

# 非常時における車載型衛星インターネット通信システム の実装と評価

辻井 高浩<sup>1</sup> 猪俣 敦夫<sup>1</sup> 垣内 正年<sup>1</sup> 油谷 暁<sup>1</sup> 藤川 和利<sup>1</sup>

**概要:** 奈良先端科学技術大学院大学 (以下, 本学) では開学から独自の統合情報処理環境を構築してきた。情報共有インフラを利用者に提供できるようにするための高いモビリティを実現させることをひとつのコンセプトとしている。

本学においても未曾有の災害をもたらした 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の発生により事業継続を考慮した情報処理環境の提供に取り組む必要がでてきた。すなわち大規模な災害が発生した際に、迅速にインターネットに接続し外部との連絡手段を確保することは重要である。そこで、本研究では、車載型の衛星地球局を用いた衛星インターネット通信を活用し、災害時における利活用のモデルケースを構築することを目的としている。本稿では、インターネット環境の乏しい現場において回線提供を実現するために設計したシステムについて述べ、実際に限界集落にて実施した実証実験の結果について報告する。

## Design of Car-mounted Satellite Internet Communication System for Emergency Situations and its implementation

TAKAHIRO TSUJII<sup>1</sup> ATSUO INOMATA<sup>1</sup> MASATOSHI KAKIUCHI<sup>1</sup> AKIRA YUTANI<sup>1</sup> KAZUTOSHI FUJIKAWA<sup>1</sup>

### **Abstract:**

We have developed our ideal computing system (MANDARA) which is the integrated information processing environment since an establishment of NAIST. One of feature concepts is for all membership to realize the high mobility for the infrastructure to share informations. On 11 March 2011, the Great East Japan Earthquake has struck the north-east coast. We are forced that we need to take the institute continuity into consideration for the institute continuity from such the severe situation and think that it is important to keep the means of communication for outside over Internet. In this paper, we introduce our designed system to provide the effective and robust communication for a condition without Internet service spot and describe experimentation results at marginal settlements areas for Nara prefecture.

## 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災以降、事業継続を考慮したインフラ・システム整備が急務となっている。本学においても、2013 年 1 月に本学敷地内にコンテナ型サーバールームを設置し、その運用を開始した。また沖縄科学技術大学院大学 (以下, OIST) にも 2014 年 4 月に本学と OIST 間で相互にデータをバックアップさせる遠隔拠

点間データバックアップシステムを導入した。コンテナ型サーバールームでは、免震サーバラックによる耐災害性を強化し、既存のサーバールームとの併用により建物が倒壊した場合のリスク軽減を実現し、システムの可用性を高めた。遠隔拠点間データバックアップシステムでは、遠隔地にデータバックアップを保持することにより災害時におけるデータ喪失を防ぐことを実現した。

一方、本学は生駒断層帯による直下型地震の際には震度 6 強の揺れが予想 [1] されており、学外への物理的なネットワーク接続が寸断されることが予想されており、非常時のインターネット通信確保は必要不可欠である。

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター  
Nara Institute of Science and Technology, Information Initiative Center

本報告では、非常時のインターネット通信確保のために設計した車載型の衛星地球局を用いた衛星インターネット通信システム（以下、アドホック型衛星インターネット通信システム）を紹介し、実運用にむけた事前検証および今後の課題について述べる。

## 2. アドホック型衛星インターネット通信システム

本章では、まず、2.1 節において、アドホック型衛星インターネットシステム（図 1）の概要を述べる。また、2.2 節において、ハードウェア構成を述べた後、2.3 節において、提供するサービス詳細について述べる。

### 2.1 システム概要

図 1 アドホック型衛星インターネット通信システムでは、被災地やデジタルデバイド（情報格差）地域において、音声ナビゲーションに従い、液晶パネルのタッチ操作をするだけで専門的知識・技術なしにインターネット接続を確保することができる。地震・津波等で地上系通信インフラが損壊した場合でも、VSAT 地球局の自動衛星捕捉機能とハイブリッド車による運搬・電源供給機能により、地上系の通信網に依存することなく、通信衛星を介したインターネット環境を構築することができる。

