

( 1 ) 実施機関名：

九州大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

新世代通信データ伝送システムの開発

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

( 3 ) 観測技術の継続的高度化

イ. 地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山観測においては、多種目の地球物理観測を同時に行うことから、各種のセンサーが接続可能であり、データがリアルタイムに伝送されるシステムが不可欠である。しかし、火山周辺地域は観測網を構築するための社会基盤(電力、通信、インターネット)が弱く、必ずしも十分な観測体制が取れていない。これを解決するためには火山観測に特化した通信方式の開発が必要である。

商用の無線 LAN システムの利用もいくつかの火山で進められているが、消費電力の問題や長距離・高信頼度通信のために新たな無線システムが必要とされている。しかし、新規の無線帯域の使用は、無線行政の動向に左右されるため、これまで日本国内での開発は難しかった。

本研究では、多種目観測システムを接続する共通 BUS として最近利用が始まっている CANBUS 規格の採用も念頭に置いて、無線や光ファイバーなども用いた小型低消費電力低価格のデータ伝送システムの開発を目的とする。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度 共同研究者と無線や光ファイバーを用いたデータの伝送方式についての仕様検討会を実施し、機器作成メーカを策定する。

平成 22 年度 機器の開発を行う。適宜検討会を実施し、仕様の再検討を行う

平成 23 年度 プロトタイプ機器により試験観測を実施し、量産型への検討を行う。

平成 24 年度 量産タイプ機器により、実地試験を行う。

平成 25 年度 量産タイプ機器により、実地試験を継続する。本運用での問題点について改良を行う。

( 7 ) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

火山地域などの悪条件下においての各種観測データの伝送方式の開発を目指して、2012 年度(平成 24 年)に引き続き、以下の 3 つの方式のデータ伝送実験を行うのと並行し、2013 年度(平成 25 年)には新たに衛星携帯電話を使ったダイアルアップテレメータ装置の開発を行った。

( 1 ) データ通信端末の定額料金プランを用いたリアルタイムデータ転送

2008 年より携帯電話のデータ通信に定額料金プランが設定されるようになり、データ通信専用端末(データカード)を用いて地震等のデータを連続して送信することが、現実的な価格で可能となった。本課題では、このデータ通信端末の定額料金プランを用いて、なるべく単純で安価なシステム構成を目標として、遠隔地に設置した機器からリアルタイムにデータを送信するシステムの開発実験を行った。

従来の携帯電話の従量制プランでは地震データの伝送に月額 100 万円程度かかるが、定額料金プランを使うとプロバイダ料金を含めても月額数千円以下の定額データ通信料を支払うことでデータ伝送が可能である。定額料金プランがある携帯電話のデータ通信端末には NTT ドコモ社の FOMA 網 (800MHz,2GHz), au 社の CDMA 1X WIN 網 (800MHz,2GHz), E-mobile 社 W-CDMA 網 (1.7GHz) などがある。最近各社は LTE 技術を使った高速通信サービスを始めたが対象領域は都市部に限られている。高速のインターネット通信の場合は、高い周波数帯のものが有利であるが、地震データ転送においては 10k~100kbps の情報速度で十分であること、山岳地域の利用においては 800MHz 帯などの低周波数帯が伝搬に有利なことから、使用するのは FOMA 網か CDMA 1X WIN 網のどちらかに限られる。データ定額料金プランでは au 社が先行したが、端末機器やプランの豊富さから FOMA 網が有利であると判断される。ただしパケット制限問題では、FOMA 網では直近の 3 日間の通信量が 300 万パケット (1 パケット=128byte) を超えると通信速度抑制の対象となる。100Hz サンプリング 3ch の地震計データであればおよそ 50 万パケット/日になるため、これ以上のデータ送信は難しい。また、au は 1 日ごとに、FOMA は 12 時間ごとに回線が強制切断されるので、切断後再接続までの約 1 分間のリアルタイムデータが欠測するという欠点がある。

