

東北脊梁山地合同地震観測における衛星通信観測システムについて

小泉 誠・和田博夫・平野憲雄・伊藤 潔・梅田康弘・西田良平*・西山浩史*

*鳥取大学土木工学科

要旨

東北脊梁山地において全国国立大学の合同地震観測が1997年10月より行われている。目的は東北地方の地震活動及び地殻構造を従来より格段の高精度で求めるためである。東西50km南北100kmの領域に約80点の観測点が展開された。各観測点の地震波形データは通信衛星を経由して地上中継局に一旦集められた後、全データが再び衛星を経由して全国の参加機関に同時に配信される。この新しいテレメータシステムとその問題点について述べる。

キーワード: 地震観測, テレメタリングシステム, 衛星通信

1. はじめに

島弧内地震の発生機構を理解し、発生のポテンシャルの評価を目指して詳細な地殻構造の把握、特に活断層の構造・形態・性質を調査するため東北脊梁山地において9大学(北大、弘前大、東北大、東大、名大、京大、鳥取大、高知大、鹿児島大)を中心に稠密地震観測網を展開した。使用した地震観測システムは「全国地震観測データ流通の強化」と「移動地震観測の高度化」を目的として東京大学地震観測所が中心となり9国立大学が共同で導入したもので、平成7年度より整備が開始され同9年度より本格的に運用されているものである。本システムはデジタル衛星テレビ放送パーフェクトTVに使用されている商用通信衛星JC-SAT3号を利用しており、24時間連続して地震波形データを収集、配信するものである。主中継局は(株)衛星ネットワーク群馬通信センターにあり、副中継局は東大地震研究所に置いている。このシステムは従来の地上専用回線に取り代わるものとして切換えが進んでいる。合同地震観測としては今回初めてこのシステムを利用したものである。この観測研究は東北大学既設の地震観測網で得られる地震波形データと共に解析処理される。

2. 東北脊梁山地合同地震観測

地震活動が極めて活発な秋田、岩手、宮城県にまたがる脊梁山地を対象として東西50km南北100kmの範囲に約50観測点の稠密地震テレメータ観測を新しく展開した(図1)。1996年11月秋田・宮城県境付近で鬼首地震(M5.9)が発生し現在も余震活動が続いている。余震観測で展開された稠密地震観測網の解析から震源断層の深部延長上に顕著なS波反射面が見出されている。東北脊梁山地合同地震観測では全国主要国立大学を中心に可搬衛星送信局による臨時観測点の設置が97年9月からはじまり、10月より本格的に観測開始となり約1年を目途に観測が続けられている。我々のグループ(京大、鳥取大)は秋田県の南東部、Fig. 1に示す円内のうちの6観測点を担当し、それぞれ3成分地震計を設置した。6観測点のうち3点はVSAT(超小型地球局)の拠点観測点(●印)とし、地上専用回線で伝送されてくる他の3観測点(○印)の地震波形データと合わせて通信衛星に送信する(Fig. 2)。地震波形データは100Hzサンプリングで22ビットの分解能をもちGPS時計によるタイムスタンプを付けたwinフォーマットの packets を衛星回線に出力する。6観測点は秋田県雄勝郡及び平鹿郡内の民家の一部を借用し、観測装置を設置した。

設置した場所と地震計設置の地盤の状況は次の通りである。

N043 秋田県平鹿郡増田町狙半内滝ノ下68 高橋万助 風化岩, N044 秋田県雄勝郡東成瀬村大柳 高橋 重一 露岩, N047 秋田県雄勝郡皆瀬村滝向とことん山スキー場管理事務所 土, N048 秋田県雄勝郡皆瀬村川向吉ヶ沢70-1 中山 武 砂防堰堤, N049 秋田県雄勝郡雄勝町下院内 雄勝町上下水道対策室 露岩, N050 秋田県雄勝郡雄勝町秋の宮矢の沢19 佐藤 喜一郎 転石。

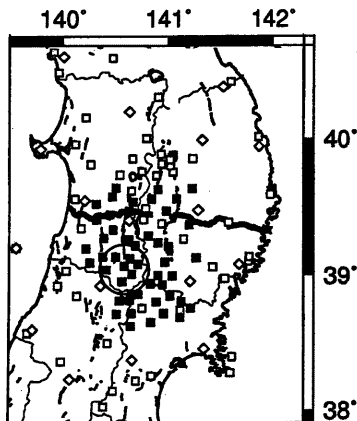


Fig.1 Joint seismological observation from 1997 to 1998 in Tohoku area. The surveys of crustal structure by using the artificial explosions are took place on the thick line. After Hasegawa et al., 1997.

