

## 既設金属ケーブルと DSL モデムを利用した 火山体地震観測の高度化

辻 浩<sup>\*†</sup>・卜部 卓<sup>\*\*</sup>・嘉部 茂<sup>\*\*\*</sup>

### Improvement of Earthquake Observation in Volcano Using Existing Metal Cable and DSL Modems

Hiroshi TSUJI<sup>\*†</sup>, Taku URABE<sup>\*\*</sup> and Shigeru KABE<sup>\*\*\*</sup>

#### はじめに

浅間山の火山活動と火山性地震との関連性が非常に高いことは、過去の事象からも明らかである。浅間火山観測所 (AVO) では長年にわたり地震観測を継続しており、現在は山頂の 2 点を含め計 11 点の地震観測点を維持している。この地震観測点中 4 点は高出力型電磁式地震計の信号を増幅せずにそのまま、最長約 3 km に渡り金属ケーブルで AVO に伝送している (図 1)。これは各観測点に電源を必要としないという利点があるため、浅間火山の地震観測テレメータ方式の一つとして長年にわたって利用されてきた。しかし、敷設後すでに 30 年近く経過した金属ケーブルは、その間の雷害や台風時の断線等による老朽化のため電線抵抗値は高くなり信号品質は年々劣化傾向にあった。

そこで我々は手始めとして 2003 年 11 月に黒豆河原観測点 (KUR) においてこの金属ケーブルに DSL モデムを利用した地震観測の高度化を試みたので、その成果について報告する。

#### DSL と ReachDSL

DSL (Digital Subscriber Line) とは一般に電話線を使用して高速なデジタルデータ通信を行う技術である。このうち代表的なものが ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) であり、今回は ADSL の中の ReachDSL を採用した。ReachDSL は Paradyne 社が開発した技術で、

300 kHz 以下の周波数帯域を使用するため、一般的な ADSL と比べると距離による信号の減衰やノイズの影響を受けにくいという特徴がある。一方で通常の ADSL より使用する周波数帯域が狭いため、通信速度は上り下り共に 960 Kbps が限界である。つまり、ReachDSL は最大通信速度を抑える代わりに長距離回線やノイズの侵入が多発する回線でも安定した通信品質を確保できる方式である。これは既設の老朽化した金属ケーブルに有効であると期待され、また制約される通信速度も地震データの容量としては十分であると判断した。

#### 機器の設置と構成

図 2 (a) に KUR における従来の地震観測構成図を示す。KUR には地震計のみが設置されていて非常に簡単な構成であるが、アナログ信号をそのまま伝送するためデータの品質はそのまま金属ケーブルの品質に頼ることになる。図 2 (b) はその金属ケーブルを利用した今回試みた地震観測構成図を示す。また主要な構成機器の写真を図 3 に示す。

まず既存の 10 対金属ケーブルの中のループ抵抗値が良好な芯線 1 対を選び、それを電源と通信に併用する (当初は電源用と通信用それぞれ違う芯線を利用していたが、2004 年 5 月に 1 対で併用できることが実験により確認できた)。AVO 内には小形スイッチング方式の定電圧・定電流直流電源 (TAKASAGO KX-100H) を設置し、芯線のループ抵抗約 200 Ω による電圧降下を考慮して AVO から KUR へ 92 V · 0.1 A 程度を給電する。一方 KUR では給電された電流は、ReachDSL モデムに内蔵されているスプリッタで分岐され、電源モジュールへ入る。ここで供給電圧は平常時 65 V 程度に降下している。電源モジュールからの出力は、ディジタイザ (白山工業社製 DATAMARK LS-7000XT) 用と場合によっては更に広帯域地震計 (GU-

2004 年 8 月 23 日受付, 2004 年 10 月 27 日受理。

<sup>†</sup> htsuji@eri.u-tokyo.ac.jp

\* 東京大学地震研究所技術部総合観測室,

\*\* 地震地殻変動観測センター,

\*\*\* ソネット株式会社。

\* Technical Supporting Section for Observational Research,

\*\* Earthquake Observation Center, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo,

\*\*\* Sonnet International Corp.