データ通信の契約に関しては、2012 年度 (平成 24 年) までは仮想移動体通信事業者 (MVNO) の 1 つである日本通信株式会社が発売する b-mobile SIM U300 などの 1 年間パケット通信が使い放題になる SIM が価格的に有利であると報告していた。また、2013 年度 (平成 25 年) の報告では、NTT ドコモ社の新たなデータ通信専用定額プラン「定額データプラン 128K」を使うことでさらにコストを 1/2 の月額 1,737 円 (定額データプラン 128K バリュー割月額 1580 円 + mopera U スーパーライトプラン月額 157 円) にすることができると報告した。日本通信株式会社の b-mobile SIM U300 は 2013 年に新規販売中止となり、後継には LTE 対応の b-mobile 3G・4G U300 が発売されている。この b-mobile 3G・4G U300 はこれまでと異なり、プライベート IP アドレスが使用されることになったため、外部から観測点ロガーへのアクセスが不可能となり、ロガーの設定変更や未達のデータの回収が難しくなった。さらに最近ではスマートフォンを中心とする LTE サービスの増加により、新規の FOMA 端末の入手が難しくなり、端末の新規購入が条件となっている NTT ドコモ社の定額データプラン 128K の契約ができないケースが増えてきた。そこで他各社をリサーチしたところ、MVNO の 1 つである NTT コミュニケーションズが提供する OCN モバイル ONE サービスでは FOMA 端末に使用可能であるとともに、グローバル IP アドレスに対応していることが分かり、これまでどおり外部からのアクセスも可能であることがわかった。しかも 30MB/日のタイプでは月額 980 円と非常に低価格でデータのテレメータが可能である。30MB/日の制限を超えると、通信速度が最大 200kbps に落ちるが、地震のデータ 100 Hz 24bit 3ch + 1Hz 24bit 3ch の構成ではオーバーヘッドを含めても 10~20kbps で収まるため、この 200kbps の帯域制限はほとんど問題にならない。実際の観測にこの OCN モバイル ONE を使用してみたところ、パケット欠落率が 3,4 倍多くなるものの、ほとんどが再送要求でリカバーできる範囲であり、地震観測の実用上は大きな差がないことがわかった。また、NTT 系のプロバイダ企業であるため、大学との契約も難しくない点も大きなメリットである。

システムの構成の検討については 2010 年度 (平成 22 年) の成果報告に詳細記載したとおりであり、現在のところ、データ通信端末としては、NTT ドコモ社が販売する L-05A、モバイルルータとしてはアイオーデータ社製 DCR-G54/U を使い、データ通信端末には外部アンテナ (サガ電子製 800MHz 帯ウィンドウアンテナ 800-2-05A) を取り付けることで微弱電波地域でも大幅に受信感度を上げることができ、パケット欠落もほとんどなく安定に通信できることが分かった。

2010 年以降、九州大学の 3 地点をはじめ、いくつかの大学で本方式を用いた地震データのリアルタイムテレメータが行われたが、大きなトラブルは発生しなかった。携帯電話は災害時など輻輳が発生し、通話や電子メールの送受信ができなくなったり、大きく遅延したりすることが知られているが、今年度もデータ通信には特に問題がなかった。ただし、昨今のスマートフォンの増加により、FOMA 回線上の通信が爆発的に増え、各社で回線容量不足によるシステムダウン事故が多く起こるようになった。この事故にまきこまれると地震データ通信も不可能になってしまうので注意が必要である。ただ

し、東京でシステム障害が発生しても、九州地域ではデータ通信には影響が出なかった。

携帯電話各社では爆発的に増えたパケット通信に対して処理が追いつかない状態が続いているため、パケット定額制をやめるといった選択肢も検討にはいっているとの報道がある。その場合には、効率的なパケット送信を行う仕組みを考え、パケット数の減少方法を検討しないとパケット費用が高額になってしまう場合もあるので今後のシステム調整が課題となる。

今回開発したシステムにより、携帯電話データ通信サービスエリア内であれば 3ch100Hz の地震データその他 GPS や傾斜計などの低サンプリングデータを観測拠点に簡便にリアルタイム伝送をすることができるようになった。現在霧島新燃岳噴火に伴う観測や東日本地区各地で実際に使用しているが、非常に順調に動作している。通信機器の設置も短時間で可能で、危険地域への立入時間の短縮にもつなげることができた。

#### (2) プリペイド式携帯電話端末を用いた遠隔地機器のテレメータ化

GPS 定常観測データ等のリアルタイム性を重視しない観測では、必ずしも観測データをサンプリングごと送信する必要はなく、計測機器内に蓄積されたデータを定期的に ftp 等で回収する方式でも対応可能である。このようなデータの転送のために本課題では、プリペイド式携帯電話端末を用いた遠隔地設置機器のテレメータ化実験を行った。開発されたテレメータシステムの詳細は平成 21 年度の報告に記載されているとおり、モバイルルータとしてはアイオーデータ社製 DCR-G54/U を使用しており、携帯電話端末には SIM フリー端末である ZTE MF626 を使用している。

九州大学は鹿児島大学と共同で 7 観測点の GPS 観測点に本課題で開発したテレメータ装置を設置し、データ回収と GPS 解析ソフトの起動を毎朝自動で行い、全自動で解析している。また GPS 受信機の設定変更などのメンテナンスもリモート行うことが可能である。