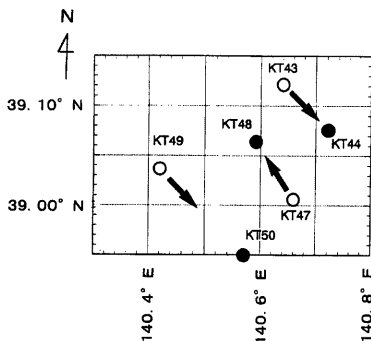


Fig.2 Distribution of master (●) and slave (○) observation stations within a circle.

in Fig.1.

地震計は速度型地震計 (1 Hz) を使用し、土又は露岩の一部を削りコンクリートで水平にした後、冬季の積雪や雪崩による移動を防ぐため地震計に箱をかぶせ、それをベルトで岩またはコンクリートに固定した。地震計から観測装置の設置場所までは6芯シールドケーブルをエフレックス管に通して埋設した。観測装置を家屋内に設置出来ない観測点では鉄製の物置小屋に設置した。拠点観測点では75cmΦオフセットパラボラアンテナの設置が重要な作業であった。冬季の積雪は1m以上になるためアンテナポールを通常の場合より約2m高くした。また地盤が軟弱な所ではアンテナベースの傾きや回転を防止するため地盤にパイプを打ち込んでアンテナベース部分を固定した (Photo 1)。各点ともアンテナの背面には融雪装置が取り付けられ、気温4℃以下である程度湿度があれば稼働するようにセットされている。

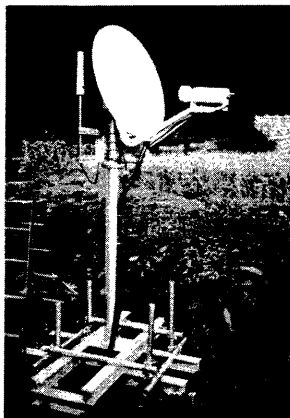


Photo 1 Parabolic Antenna at a station.

3. 衛星通信観測システム

大学における衛星通信を用いたデータの伝送方式について述べる。

「地震観測波形データの流通強化」、「移動地震観測の高度化」を目的としたは衛星通信観測システムでは国立6大学の定常地震観測データや臨時地震観測データを広範囲の研究者がリアルタイムで利用することが可能である。大学の固定地震観測点の地震波形データは、各観測点から直接衛星回線または地上専用回線で観測センターや観測所へ集められた後、商用通信衛星のトランスポンダー (中継器) を経由して地上中継局に送信される。また臨時観測点の地震波形データも同様にその設置場所から衛星を介して中継局に送られ

る。中継局で一本にまとめられた地震波形データは再び観測センターや観測所に配信される。全国の研究者は受信装置を持っておれば、どこにいてもこの配信データをリアルタイムで利用する事ができる。

東北脊梁山地合同地震観測では全国主要国立大学を中心に可搬衛星送信局による臨時観測点の設置が97年9月から始まり、10月より本格的に観測が開始され約1年を目途に観測が続けられている。我々の観測は2観測点を対として1観測点の地震波形データを地上専用回線で拠点観測点まで伝送し、拠点観測点の地震波形データと一緒に衛星通信により中継局へ送信する。

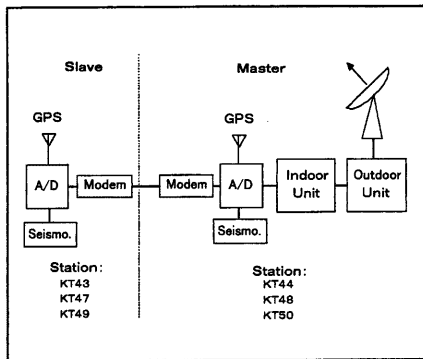


Fig.3 Observation system at master and slave station

Fig.3は今回の観測システムを示している。図中の縦線より左側はいわゆる観測点 (KT43, KT47, KT49) を表し、その右側は拠点観測点 (KT44, KT48, KT50) を示している。観測点及び拠点観測点では3成分地震計の出力及びGPS時計の信号はA/D変換器、増幅器、フィルタが一体となっているデータ変換装置 (LT8500) に入力される。この観測で使用し

