信号を送信、ここで

402.825MHzの無線に乗せ換えて乗鞍コロナ観測所へ送り、ここから55.34MHz、10Wの送信機でDTMF信号の「*」を各観測点へブロードキャストした。従って送信所へトリガー収録指令信号を届けるまでもう一段中継が加わったことになる。Fig.8は乗鞍コロナ観測所と清見村公民館を結ぶ地形断面を示している。

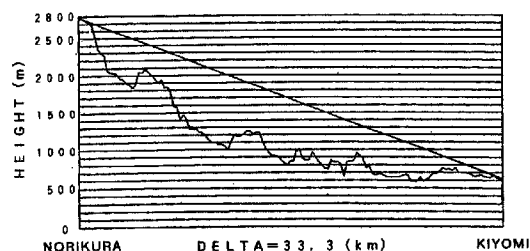


Fig.8 Topographical profile between Kiyomi community center and Norikura corona observatory

各アレー観測点では同報制御地震観測用受信機（通称テレコン）で受信されたトリガー信号はDTMFデコーダによりデジタル信号に変換され、オープンコレクターで出力、これをHOT (Handy Observation Tool) 収録装置のリモート端子に接続する事により、その駆動が遠方で操作出来る。HOTの入力には地震計とプリアンプ(リチウム電池内蔵)が接続されている。電源はテレコンには12V40AHの自動車用、HOTには12V7AHの密閉形電池が使用された。記録媒体は兵庫、飛騨いずれの場合も2MBのSRAMカードが用いられた。HOT収録装置のパラメータの設定と現場での動作確認はノートパソコンで行われた。パラメータの主なものにはサンプリング周波数、収録時間すなわち1イベントに対する収録時間、プレトリガ時間とポストトリガ時間、ファイル名等がある。Table1に兵庫と飛騨でのアレー観測のパラメータの一例を示す。

4. トリガ出力

集中局から発信されるトリガー信号は以下のようにして作られた。臨時・既設を問わず震源決定のための固定観測点からのデータは、NTT回線で集中局へ送られる。リアルタイムで集中局に集められた信号はAD変換後パソコンにも分岐して取り込まれる。パソコンでも常時信号レベルを監視しており、その短時間時間平均(STA)と長時間時間平均(LTA)比がある設定レベル以上になれば、信号を地震と判断する。同時にP波の自動読み取りを行い、先着4観測点のP波着信時から震源決定を行う。速度構造は $V_p = 6.0 \text{ km/s}$ の半無限構造とし、逐次計算は5回まで行う。

トリガー信号はアレー観測のデータ取り込みのために発信するものであるから、アレー観測による研究テーマが必要とする震源の範囲を中心位置(緯度・経度)と半径(km)および深さ(km)の円筒形領域で予め指定しておく。この領域に震源が決まればトリガー信号がTTLレベルでHが1秒間、1秒後にLが発信される。

第2次の兵庫県南部合同地震観測ではトリガー発信のためにパラメータを以下のように設定した。信号の短時間時間平均(STA)と長時間時間平均(LTA)の比STA/LTAは通常3.0に設定した。ノイズレベルの特に高い観測点や風雨の激しい時には、この比を5.0~10.0に変更した。10.0に設定された観測点はよほどの大きな地震信号でない限り、データを震源決定に使用しないという意味になる。なお短時間時間平均(STA)は0.3秒、長時間時間平均(LTA)は60秒間の平均信号レベルである。つまり平均的なノイズレベルに対して3倍の信号が0.3秒間続けば、地震信号と見なす訳である。領域設定の円筒形は最終的に半径300km、深さ500kmと非常に大きく取らざるを得なかった。これはパソコンによる自動震源決定が簡便過ぎて裏目に出たためと思われる。この観

Table 1 Parameters for a record

	Observation in Hyogo	Observation in Hida
Bits for record	16 bit	16 bit
Sampling Frequency	200 Hz	200 Hz
Record length	20 sec	30 sec
Pre-trigger time	7 sec	10 sec
Post-trigger time	13 sec	20 sec
Number of channels	3	3
Total events	85	56