これまで使用していた携帯電話端末用 SIM である日本通信株式会社の b-mobile HOURS 3G の販売が 2012 年度末に終了したため、平成 25 年度からは NTT コミュニケーションズの OCN モバイル ONE を契約し、その SIM カードを挿入した携帯電話端末でテレメータを行っている。料金はプリペイド式ではなくなったが、NTT 系のプロバイダ企業であるため大学との契約も難しくなく、動作もこれまでと同様に外部からのアクセスが可能である。OCN モバイル ONE は使用時間数に制限がないため、24 時間の常時接続が可能であるが、セキュリティの面から、タイマーにより 1 日に 1 時間程度のみ起動するようにしている。

#### (3) 低消費電力の小型小電力無線機を用いた無線 LAN 装置の開発

市販の無線 LAN 機器は高性能化・高速化が進んでいる一方、消費電力が数 W から十数 W と増加が進んでいる。また 2.4GHz 帯が手狭になっているため、5GHz 帯への移行も進み、屋外・山岳地域での使用は更に難しくなっている。そこで、通信速度が 10k ~ 100kBPS 程度の低速度で構わないが、消費電力の少ない無線 LAN 装置の開発が望まれている。本課題では、日本国内で使用可能ないくつかの無線規格（たとえば Bluetooth, UWB など）についてリサーチを行い、PAN (Personal Area Network) と呼ばれる IEEE802.15.4 で策定された無線ネットワーク規格が適切であると判断した。PAN は低速な反面、低消費電力であり、家電向けの無線通信規格でもある ZigBee でも利用されていることから、汎用の無線モジュールが低コストで入手可能である。米国では 900MHz 帯、2.4GHz 帯のものがあるが、日本国内では携帯電話や MCA 無線等に周波数が割り当てられているため、一般の使用を認められていない。そこで本課題では日本で無線 LAN 等の無線機器に使用が認められている 2.4GHz 帯の使用を念頭に置いて機器の開発を進めることとした。

装置開発の詳細は平成 22 年度報告を参照されたい。現在は消費電力が 1W 程度と非常に低消費である IEEE802.15.4 規格の小型無線機（シモレックス社製 SC-PPX2400P、双方向シリアル通信機）とシリアル-Ethernet 変換デバイス LANTRONIX 社製 XPortPro の組み合わせが消費電力量の少なさ、電源電圧が 3.3V であることから、本課題のデバイスに最適であると判断された。このスペックで 2011 年度（平成 23 年）予算を使用して 3 対向計 6 台の低消費電力無線 LAN の試作品を作成し、南極などの低温地域での使用を念頭においた低温動作試験や多量のデータを送信する高負荷実験を実施した。結果は 2011 年度（平成 23 年）報告を参照されたい。

本装置は、単純なネットワーク構成を想定して作成されていたため、bridge モードを正式サポートしていない、動的ルーティングに対応していない、ゲートウェイの設定が難しいなど、実際の観測点で使用するには支障がある点も指摘された。2012 年度（平成 24 年）にこれらの欠点を修正するためのファームウェアの改修を行い、実際の使用に耐える装置として完成を見た。2013 年度（平成 25 年）はこれらの装置を阿蘇山や伊豆大島での火山観測に使用している。伊豆大島の装置は現在も順調に動作しているが、阿蘇山では 2013 年 8 月に落雷事故のため 1 台が破損し、実用試験が中断している。

#### （４）衛星携帯電話を使ったテレメータ装置の開発

無人島などにおける定常地震観測の実現のために、我々は NTT ドコモ社が運営する衛星携帯電話（Wide Star）を利用したダイヤルアップテレメータ装置の開発を行ってきた（植平・松島他，2000，地震，53，2，181-184）。当初この長崎県の無人島である男女群島女島に設置していたが、現在は伊豆諸島の活火山島である鳥島において、実際の運用を続けている。

しかしながら、2014 年 3 月末でドコモ衛星携帯電話の音声通話サービスが廃止され、音声もデータも IP 化されている Wide Star II サービスに完全移行となる。このため、モデムを用いたデータ通信が不可能となり、新たな方式によるテレメータが必要となった。

もっとも単純な方式は、携帯電話データ端末利用のリアルタイムテレメータと同様に常時パケットを送信する方法である。この方法では衛星携帯電話端末（Wide Star II）と FAX アダプタがあれば、携帯電話データ端末と同様にデータ送信できる。しかし、パケットをリアルタイムに送るためには、衛星電話の電源を常時通信状態にしなければならないため、消費電力が非常に大きくなる。また、衛星携帯電話のパケット料金には定額制がないため、通常の地震テレメータでは月額 100 万円以上のコストが発生してしまう。緊急時の短期間のテレメータ観測には実用可能であるが、離島や火山の定常観測向きとは言えない。