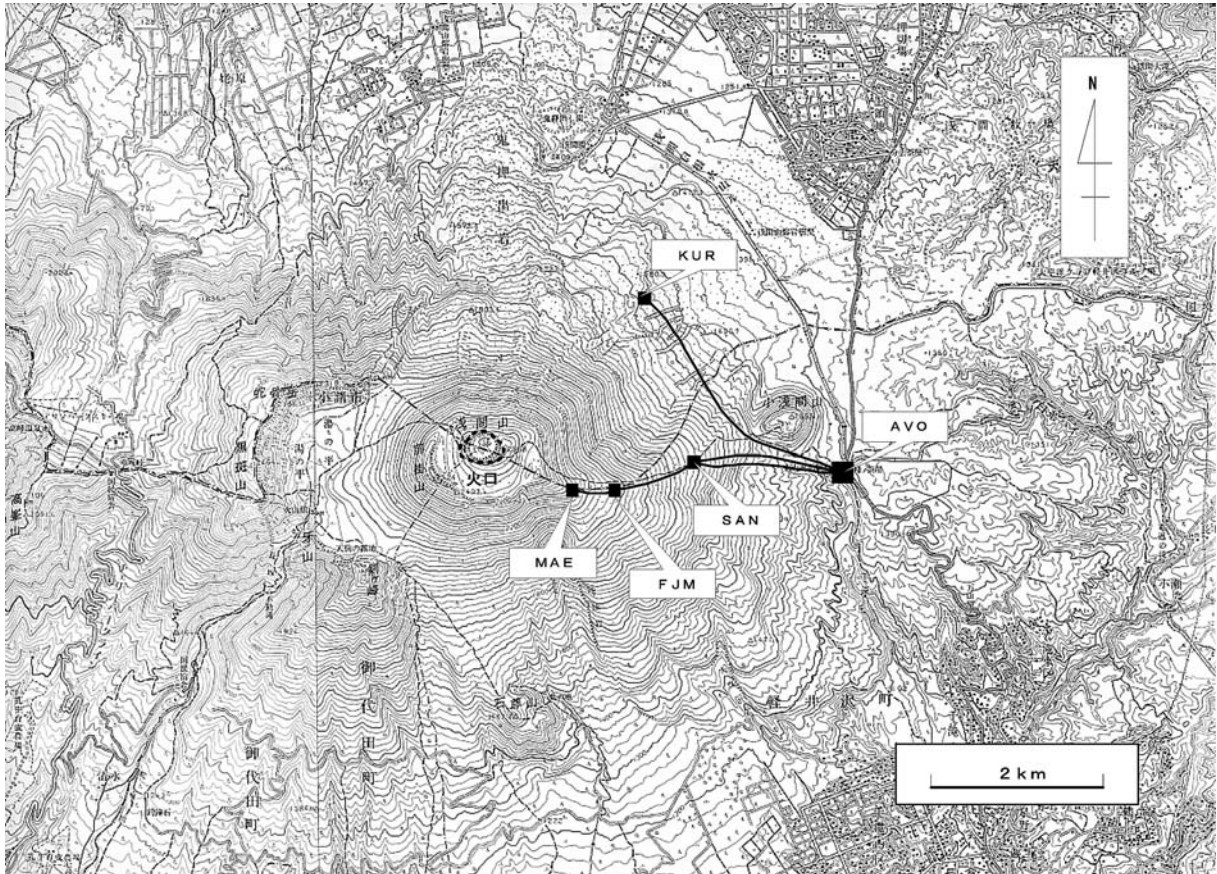


図 1. 敷設してある金属ケーブルとそれを利用している 4 地震観測点. 図中の AVO は浅間火山観測所, KUR は黒豆河原観測点, MAE は前掛山観測点, FJM は富士見坂観測点, SAN は三の鳥居観測点を指す.