た地震計の感度はそれぞれ U/D成分が320, N/S成分が313, E/W成分が315 (V/m/s) である。サンプリング周波数は100Hz, 分解能は22ビットである。データ変換装置のアンプゲインは12dBで、A/Dの分解能は 7.629×10^{-6} (V/LSB) である。観測点のデータ変換装置の出力は専用回線モデムを介して拠点観測点まで伝送される。拠点観測点のデータ変換装置には観測点からの地震波形データと、拠点観測点に設置された3成分地震計の地震波形データの合計6チャンネル分のデータが衛星通信用変復調装置 (Indoor Unit) から屋外用RFユニット (Outdoor Unit) を通過後、オフセットパラボラアンテナから情報速度9.6kbpsで通信衛星に向けて送信される。表1. に観測点コードと観測点の位置および全国に振り分けられた衛星通信に必要なチャンネル番号を示す。

衛星送信局は全国で約200局あり、各大学既設の定常地震観測点または拠点観測点並びに臨時 (移動) 観測点で構成されている。口径75cmのパラボラアンテナを持つ衛星送信局から地震波形データは9.6kbpsから128kbpsの情報速度で中継局へ向け送信される。また全国の大学の観測センターや観測所である送受信局からも地上回線で集めた地震波形データは口径1.8から2.4mのアンテナを通して最大512kbpsの情報速度で中継局へ送信される。上記2つの伝送は「集信系」と呼ばれ、アップリンク14GHz帯の送信周波数が使用される。主中継局は群馬県榛東郡にある (株) 衛星ネットワーク群馬通信センターに置かれている。すべての送信局と送受信局から送られてくる地震波形データを受信した後、1本の6Mbpsの回線に乗せ再び送受信局に配信する。この「配信系」1回線容量は100Hzサンプリング、20ビットのデータ換算で約3000チャンネルのデータが伝送出来ることになる。この時のダウンリンクには12GHzの周波数が使用される。主中継局はまた送信局や送受信局の遠隔制御を行う機能も持ち合わせている。また「同報系」という共有回線 (9.6kbps) を用いて再送制御等に使われる。副中継局は主中継局のバックアップであり、主中継局の障害時にそれに変わる役割を持つもので東京大学地震研究所に置かれている (Fig.4)。

Table 1 Observation points and channel numbers.

Station Code	VSAT	Lat. (deg)	Lon. (deg)	Altitude (m)	Channel	IDU-ODU
KT43		39.130	140.660	280	873B- 873A	
KT44	328	39.086	140.724	400	873B- 873D	007
KT47		39.007	140.662	350	873E- 8740	
KT48	329	39.061	140.590	235	8741- 8743	008
KT49		39.037	140.415	235	8744- 8746	
KT50	327	38.949	140.568	610	8747- 8749	058

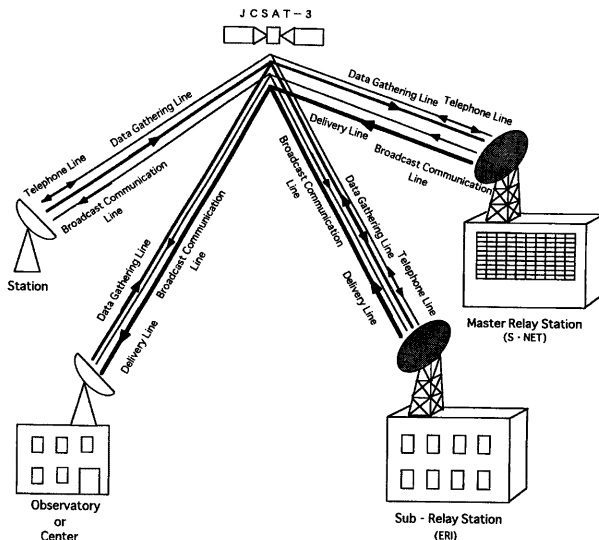


Fig.4 Data flow chart on the telemetry system by JC-SAT3.

4. 観測結果と問題点

Fig. 5は臨時観測点を設置した直後の10月27日の地震の記録例である。上はKT43観測点、下はKT44拠点観測点の3成分地震計記録を示している。横軸一目盛りは1秒間で3.2秒間の記録である。データが抜けているところはパケット落ちが発生していることを示している。この時の両観測点のデータ変換装置のアンプリ得は4倍である。観測開始当初より振幅の大きな地震が観測された場合、パケット落ちする現象が発生しており現在も続いている。原因について種々調査されているが、現在のところ判明していない。

