

# 宮崎県広渡ダムにおける衛星テレメータを使用した 地震観測点の設置

内田和也\*<sup>†</sup>・植平賢司\*

## Installation of a Online Seismic Station Using a VSAT Telemetry System at the Hiroto Dam Site, Miyazaki Prefecture

Kazunari UCHIDA\*<sup>†</sup> and Kenji UEHIRA\*

### はじめに

宮崎県の微小地震観測点は、九州大学の他に、他の大学・気象庁・防災科学技術研究所等のものがあり、九州大学ではこれらのデータも使用して解析研究を行っている。宮崎県南部では観測点間隔が空いている場所があり(図1)、それを埋めるために宮崎県日南市北郷町の広渡ダムの横穴トンネル内においてテレメータ観測点を設置したので報告する。

### 観測点設置場所の選定

観測網の空白域である宮崎県北諸県郡三股町と同県日南市北郷町を探索した。その結果、日南市北郷町にある広渡ダム(図1, 図2, 図3)に、ダム建設の際、地質調査用ボーリングコアを掘るために作られた横穴のトンネルがあることが分かった。横穴トンネルはダム堤体の両脇にあり、それぞれ奥行きが約100 mある。広渡ダムは県道33号線沿いにあり、この県道は都城市の中心に抜ける幹線道路となっているため、大型車の通行が比較的ある。そこで人工ノイズが少ない県道から遠い南側のトンネル(図2)で観測点が設置出来るか検討を行った。

このダムは広渡川に建設された治水等を目的としたもので、宮崎県日南土木事務所が維持管理している。トンネル内及びその周辺で定常的に人工ノイズ源となるような機器が設置されていないこと、また、地震観測点設置によりダムの維持管理に支障無い事が分かったのでここを候補地とした。

データのテレメータ方式を決めるため、まずNTTのフレッツISDN回線が敷設可能かどうかNTTに調査を依頼した。しかし、広渡ダムは電話交換局からの距離が遠かったためISDN回線は敷設出来なかった。そこで、衛星通信回線が使用可能かどうか調査した。衛星通信回線を使用してデータ通信を行うにはJCSAT-5A(N-STARd)が見通せる方位角178.6度、仰角53.1度の南側の空が開けている必要があるが、トンネル入口は斜面北側に位置するため(図2)坑口付近にはパラボラアンテナを設置出来ない。坑口から50 m程度離れた場所に、ダム管理用のボートを格納する格納庫があり、その脇の広場(図4)でパンザマストが設置可能であったので、衛星通信が可能かどうか調査を行った。調査は可搬型の超小型衛星通信地球局(以下VSATと記述)を地上に設置して実際にアップリンクアクセステスト(以下UATと記述)を行う事により行った。仰角の見通しが厳しいと思われたが、UATを行った結果、通常運用が出来る事が確認された。アンテナを地上に置いた状態でも問題無かったので、実際の設置では高さ3 m程度のパンザマストを使用すれば問題無いと判断した。

次にAC100 V電源をどのように配線するか検討した。九州電力の電柱はダム北側の県道沿いに立っており、南側のトンネル坑口まではダムの堤長170 mを含め200 m以上はある。いくつかの方法を検討したが、ダム堤体の配線溝の使用や電力線の配線の許可をしていただいた事から、県道側のダム北側の広場に引込柱を建て、ダム堤体の配線溝を通してトンネルまで引く事にした(図5)。

以上、テレメータ回線の確保、電源の確保が可能である事が分かったので、広渡ダム南側のトンネル内で地震観測を行う事にした。

2010年9月7日受付, 2010年11月5日受理.

<sup>†</sup> uchida@sevo.kyusyu-u.ac.jp

\*九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター.

\*Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University.