RALP SYSTEM CMG-3T) 用の 12 V, および ReachDSL モデム (PARADYNE 社製 DSL Modem 6350) 用の 5 V である.

電源モジュールの回路を図 4 に示す. 入出力絶縁型・入力 36~72 V・出力 12 V の DC-DC コンバータ (デンセイ・ラムダ社製: PC 6-48-12 型), 同型出力 5V コンバータ (同社製: PC 6-48-5 型), それに大容量のコンデンサから構成されている. コンデンサは CMG-3T のマスポジション調整時や ReachDSL モデム起動時に流れる, 平常時の数倍の電流を一時的に賄うためであり, 大容量・低内部抵抗の電気二重層コンデンサ (SHOEI 社製: 2.3 V 10 F) を計 10 個使用している.

KUR に設置された短周期地震計 (KUR での広帯域地震計の設置は見送られた) からの信号は, デジタイザにより A/D 変換及びタイムスタンプ付加され, UDP/IP パケットとしてイーサネットに出力される. これを受ける KUR の ReachDSL モデムは, 金属ケーブルを経由して AVO に設置されている対向の ReachDSL モデムと接続されている. データ伝送には電源用と同一の芯線を使う. つまり先にも述べたが今回の方式は芯線が最低 1 対あれば

可能であるというのが特徴である. 使用する芯線の電線抵抗値が高い場合などは複数の芯線を並列に接続して使用することも考えられ, 実際に後で観測を開始した前掛山観測点ではそのようにしている.

AVO に設置されている ReachDSL モデムは集合型の DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer (PARADYNE 社製 HOTWIRE DSLAM 8610)) である. これは 12 ポート構成となっているため, これ 1 台で 12 回線に対応することができる. DSLAM で復調された KUR の地震データはスイッチングハブを介して地震収集用 PC に入る. このように KUR のデジタイザと AVO の地震収集用 PC の間が IP 接続されている.

ReachDSL モデムを利用している各観測点の地震データは, 地震収集用 PC からインターネット VPN により地震研究所へ送られる. さらにそこから衛星配信されたデータは小諸支所で受信され, 他の山体系地震データとともに収録される.

雷害対策としては, AVO と KUR のそれぞれで, 回線側にサージ耐量 10,000 A 以上, 動作速度 3 nsec. 以下という高性能な避雷器 (森長電子社製 高速回線避雷ユニット