2 つめの方法は観測局側にデータサーバを設置し、常時観測データもしくはトリガー観測データを定期的にまとめて大学のサーバーに送信する方法である。この方法では新たにサーバーを開発する必要がある。またこのサーバーは無人運用でもハングアップしないような安定し、低消費電力のものにする必要がある。

3 つめの方法は、大学側からのダイヤルアップ方式で、必要な時に必要なデータを回収する方法である。この場合大学側から観測局にアクセスするためにはこの方法では、ドコモ社が提供するアクセスプレミアムパケット通信網に入る必要があり、そのためには、大学から直近のドコモ端末局までデータ専用線もしくは ISDN 電話回線（2 回線）を敷設しなければならないため、多くの工事費等の初期投資と月額使用料を支払わなければならないことが分かった。

そこで、2 つめの方法でテレメータを構築することとして、2014 年度（平成 25 年）は計測技研社製データロガー HKS-9700 を改造してテレメータ装置を作成した。HKS-9700 は低消費電力型の地震波形ロガーで、4ch の波形データを 100/200Hz 27bit で同時サンプリングして SD カードに書き込むことが可能である。またテレメータボードを内蔵することが可能で、今回はこのボードを改造して PPPoE を実装し、衛星携帯電話対応とした。また、衛星携帯電話の電源を制御するための装置も作成した。プロバイダとして NTT ドコモ社の ISP である mopera U を使用することで（アクセスごとにアドレスが変わる）グローバルな IP アドレスを取得できる。ロガーと観測拠点に設置したデータサーバは以下のようにデータのやり取りを行う。

（１）観測された地震波形をデジタル化し、それぞれのチャンネルごとに、1 分ごとの 2 乗平均（LTA）と 1 秒ごとの 2 乗平均値のその 1 分間での最大値（STA）を計算して、ダイジェストファイルを作成する。

（２）ロガーは衛星携帯電話を定期的に起動して IP アドレスをデータサーバに通知し、データサーバがダイジェストデータを sftp にて取得する。

（３）ユーザーはそのダイジェストデータを見て、ダウンロードする波形データの時刻（複数可）を決定してデータサーバに書き込む。

（４）次回の衛星携帯電話接続の際に、ダウンロード指定された波形データをデータサーバが sftp にて

取得して、ユーザーがアクセス可能な領域に置く。

従来は STA/LTA を用いたトリガー判定で記録されたデータを自動的に送ってこることがよく使われたが、本装置では火山性微動などの波形の取得も必要なため、現地では常時データを取得し、必要な部分だけをユーザー側で指定して波形を伝送する方式をとった。

衛星携帯電話による平均的な通信速度は 50kbps 程度であり、10 分間分の 4ch 100Hz の波形データを送る場合には、接続に 2 ~ 2.5 分、データ通信には約 1.5 分かかる。データ通信料金は 300 ~ 400 円程度になる。現在システムの運用試験中であり、2014 年秋には現地への設置・観測開始を検討している。

- ( 8 ) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
村山貴彦・金尾政紀・山本真行・松島健・石原吉明，2013，昭和基地周辺の多地点センサアレイによる極域インフラサウンド観測，日本地球惑星科学連合大会講演集，MTT40-04  
藤田詩織・松島健，2013，霧島新燃岳火山 2011 年噴火前後の地殻変動とマグマだまりの推定，日本地球惑星科学連合大会講演集，SVC48-P19  
高橋浩晃・青山裕・中川光弘・松島健・宮町宏樹・ゴルディエフエフゲニー・ムラビヨフヤロスラフ・セロベトニコフセルゲイ，2013，カムチャツカ・クルチェフスコイ火山のストロンボリ式噴火活動期に傾斜計で観測された超長周期微動日本火山学会秋季大会講演予稿集，A2-03  
中尾茂・松本聡・松島健・大倉敬宏，2013，九州地域の 2011 年太平洋沖地震の地震時歪変化，日本地震学会秋季大会講演予稿集，C31-08  
片尾 浩・久保篤規・山品匡史・松島 健・相澤広記・酒井慎一・森 健彦・藤田親亮・澁谷拓郎・中尾節郎・吉村令慧・木内亮太・三浦 勉・飯尾能久，2013，2013 年 4 月 13 日淡路島付近の地震( M6.3 )の余震の発震機構，日本地震学会秋季大会講演予稿集，A32-06

- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

九州大学大学院理学研究院 松島 健・清水 洋 他 2 名

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学研究院 大島弘光

東京大学地震研究所 森田裕一・及川 純

京都大学大学院理学研究科 大倉敬宏

そのほか、火山噴火予知研究グループ内で適宜意見交換し、よりよい機器開発をめざす。

- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：九州大学大学院理学研究院

電話：0957-62-6621

e-mail：takeshi\_matsushima@kyudai.jp

URL：www.sevo.kyushu-u.ac.jp

- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：松島健

所属：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