測では広域観測点といえども非常に密に分布しており、特に余震の多い淡路島での平均観測点間距離は5km程度である。その中心で深さ10km~15kmで地震が発生すると先着4観測点のP波着信時の差は遠地地震と同じくらい極僅かである。4観測点だけのP波着信時の自動読み取りだけで計算される震源は誤差が非常に大きいので、トリガー用の震源領域もまた非常に大きく取らざるを得なかった。飛騨総合観測の乗鞍ルートのアレー観測では最終的にハードウェアでトリガー回路を製作し、18広域有線観測点のアナログ信号の内3観測点以上があるレベルを越えたときトリガー信号を出力するようにした。この様にすることでトリガー発信はほぼ目的を達成した。Fig.9に猪名川町のアレー観測で得られた地震波波形例、Fig.10に淡路島北部の一アレー観測点の地震波波形例、Fig.11に乗鞍アレー観測で記録された地震波波形例を示す。

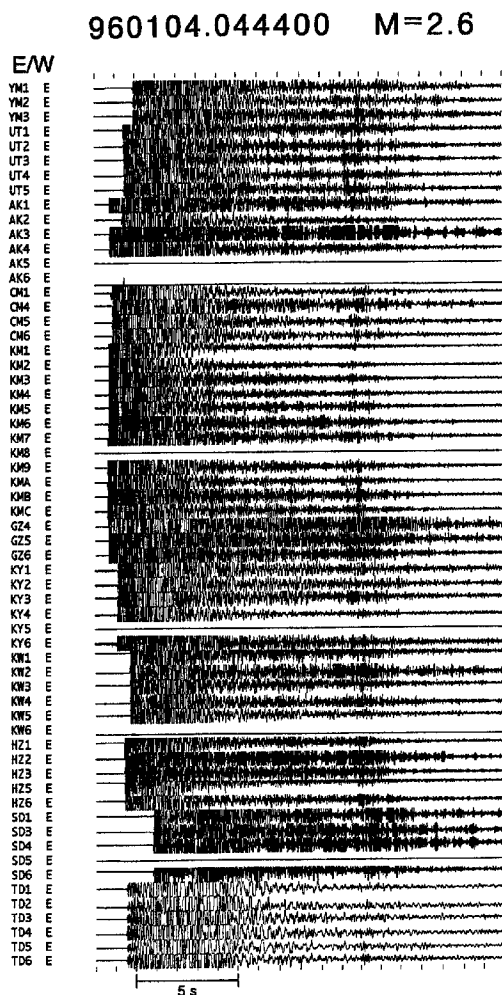


Fig.9 Example of seismic waves recorded by array seismometers around Inagawa area.

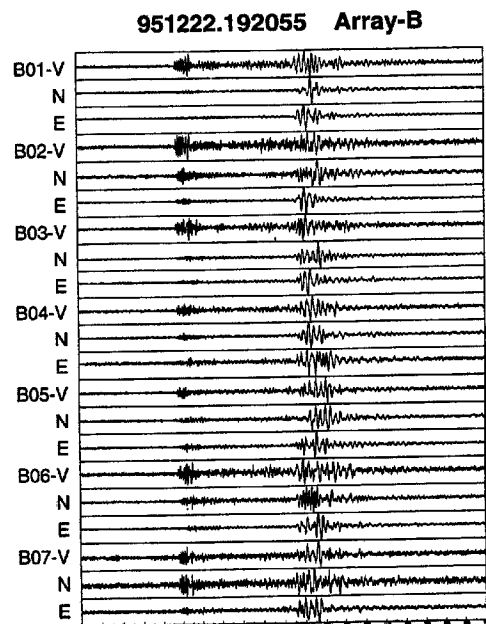


Fig.10 Example of seismic waves recorded at array B in Fig.3.

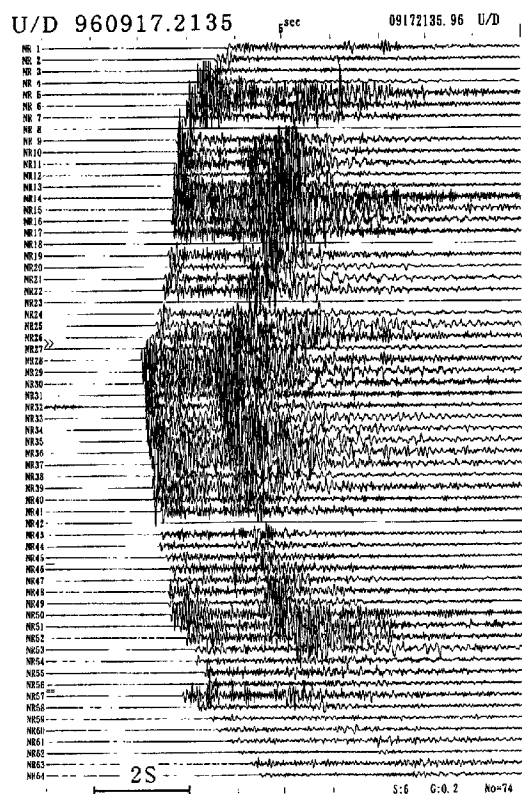


Fig.11 Example of seismic waves recorded by Norikura array line.