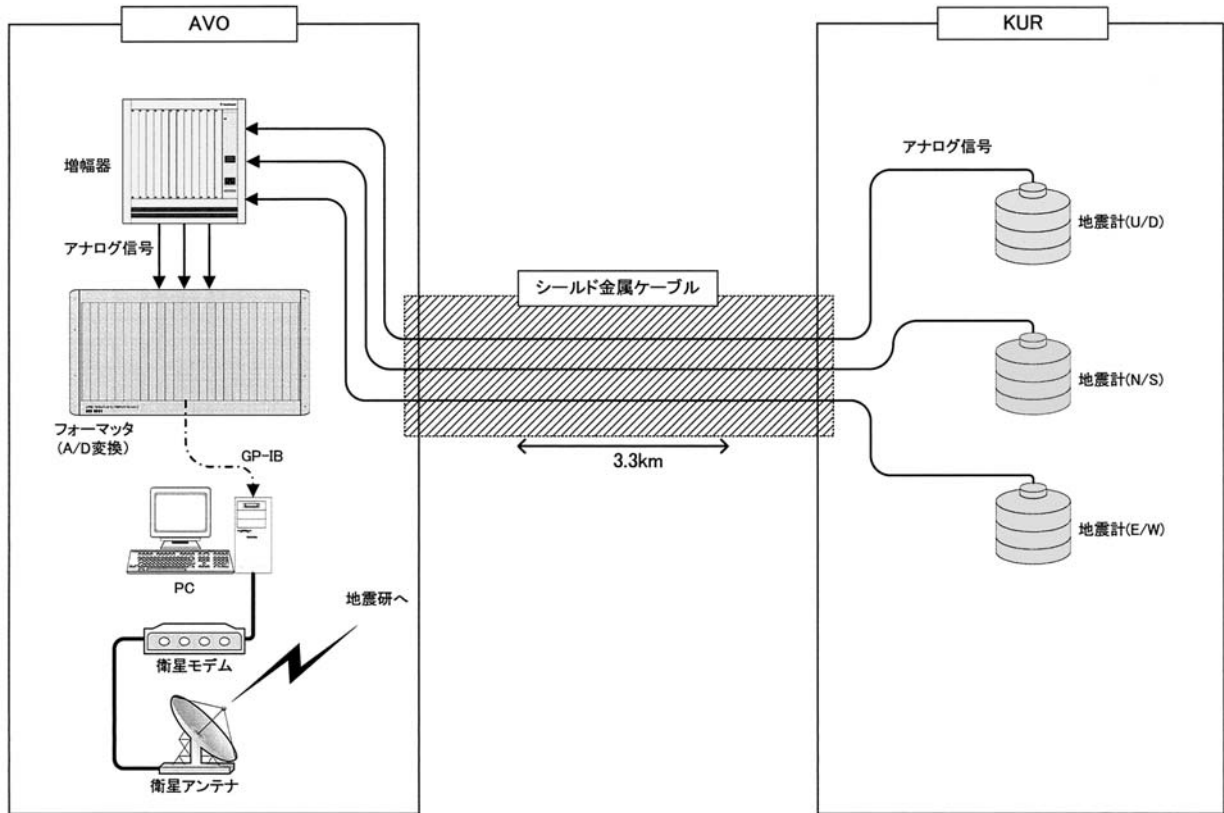