波形データは100Hzサンプリング24ビットで符号化されるがwinフォーマットでは1秒間のデータは次のようなフレーム構成となっている。ヘッダー10バイト+先頭サンプルデータ4バイト+データ(差分3バイト×99個)=311バイトでありフレームチェック等で数バイト必要とすると1チャンネルあたり320バイトと見積もっている。従って3チャンネルだけ送信する観測点では $320 \times 3 = 960$ バイト/sであるから回線情報速度が9600bps ($9600\text{bps}/8\text{ビット} = 1200\text{バイト/s}$)では余裕をもって送信できる。しかし、大振幅の地震でもない限り24ビット(差分3バイト)は必要なく、通常は16ビット(差分2バイト)で充分対応出来る。この場合1秒間のデータ量は212バイトでありフレームチェック等で数バイト必要としても1チャンネルあたり

220バイトである。このように工夫すると5チャンネル+1バイト1チャンネルを遅延なしで送信出来る。今回のように6チャンネルを送信するために、あるいは大振幅の地震波に対応するためデータ変換装置には4MBの送信パケットバッファが用意されており、ある程度の遅延を許すことで十分対応出来るシステムになっている。従って大振幅の地震波が続けて入力しない限り、つまり近くで誘発地震でも発生しない限り設計上のパケット落ちは考えられない。

これら設計上のこと以外に次の3点を検討する必要がある。

1. 暴風雨あるいは地震計近くで工事が始められるなど大振幅のノイズが間欠的に入力された結果、データ変換装置のバッファオーバーフローを生じた。
2. 中継局では当然他の観測点からのデータは届いているので、上記のような観測点データの受信も待機することになるが、設定時刻を経過しても受信出来ないため強制的に受信を打ち切ってしまう。すなわち中継局で見切り発車している。
3. 集中豪雨や降雪など気象状態によっては衛星回線の品質が低下する。中継局では正常な信号を受信出来ないとき観測点側へ再送要求するが、回線品質低下の状態が続くと再送要求を頻繁に繰り返すことになり結果的にパケット落ちを生じさせている。

これまでの観測結果では1拠点観測点あたり3チャンネル送信しているところではパケット落ちは少ない。6チャンネル送信の場合にパケット落ちは多い。

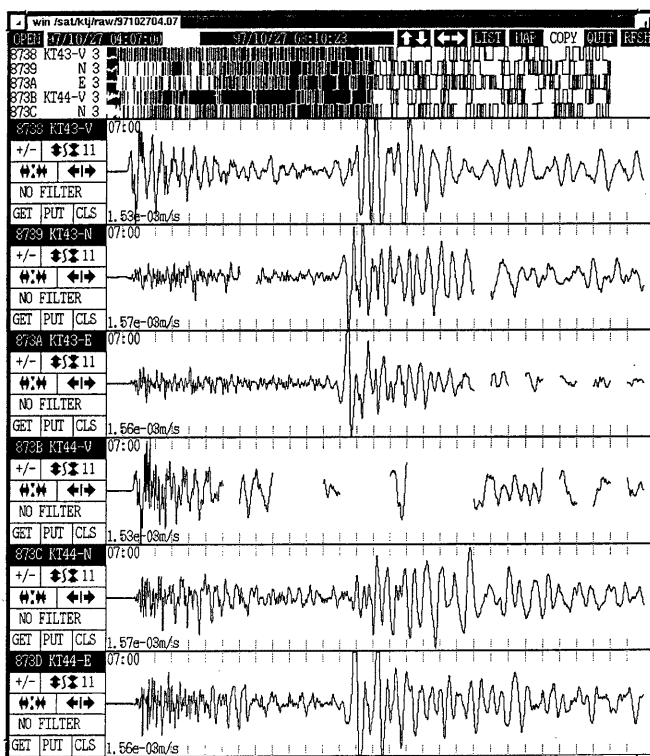


Fig.5 An Example of seismic wave data recieved at Kamitakara Observatory.
Partial pause of the data transmission can be seen.

謝 辞

5. 終わりに

京大グループは10月10日に全点の設置を終えたが、N044点でODUの不良が判明し取り替えに時間がかかった。臨時観測点の設置を終了し、京都でデータをチェック中N047のデータが欠落していることに気づいた。そのためN047とN048間のNTT回線のチェックを依頼し回線テストを実施してもらったところ、回線は正常との返事をもらった。しかしキャリアが出ていないということで大学側の装置を調査したがいずれも正常であった。再度NTTに依頼して再調査をした結果、NTT側のモジュージャックの接続ミスが判明した。NTTでは保安器とモジュージャックの間にループバックを介しており、NTT側の行う回線テストはこのループバック途である。従って上記のようなモジュージャックの配線ミスは現場へ出かけてチェックしないとわからない。このような例があったので今後の参考のため紹介した。