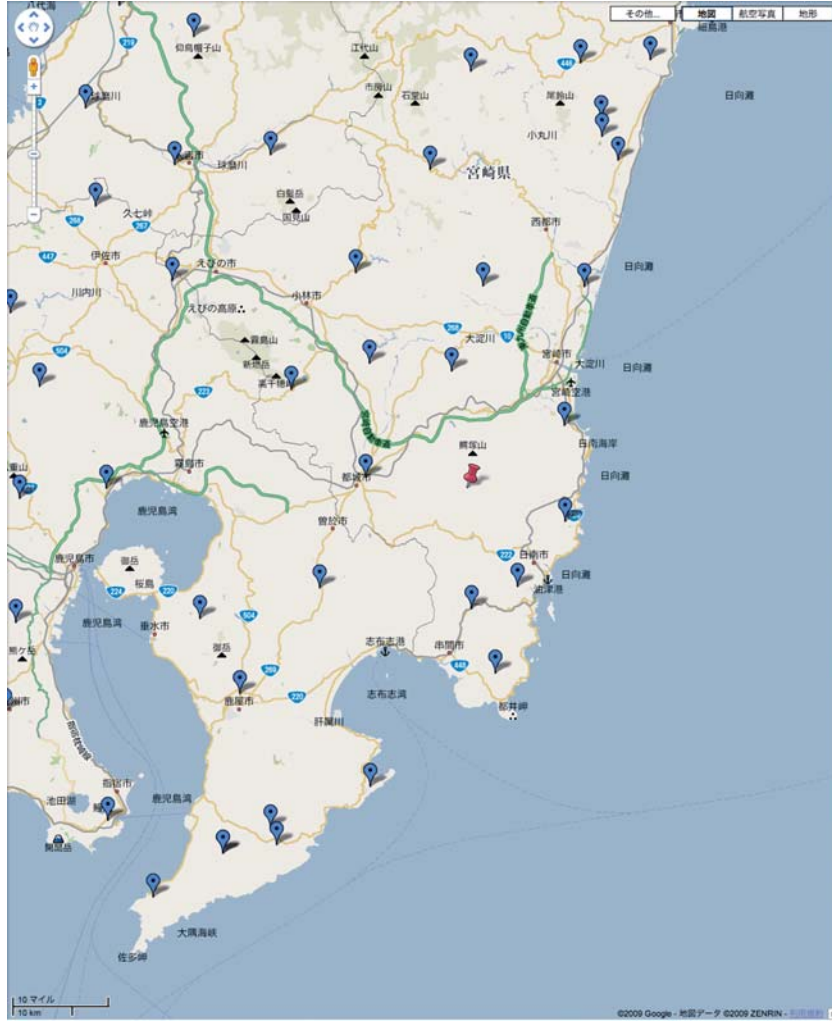


図 1. 九州南部における微小地震テレメータ観測点の分布。青印はテレメータ観測点を、赤色のピンは広渡ダムの位置をそれぞれ表す。

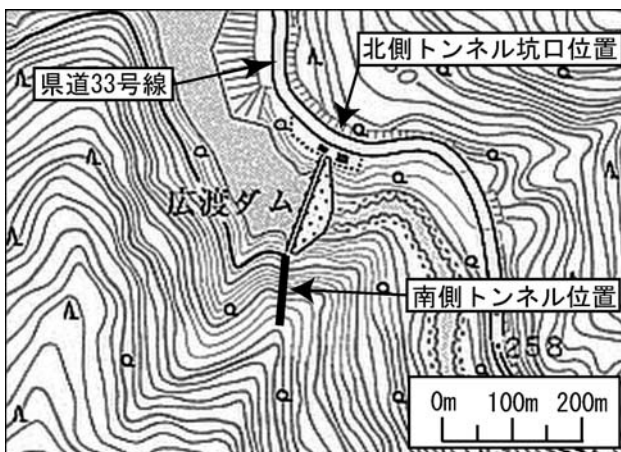


図 2. 広渡ダム周辺の地形図（国土地理院発行 2万5千分の1地形図（坂元）に加筆）。



図 3. 広渡ダム堤体。北側から望む。



図 4. パラボラアンテナ設置前の写真。右側の階段付きの建物はポート小屋。

### 観測機器の配置

衛星テレメータには白山工業社製の VSAT システム（以後、白山 VSAT と記述）を使用し、地震計は固有周期 1 秒のマークプロダクツ社製（現サーセル社）L-4C-3D と広帯域地震計ストレックアイゼン社製 STS-2 の計 2 台を設置する事にした。地震計はトンネルの一番奥の、坑口から約 100 m の位置に設置し、VSAT のアンテナは前章で述べたように坑口から距離約 50 m（ケーブル長では 70 m）離れた位置に設置する（図 5）。白山 VSAT の構成は大きく分けて、衛星パラボラアンテナとそこに取り付ける送受信ユニット（ODU）、衛星モデム、データ変換装置の 3 つから成