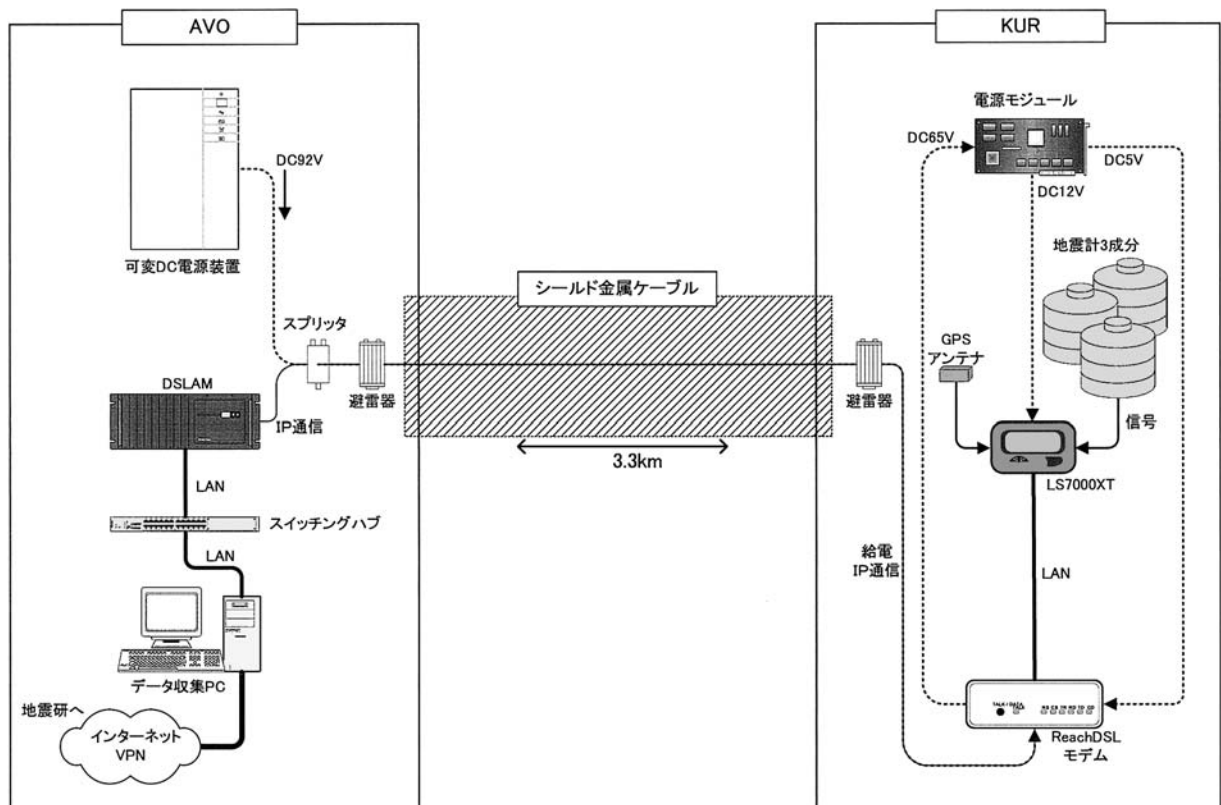