5. システムの保守

宇治防災研究所内の集中局においてはトリガー信

号が発せられた日時がプリントアウトされ、これをもとにトリガー個数が管理された。淡路島北部、猪名川町周辺のアレー観測ではSRAMカードに書き込まれたデータが規定の個数に達した後、それ以降にトリガー収録指令がかかれば地震データがオーバーライトされ、それ以前のデータが読めなくなるというソフト上の問題を持っていたため、トリガーの個数を集中局で制限する必要が生じた。そのためSRAMのデータが一杯になる前にトリガー発信を停止させ、この間に両現地に赴いてノートパソコンでデータ吸い上げを頻繁に行なうことになった。また季節的にも秋期から冬季にかけての観測であったためバッテリー電圧降下のため同時に電池交換も頻繁に行われた。今回一つの試みとして、テレコン受信機1台にHOT1台という従来の組み合わせを変更してテレコン受信機1台にHOT数台から最大8台を接続した。この結果概ね良好に動作したが、電波状態の悪い場所ではトリガー収録指令信号を受信できず、従ってそのアレー点のデータが全部取れないこともあった。また実際には集中局からトリガー収録指令信号が発せられていないにも拘わらずローカルにトリガーがかかることもあった。

乗鞍ルートのアレー観測では上記のようなオーバーライトは改良された。また従来どうりテレコン受信機1台にHOT1台が接続され観測が行われた。SRAMカードデータの吸い上げは上記同様ノートパソコンで2カ月間に約10回程度行われ、バッテリー交換も数回行われた。トリガー収録指令の送信局として乗鞍岳のコロナ観測所は標高2800mを越える地点にあり、厳しい自然条件の中アンテナが強風で折れる事故が発生した。また雷が頻繁に発生し、受信機の電源、送信機の終段のパワートランジスタ、

DTMF等の故障が多発した。この様な高地での観測は十分な雷対策が必要である。

謝 辞

無線トリガー送信所として六甲NTT天文通信館および国立天文台乗鞍コロナ観測所の施設を使わせて頂いた。またトリガー信号の中継所として清見村公民館の施設を使用させて頂いた。厚く御礼申し上げます。兵庫県南部地震の第2次合同観測では、兵庫県津名郡淡路町・北淡町・東浦町・津名町および猪名川町周辺の各市町村にはご理解とご協力を頂いた。

飛騨総合観測乗鞍ルートでの観測では、環境庁はじめ乗鞍スカイライン管理事務所、並びに岐阜県丹生川村、長野県安曇村、奈川村、木祖村にご理解とご協力を頂いた。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 伊藤 潔他(1996)：1995年兵庫県南部地震直後の臨時余震観測，京都大学防災研究所年報，第39号B-1，pp.183～190。
大学合同地震観測班・講演者・伊藤 潔(1997)：1996年飛騨地域総合観測・広域テレメータ観測結果(序報)，地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集，pp.658。
大学合同地震観測班・講演者・梅田康弘(1996)：1995年兵庫県南部合同地震観測，地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集，pp.36。
大学合同地震観測班・講演者・藤井 巖(1997)：1997年飛騨地域総合観測・乗鞍岳稠密アレー観測，地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集，pp.274。

A Radio Wave Controlled System for Seismological Observation --Application to the University Joint Seismological Observations in the Area of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake and in the Hida Mountain Region--

Groups of the Geological Research Organized by Universities for Prediction Seismology
(in charge of observation technology, Makoto Koizumi)

Synopsis

The initiation and growth process of large earthquake is strongly controlled by the crustal inhomogeneity such as velocity contrast by fluid layer. To survey the inhomogeneity, a new observation system was developed. The seismic signals are transmitted from the satellite stations to the temporal data center with the data acquisition and management system. From central system, by using the radio waves, the trigger signals are sent to the array observation stations which are densely distributed along the observation lines. In this paper, the trigger control system by the radio waves are described.

Keywords : earthquake ; observation system ; radio wave control ; telemeter ; trigger control