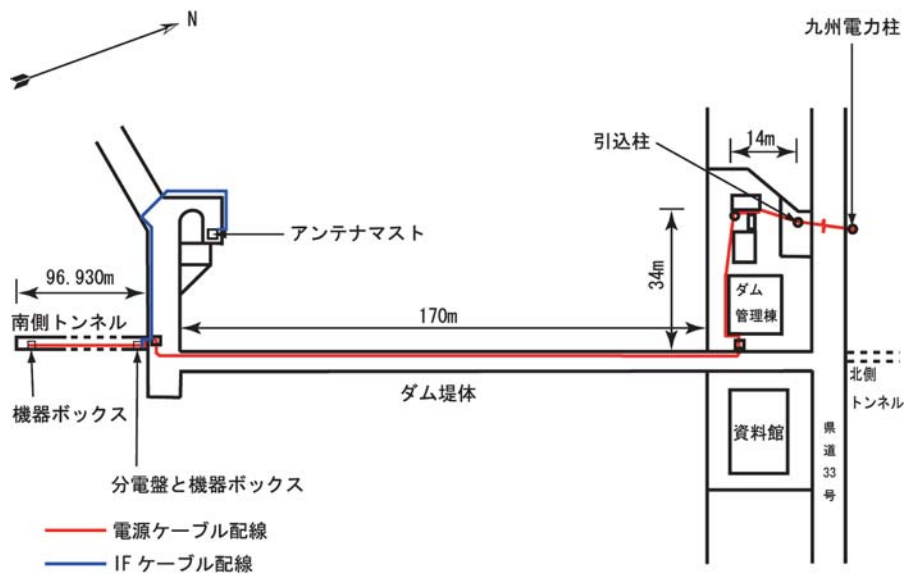


図 5. 電源及び IF ケーブル配線図。赤線は電源ケーブル、青線は IF ケーブルの配線をそれぞれ表す。

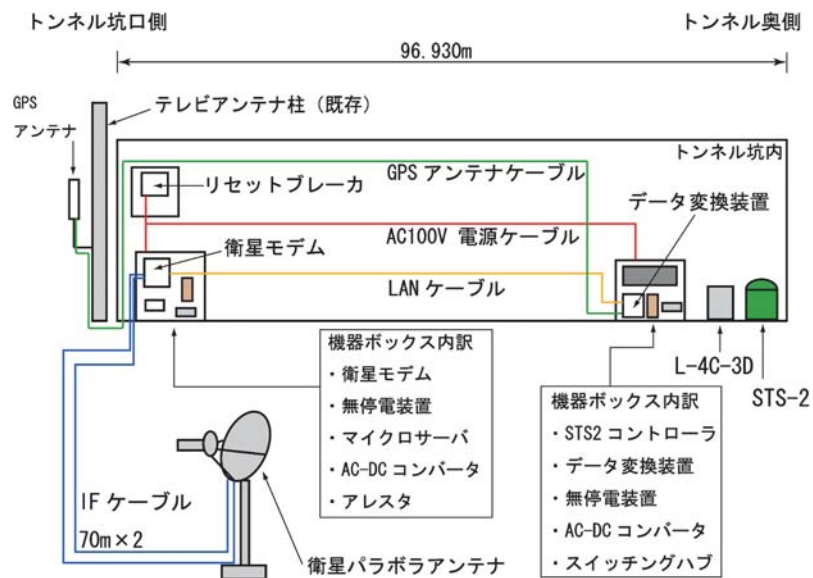


図 6. トンネル内の機器配置図。緑線は GPS アンテナケーブル、赤線は AC 100 V のケーブル、黄線は LAN ケーブル、青線は IF ケーブルを表す。



図 7. 引込柱に設置されたリミッタ（左）とリセットブレーカ（右）

る。今回、センサーからアンテナまで 170 m 程度あるため、どのように機器を配置するか検討を行った。ハム等の電氣的なノイズ混入をなるべく防ぐためにセンサーのそばでデジタル化した方が望ましい事、LAN ケーブル（100 baseT）の規格上の長さの制約（100 m 以内）、電圧降下を防ぐために DC 電源を長距離延ばさない方が良い事等を考慮した結果、図 6 のような機器配置にした。すなわち、データ変換装置は地震計のそばに設置し、衛星モデムは坑口付近に設置する事である。

### 電力配線

電気は 15 A で契約を行った。九州電力の電柱から新設の引込柱へ電線を配線工事し、引込柱に電力メータ・リミッター・音羽電機工業社製リセットブレーカ（図 7）を設置した。このリセットブレーカは雷サージ等でブレーカが落ちたとしても自動で再投入をするブレーカである。そこからダム管理棟～ダム堤体～横穴トンネルで電気配線工事を行った。またトンネル内の坑口付近にもリセットブレーカを設置した。なぜなら電気の引込柱からトンネルまでの配線距離は 200 m 程度ありこの間でも雷サージを拾う可能性があるからである。そしてここから、トンネル奥のデジタイザや STS2 コントローラ用にトンネルの奥へも配線工事を行った（図 6）。