図 2 (a) 従来の AVO-KUR 間の構成と地震データの流れ



(b) 今回試みた ReachDSL を利用した AVO-KUR 間の構成と地震データの流れ

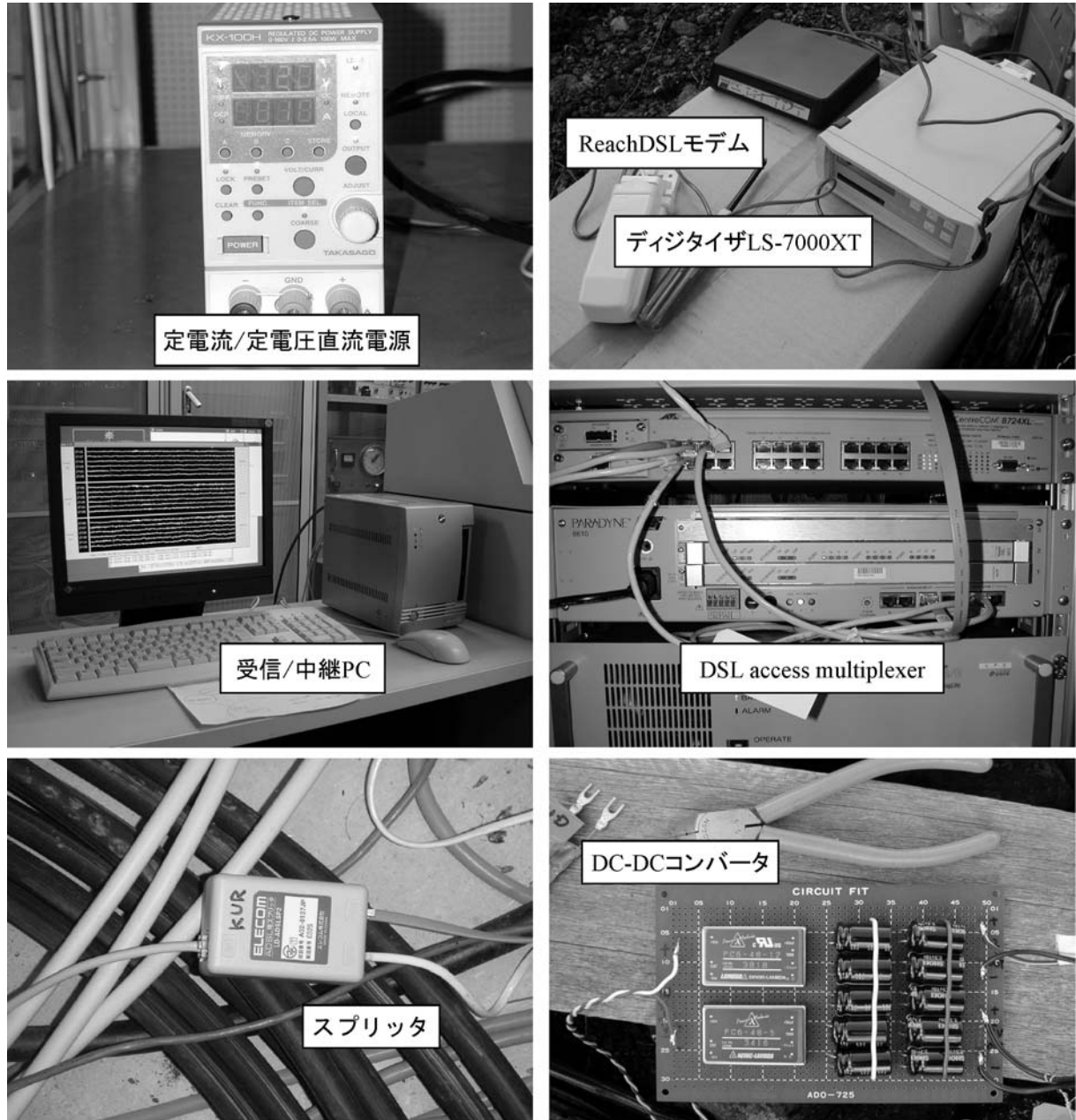


図 3. 今回新設した主要機器の写真

ALP-VTMJ) を設置している。しかし KUR には避雷器が接続する有効なアースが設置されていないのが現状である。

## 結 果

最新のデジタルライザを利用したことにより、データの分解能は 12 bit から 24 bit へと改善された。さらに観測点からデジタル伝送することで、従来のアナログ伝送では避けられなかった雷などの誘導ノイズによる伝送途中の信号劣化もなくなった。図 5 は KUR における U-D 成分の、ReachDSL 伝送方式への変更前後のグラウンドノイズの

状態を比較した 2003 年 11 月 17 日のモニター記録である。この欠測期間は設置作業とデータ経路の変更等で要した約 3 時間 30 分である。この記録より、変更前の記録に存在していた電磁的誘導によると見られるスパイク状のノイズは変更後にはすべて消滅しているのが見て取れる。