### 2.2 ハードウェア構成

アドホック型衛星インターネット通信システムは、通信衛星を自動的に補足し、かつ通信開始前に必要な衛星通信事業者の制御局との疎通確認試験（UAT：Uplink Access Test）を自動でおこなう日本無線製の自動 UAT 対応小型可搬型 VSAT システム（形式：JUM-5200）および移動型電源供給システムとで構成される。

#### 2.2.1 自動 UAT 対応小型可搬型 VSAT システム

本学が初めて実用化した自動 UAT 対応小型可搬型 VSAT システムは、総務省による平成 23 年度開始 ICT 重点技術の研究開発プロジェクトであり、スカパー JSAT 株式会社が委託を受けておこなった「災害時に簡易な操作で設置が可能な小型地球局（VSAT）の研究開発」[2] の研究成果であり、1 自動衛星捕捉アンテナ装置、2 変復調装置、3 信号集約装置、4 リモコン装置により構成される。

##### (1) 自動衛星捕捉アンテナ装置

自動衛星捕捉アンテナ装置（図 2）は、送受直行直線偏波にて送受信できる平面アレー型アンテナを有し、信号集約装置からの制御信号と本装置内の各種センサや緯度経度情報を元に演算をおこない、内蔵するアンテナ駆動サーボモータの制御をおこない、自動で衛星を 3 分以内で捕捉し、衛星捕捉毎に、自動的に UAT を開始し、必要に応じて衛星通信事業者の制御局によりアンテナ偏波角度が微調整される。また、設置面の

傾きの変化によりアンテナ指向が衛星から外れた場合でも自動的に衛星を再捕捉する。

##### (2) 変復調装置

変復調装置（図 3）は、自動衛星捕捉アンテナ装置の受信信号を信号集約装置を経由して受信して周波数変換をおこなう。また、衛星通信事業者の制御局に対して、データ通信回線割当・開放および回線速度要求をおこなう。

##### (3) 信号集約装置

信号集約装置（図 4）には、自動衛星捕捉アンテナ装置、変復調装置およびリモコン装置が接続され、各装置間の監視制御・データ通信信号を中継する。

##### (4) リモコン装置

リモコン装置（図 5）は、液晶画面のタッチパネル操作により、展開・旋回・格納・アンテナ角度（旋回軸・仰角角・偏波角・原点復帰）の設定することができる。また、展開／収納状態・衛星自動捕捉・アンテナ角度（旋回軸・仰角角・偏波角）・受信信号強度・現在位置（緯度経度）・傾斜角度を表示することができる。

#### 2.2.2 移動型電源供給システム

移動型電源供給システム（図 6）は、ハイブリッド型車両であるトヨタ社製プリウスにルーフキャリアを取り付け、自動 UAT 対応小型可搬型 VSAT システムを搭載し、AC100V、1500W までの電源が供給できるシステムである。

### 2.3 サービス詳細

アドホック型衛星インターネットシステムは、VSAT システム（Very Small Aperture Terminal）[3] を利用している。VSAT システム（Very Small Aperture Terminal）は、通信衛星を介する双方向通信システムのひとつであり、通信衛星と通信制御をおこなう VSAT 制御地球局（親局：HUB 局）、VSAT 地球局（子局：VSAT）および公衆電気通信回線網により、ネットワークが構成される。自動 UAT 対応小型可搬型 VSAT システムは、VSAT 地球局に相当し、従来専門的知識・技術が必要であったアンテナ角度調整や管制局との疎通確認試験（UAT）を液晶パネルのタッチパネル操作のみで自動でおこなえ、衛星通信が通常 3 分程度で利用できる。また、余震等で運用中にアンテナ方向がずれた場合でも、自動的に衛星を再捕捉する。衛星通信回線は、実運用にむけての試行ということもあり、スカパー JSAT と一般サービスメニューにはない随時利用契約を交わしており、実際に衛星通信をおこなう時に通信帯域を指定して占有回線を利用できる。通信帯域は、今回の VSAT 運用に使用している HUB 局側の IP モデムの上限速度の制約により最大 2Mbps となっている。また、回線数も本学が所有している IP モデムおよび HUB 局側にある対向の IP モデムが 1 台なので、同時接続可能な回線数も 1 回線となっている。利用する衛星は、スカパー JSAT が所有