### 観測機器の構成

通常、白山 VSAT を使って観測する場合、VSAT アンテナのそばに衛星モデムとデータ変換装置を設置するため、付属しているケーブルは短いものである。今回はそれぞれを離して設置するため、下記のケーブルや機器部品を特別に準備した。一つ目は衛星モデムと ODU を接続する 70 m 長の IF ケーブル 1 組（2 本）である。また、サージ保

護のため、衛星モデム側にアレスタを取り付けた。二つ目はデータ変換装置と衛星モデムを結ぶ LAN ケーブル 100 m である。また、データ変換装置側の電源と LAN は同じコネクタから入力されるので、両者を分岐させるコネクタも準備した。100 baseT の規格では最大距離が 100 m であるので、ケーブルはなるべく損失の少ないものを準備し、データ変換装置側では市販のスイッチングハブを経由させ信号レベルが落ちないようにした。三つ目は、時刻較正のための GPS アンテナとデータ変換装置を結ぶ 110 m の GPS アンテナケーブルである。これらは、白山工業で選定をお願いし、同社内で実際に運用テストを行った上で現場に設置した。

以下、個々について具体的に述べる。

#### 1. トンネル外の機器構成

パラボラアンテナを 3 m の高さに設置するため以下の工事を行った。まずアンテナを取り付けるマストの工事を行った。これはコンクリート土台を作成し、そこにマストプロ電工社製 BS・CS アンテナ用自立マストアンカーボルトを取り付け、高さ 2.75 m のマストプロ電工社製 BS・CS アンテナ用自立マスト（ベース付き）をボルト締めで設置した。またパラボラアンテナ高を 3 m にしたかった事と、このマストの鋼管の外径が 76.3 mm ありパラボラアンテナのマウント部分が 60 mm なので取り付け出来ないで、高さ約 30 cm・外径 60 mm の鋼管をアンテナマストに継ぎ足すようにした。