良質な地震波形を観測する目的から、これらの改善は非常に大きな成果だといえる。

## まとめと課題

ReachDSL モデムと LS-7000XT を利用した今回の観測方式の変更は成功したと思われる。

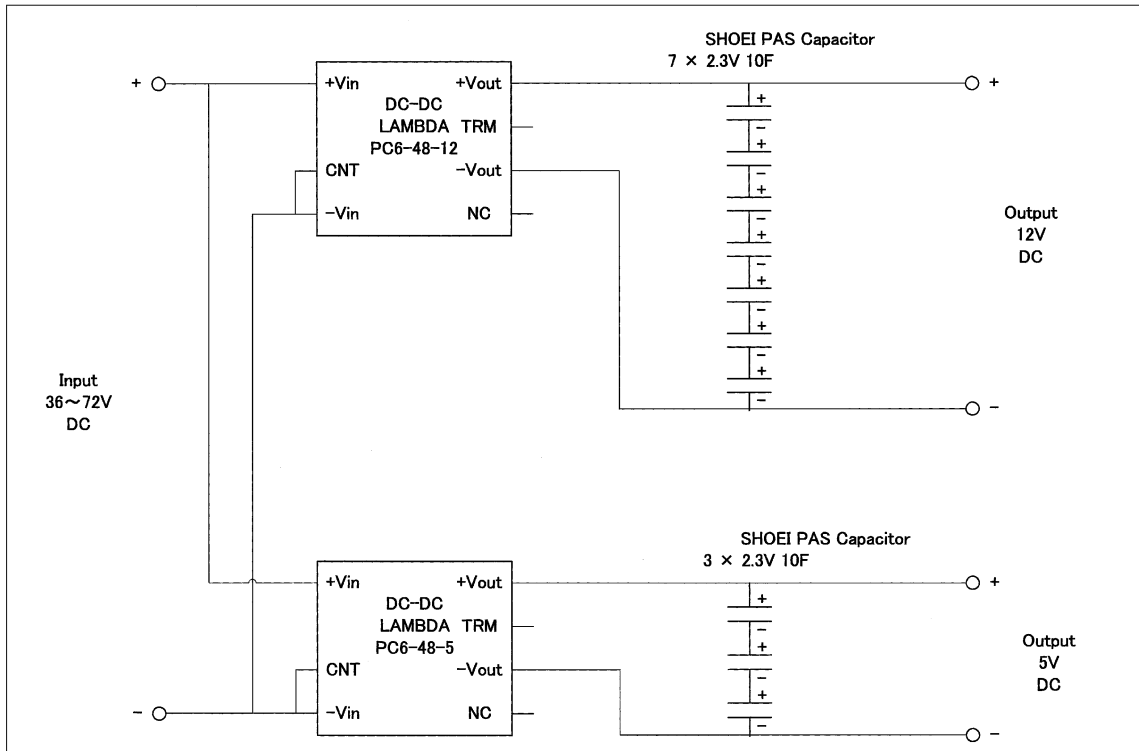


図 4. DC-DC コンバータを含む電源モジュールの回路図

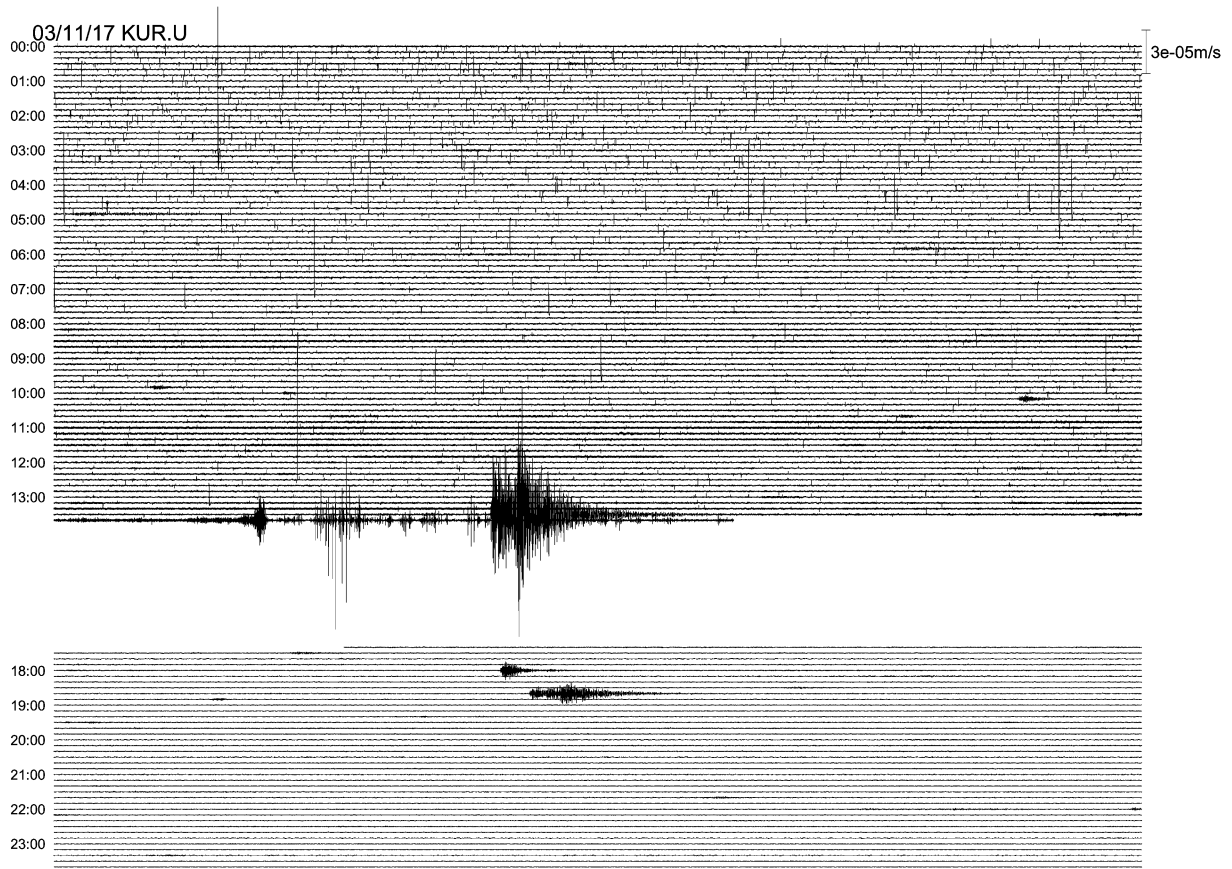


図 5. ReachDSL の設置作業を行った 2003 年 11 月 17 日の KUR における U-D 成分のモニター記録。右端から左端までの時間スケールは 10 分である。欠測直前の大きな振動は車や人が接近した際のもの、欠測後の 2 個の地震は上が火山性地震、下が遠地震である。作業中の欠測期間をはさんで、作業前よりも作業後のほうが振幅は約 1.5 倍拡大されているが、それにもかかわらず作業後のほうが常時ノイズレベルは低く、かつ作業前の時間帯で記録されていたスパイク状のノイズが作業後では完全に消滅しているのが見てとれる。

表 1. 各観測点の設定および実測値

回線抵抗はその回線のループ抵抗の値，設定電圧と設定電流は可変 DC 電源の設定値，DSL 速度の UP は観測点から AVO，DOWN は AVO から観測点方向の値をそれぞれ示す。なお可変 DC 電源は，設定電流以下では設定電圧の定電圧電源として働き，設定電流に達すると設定電流の定電流電源として働く。

観測点名	回線番号 (No)	回線抵抗 ( $\Omega$ )	設定電圧 (V)	設定電流 (A)	平常電流 (A)	DC-DC 入力 (V)	DSL 速度(bps) [UP/DOWN]
KUR	3	192	92	0.20	0.08	65	896k/960k