今回の合同地震観測にあつては地元の方に多大のご協力を賜っている。この場をかりて感謝の意を表します。

参考文献

- 長谷川 昭 (1997) : 97東北青梁山地合同地震観測一島弧地殻の変形過程と内陸地震テクニクスの解明を目指して、日本地震学会ニュースレター、vol19 No3, pp12-20.
- 日本電気株式会社 (1997) : 衛星通信テレメタリング地震観測システム取扱説明書、日本電気 (株)。
- ト部 卓 (1996) : 衛星通信による地震観測テレメタリングシステムの基本設計、日本地震学会講演予稿集、No2, P22.

付 録

モデムの設定

ATコマンドで設定するときのモデムのディップスイッチの設定（8を下，10を上，12を下）。

まず，送信側と受信側の2台のモデムのディップスイッチを上記のように設定する。

- 1 上（DTR常時OFF）
 - 2 上（SDLC）
 - 3 下（送信レベル下が0dbm，上が15dbm）
 - 4 上（AS400 OFF）
 - 5 上（送信側が下，受信側が上）
 - 6 上（スレーブクロックOFF）
 - 7 下（RTS常時ON）
 - 8 下（コマンド入力可）
 - 9 下（ローカル・デジタル・ループバック・OFF）
 - 10 上（公衆回線網）
 - 11 下（内部クロック）
 - 12 下（非同期通信）
 - 13 上（速度による）
 - 14 上（速度による）
 - 15 上（CDとDSR常時OFF）
 - 16 上（下のとき，4線式専用線，上のとき2線式専用線）
- これで一旦非同期モードにして，パソコンのターミナルソフトを使ってATコマンドで次のように設定する。
1. &F 初期値に戻す
 2. \$BA0 端末速度固定
 3. &E2 リライアブルモード
 4. \$MB 9600 送出速度
 5. \$SB 9600 着信モデムーパソコン間の通信速度
 6. #F0 速度固定（19.2Kbpsの時は，さらに#V0も設定する）

7. S18=0 自動バックアップ，公衆網切り替わり時間（注）
8. S19=0 自動バックアップ，専用線復旧時間（注）

（注）一般公衆回線もつながっていないと自動バックアップ機能は働かないはずだが，この設定をしないと誤動作するものがあったため，念のために設定する。

9. &W0 設定をモデムに記憶させる
10. L5 設定の表示・確認
11. L7 設定の表示・確認

そのあとディップスイッチを送信側と受信側で決まった設定にする。

9.6Kbps，4線式専用線の場合（送受信側で異なるのはSW5のみ）

- 1 下（DTR常時ON）
- 2 上（SDLC）
- 3 下（送信レベル下が0dbm，上が15dbm）
- 4 上（AS400OFF）
- 5 下（送信側が下，受信側が上）
- 6 上（スレーブクロックOFF）
- 7 下（RTS常時ON）
- 8 上（コマンド入力不可）
- 9 下（ローカル・デジタル・ループバック・OFF）

- 10 下（専用線）
- 11 下（内部クロック）
- 12 上（同期通信）
- 13 下（速度による，9.6Kbpsのとき下）
- 14 下（速度による，9.6Kbpsのとき下）
- 15 下（CDとDSR常時ON）
- 16 下（下のとき，4線式専用線，上のとき2線式専用線）

送信側と受信側の設定（SW5）は逆でも良いが，あとのメンテナンスのことを考えて，観測点側を送信，基地局側を受信と決めた方がよい。
このあと電源をON/OFFする。

The telemetry system using JC-SAT3 for the joint observation on Tohoku mountain area.

Makoto KOIZUMI ,Hiroo WADA ,Norio HIRANO ,Kiyoshi ITO ,Yasuhiro UMEDA ,Ryohei NISHIDA *
and Hiroshi NISHIYAMA *

*Department of Civil Engineering,Tottori University

Synopsis

Joint Seismological observation by Japan university was took place on Tohoku mountain area to obtain the high resolution crustal structure and the depth variation of the seismogenic zone. 80 observation stations were arranged within a area of 50km in east-west and 100km in north-south. Seismic data from each station are sent to the ground relay station via communication satellite(JC-SAT3). The summarized data of relay station are widely distributed to any user via the same satellite. We describe for this new telemetry system and some problems such as a pause of data transmission.

Keywords: seismological observation;telemetry system;satellite communication