IF ケーブルは付属のケーブルよりも太い 5D-FB 規格の同軸ケーブル 70 m を 2 本使用した。ケーブルは ODU からアンテナマストを通り、既存のフェンスの外側を通して地下埋設し、途中から側溝を通してトンネルの排水溝からトンネル内に配線した。

GPS アンテナはトンネル坑口の外にある既存のテレビアンテナ柱に設置した（図 8）。GPS アンテナケーブルは、その電柱からトンネルの排水溝へ通しトンネル内に入れ、そこからトンネル奥の機器ボックスへ配線した。GPS アンテナケーブルは付属のケーブルよりも太い 10D-SFA 規格のケーブルを 110 m 使用した。

#### 2. トンネル内の機器構成

配電盤の下側には機器ボックスを設置し（図 9）、その中に衛星モデム・ぷらっとホーム社製 OpenBlockS266（内田・植平, 2008; Uehira, 2009）・無停電装置（UPS）（APC 社製 RS400）・衛星モデム用 AC-DC コンバータ（コーセル社製 PBA50F-12）を設置した。衛星モデムと IF ケーブルの間にはサージ対策としてアレスタ（サンコーシヤ製 F-JP-1）を設置した。OpenBlockS266 は現地でのデータバックアップと、通信速度が 9.6 kbps の際のチャンネルフィルタリングのために設置した。これについては後ほど詳しく述べる。