MAE	3+4	103	86	0.30	0.11	63	320k/256k
FJM	10	174	86	0.20	0.09	62	896k/896k
SAN	1	121	86	0.20	0.08	66	960k/896k

我々は KUR の成果を踏まえて 2004 年 6 月に KUR と同様の観測形態をとっていた前掛山観測点 (MAE)，富士見坂観測点 (FJM)，三の鳥居観測点 (SAN) の 3 観測点についても ReachDSL 方式に変更した。その際 MAE では給電したことによって金属ケーブルの接続箱に水が浸水していることが判明し，補修作業を行った。また MAE は広帯域地震計を新設して，LS-7000XT の 6ch を CMG-3T と短周期地震計用にフルに活用している。表 1 に各観測点の ReachDSL モデムのリンク速度を示す。MAE のリンク速度が上下とも他の観測点より低いのは，2 ペアの芯線を並列接続していることによるのかも知れない。

これにより既設金属ケーブルを利用しているすべての地震観測点で，ReachDSL モデムと LS-7000XT による地震

データの高度化が図られた。その結果，年々老朽化が進行し信号品質が低下する一方であった金属ケーブルによる地震観測の高度化は達成され，その利用価値も高まったと言えよう。

今後は避雷器の性能を十分発揮すべく良好な接地アースを各観測点に施すことが急務であるが，軽石層が厚い火山体では接地抵抗値をいかに小さくするかが課題である。

謝辞：観測機器の設置には，武尾 実教授，小山悦郎氏，及川 純助手，大湊隆雄助手，山本真紀氏のご協力をいただいた。地震検測収録システムのパラメータは，持丸佳美氏，出川昭子氏に設定していただいた。岩崎貴哉教授，森田裕一助教授には査読をしていただき，本稿の改善に役立ちました。ここに記して感謝いたします。