図 8. トンネル坑口外の既存テレビアンテナ柱に設置した GPS アンテナ。

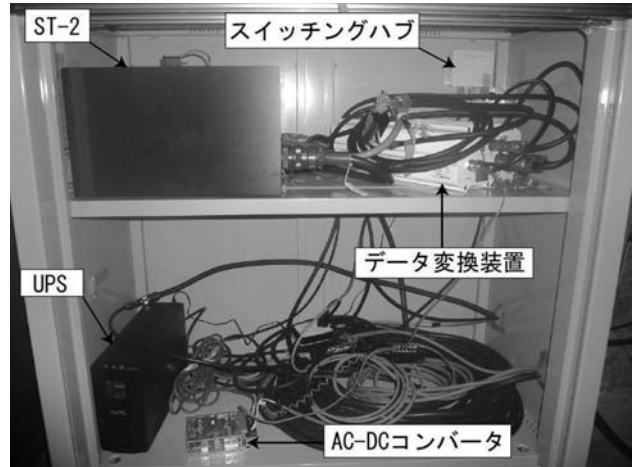


図 10. トンネル奥側に設置した機器ボックス。

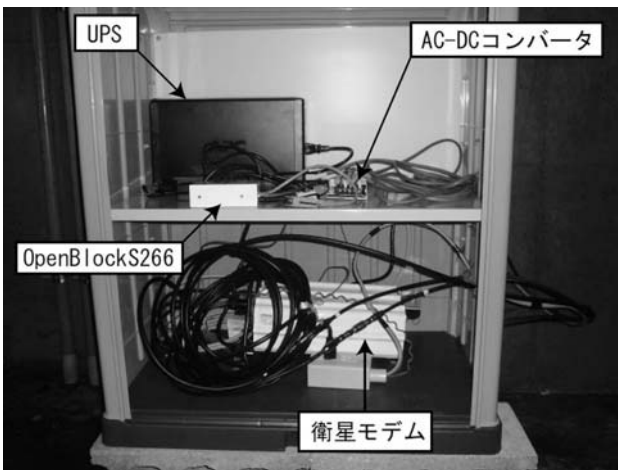


図 9. トンネル坑口側に設置した機器ボックス。



図 11. トンネルの奥に設置した地震計 (2台)。奥は STS-2 地震計。手前は L-4C-3D 地震計。

トンネル奥側にも機器ボックスを設置し、その中にデータ変換装置・STS-2のコントローラ ST-2・無停電装置 (UPS) (APC 社製 RS400)・データ変換装置用 AC-DC コンバータ (コーセル社製 PBA50F-12)・スイッチングハブ (ロジテック社製 LAN-GSW05/PAW) を設置した (図 10)。通常、データ変換装置の電源 DC12V は衛星モデムから供給される (LAN と共用) が、衛星モデムとは 100m 程度離れているため電圧降下が大きくなる。そこで、データ変換装置の電源もこちら側に設置した AC-DC コンバータから供給するようにした。

トンネルの一番奥には、2 台の地震計 STS-2 と L-4C-3D を設置した (図 11)。方位は FOG コンパスで決めた。

### 地震観測点の完成

2010 年 3 月に地震計の設置と VSAT の UAT を行い、データの送信を開始した (図 12)。設置作業の際、ここの付

近では携帯電話がほぼ圏外だったので VSAT の UAT の際のアンテナの方向調整の連絡や関係者に連絡する時には、公衆電話や衛星携帯電話を使用しなければならなかった。公衆電話は県道側にあり、また、衛星携帯電話も現場から 50 m 程度離れた場所でないと衛星を捕捉出来なかったもので、一般業務用携帯型無線機も併用して連絡を行った。

2010 年 8 月には白山 VSAT の入れ替えを行った。この地震観測点では地震計を 2 台設置しており、衛星通信で 6 チャンネルを送信したかったため、通信速度を 9.6 kbps から 19.2 kbps に変更した機器を設置した。設定については次章で述べる。

### VSAT 通信速度による設定の変更

6 チャンネルの地震波形データを送信する際、通常割り当てられている 9.6 kbps の通信速度では、地震発生時などデータ量が膨れ上がった時にすべてのデータを送信出来な



図 12. 完成した衛星パラボラアンテナ。

いので、19.2 kbps の通信帯域を割り当ててもらうことにした。しかし、VSAT 設置時の 2010 年 3 月には衛星回線の帯域の空きが無かったため、帯域を割り当ててもらうまでは 9.6 kbps で運用することにした。6 チャンネルすべてを衛星回線に送信することは出来ないで、OpenBlockS266 を用いてフィルタリングを行い、3 チャンネル分だけ衛星回線に送る一方、残り 3 チャンネルは現地でのみ収録し、回線速度が 19.2 kbps になってから 6 チャンネル全てを送信する事にした。以下、回線速度による白山 VSAT の設定と OpenBlockS266 の設定について述べる。

### 1. 9.6 kbps での設定

図 13 に OpenBlockS266 のプロセスとデータ変換装置の設定の構成図を示す。白山 VSAT のデータ変換装置(白山工業社製 LS7000XT 相当)でデフォルトに設定されているデータ送信先及びポート番号は、それぞれ、225.0.0.1 のマルチキャストアドレスと 7500 番であり、普通変更する必要は無い。しかし、このままだとデジタル化されたデータはすべて衛星回線に送られてしまうため、一旦データを OpenBlockS266 に送るよう設定の変更を行った。すなわち、波形データ(A0 パケット)は OpenBlockS266 (IP アドレス 10.1.X.3) のポート番号 8500 に、ステータスは 4900 番に送信するよう設定を行った。ステータスパケットは OpenBlockS266 を経由させる必要は無いが、LS7000

XT ではデータとステータスを別々のアドレスに送信する事が出来ないでこのような構成になった。OpenBlockS266 において波形データについては、6 チャンネルすべてを受信して共有メモリに書き込み(図 13 (1))、3 チャンネル分だけを上記のマルチキャストアドレスに送信するようにした(図 13 (2) の send.tbl に VSAT に送信するチャンネル番号を記述)。また、衛星に送信しない 3 チャンネル分も含めてすべてのチャンネルのデータを OpenBlockS266 内の CF カードに収録した(図 13 (3))と(4)。ステータスパケットは上記マルチキャストアドレスの九州大学用のポート番号 5001 にそのまま中継させた(図 13 (5))。

なお、衛星回線に送らなかったチャンネルは、後日、19.2 kbps 化した際に OpenBlockS266 ごと回収して、既存データに取り込んだ。

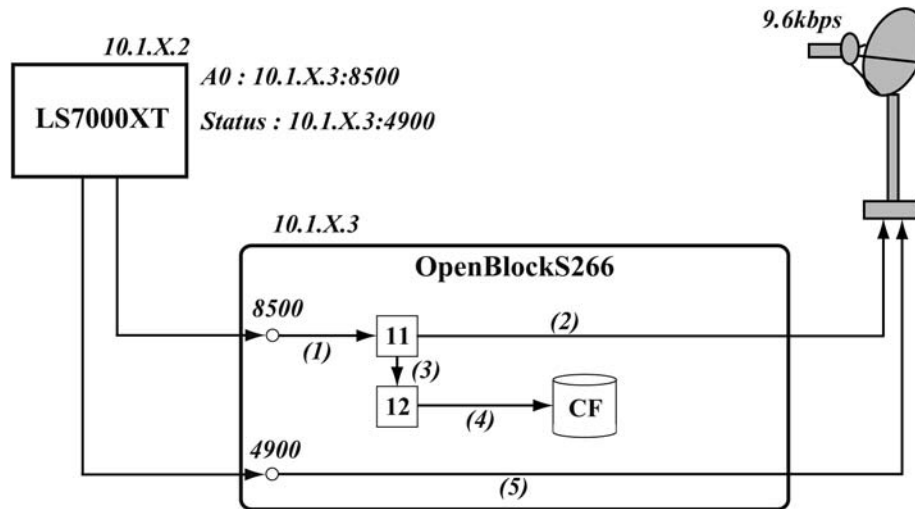
この構成における欠点は、OpenBlockS266 に障害が起こった場合にすべてのデータが欠測になってしまう事である。それを防ぐためには、衛星に送らないチャンネルのデータは別のデータ変換装置で収録しておく事である。しかし、通信速度が 19.2 kbps になるまでの一時的な構成である事、九州大学において 50 台近くの OpenBlockS266 を 5 年以上運用した中で、通信関係のプロセスの障害が皆無である事、どうしても必要なデータの場合、白山 VSAT のデータ変換装置の CF カードからデータを取得出来る事から、上記のような構成にした。実際、OpenBlockS266 の障害によるデータ欠測はまったく起こらなかった。

### 2. 19.2 kbps での設定

2010 年度に入り帯域の割り当てが完了したので、2010 年 8 月に VSAT 一式の交換を行い、通信速度を 19.2 kbps にした。通信速度を変更するには通信帯域の割り当てだけでなく、白山工業へのセンドバックによる衛星モデムの設定変更も必要である。図 14 にプロセスの構成図を示す。通信速度が 19.2 kbps になったので、白山 VSAT のデータ変換装置のデータ送信先は、通常通りの 225.0.0.1 : 7500 のマルチキャストアドレスにした。また、通信の不具合があった時にデータを復旧させるために OpenBlockS266 の CF 内にデータを収録させることにしたが、上記マルチキャストアドレスでの受信設定を行えばデータの受信が可能である(図 14 (1))。

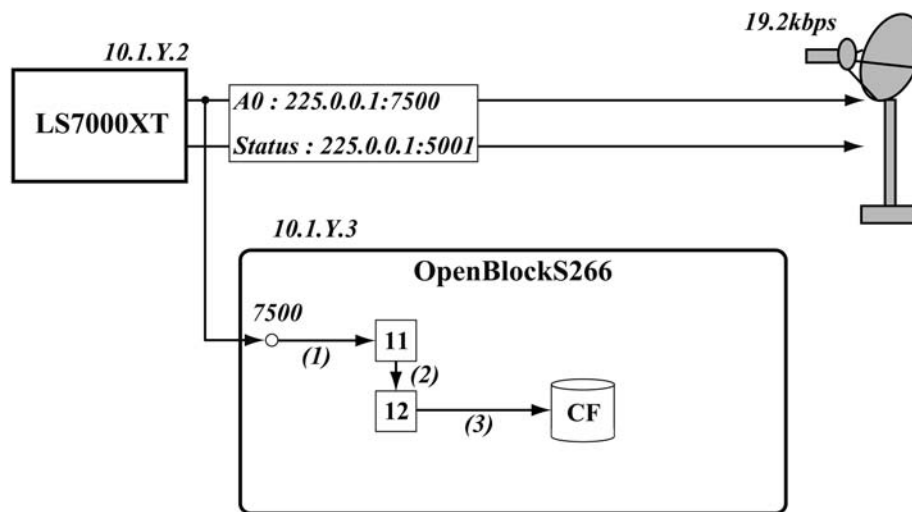
## おわりに

宮崎県日南市にある広渡ダムの横穴において、白山 VSAT を用いた定常地震観測点の設置を行った。白山 VSAT は通常の機器設置方法ではなく、パラボラアンテナ・ODU、衛星モデム、データ変換装置を別々の場所に設置した。付属のケーブルやコネクタではそのまま設置出来ないものがあつたので、これらの観測機器を接続する各ケーブルやコネクタは特別に準備したものを使用し、現在順調に運用を



- (1) `recvtld 8500 11 1000 -`  
 (2) `sendt_rawd -i 10.1.X.3 11 225.0.0.1 7500 send.tbl`  
 (3) `orderd 11 12 500 10`  
 (4) `wdiskd -s 12 /mnt/raw 2`  
 (5) `relayd -N -s 10.1.X.3 4900 225.0.0.1 5001`

図 13. VSAT の通信速度が 9.6 kbps の時のデータ変換装置および OpenBlockS266 の設定。  
 (1) から (5) は OpenBlockS266 内で動いているそれぞれのプロセスの表す。



- (1) `recvtld -g 225.0.0.1 7500 11 1000 -`  
 (2) `orderd 11 12 500 10`  
 (3) `wdiskd -s 12 /mnt/raw 2`

図 14. VSAT の通信速度が 19.2 kbps の時のデータ変換装置および OpenBlockS266 の設定。  
 (1) から (3) は OpenBlockS266 内で動いているそれぞれのプロセスの表す。

行っている。

また、設置当初は 9.6 kbps の通信帯域しか使えなかった  
 ので、OpenBlockS266 を用いて 3 チャンネルは VSAT で  
 テレメータし、残りの 3 チャンネルはテレメータした 3  
 チャンネルも併せて現地で収録するようにした。19.2 kbps  
 割り当て後は、全チャンネルを衛星回線でテレメータし、

併せて OpenBlockS266 に収録するようにした。このよう  
 に、マイクロサーバを使うことにより白山 VSAT システ  
 ムの中でチャンネルの選択など柔軟な運用が出来ることが  
 出来た。

謝 辞：観測点の設置にあたっては、宮崎県日南土木事  
 務所の関係者各位の御協力をいただきました。また、本研

究は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けました。

本稿をまとめるにあたり、森田裕一教授と飯高隆准教授には丁寧に査読していただき有益なコメントをいただきました。記して感謝致します。

## 文 献

- 内田和也・植平賢司, 2008, マイクロサーバ・OpenBlockS266を使った地震観測点におけるデータバックアップ, 東京大学地震研究所技術研究報告, 14, 38-46.
- Uehira, K., 2009, Development of a distributed backup system and a recovery system for telemetric seismic data, Earth Planets Space, 61, 285-289.