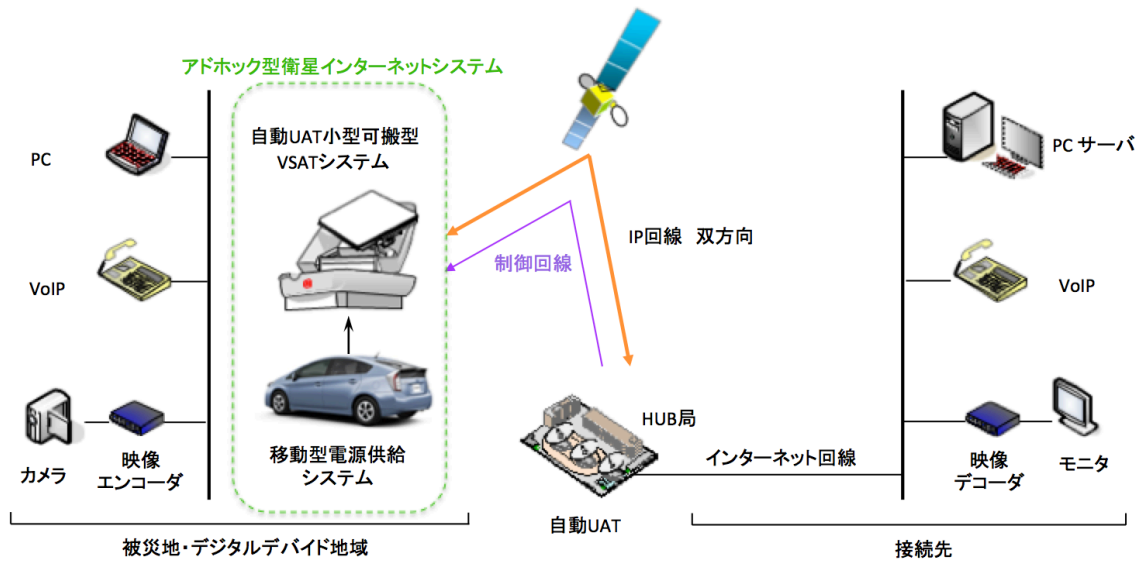


図 1 アドホック型衛星インターネットシステム



図 2 自動衛星捕捉アンテナ装置



図 3 変復調装置

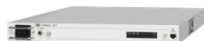


図 4 信号集約装置

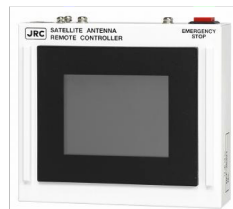


図 5 リモコン装置



図 6 移動型電源供給システム

する東経 162 度に位置する Superbird-B2[4] であり、周波数帯は、Ku バンドを利用する。

利用フロー (図 7) としては、事務職員に事務処理、技術職員が技術フォローができる体制とした。利用料金はガソリン代と通信料金が受益者負担となっている。

### 3. 動作確認と検証

#### 3.1 内容

2 アドホック型衛星インターネットシステムの実運用にむけて、動作確認・検証を奈良県吉野郡十津川村の携帯電話による通信が困難とされる限界集落を町役場職員に指定してもらい実施した。

##### (1) 動作確認

- (a) 日時：2014 年 6 月 20 日 (金) 14:00 - 17:00
- (b) 場所：a. 山水 (旅館) 駐車場 (図 8)
- (c) 天候：晴れ

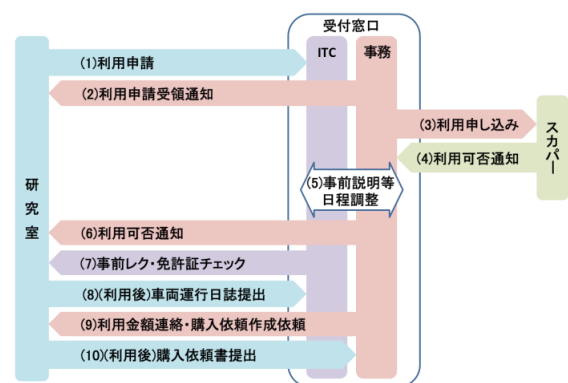


図 7 利用フロー

##### (2) 検証

- (a) 日時：2014 年 6 月 21 日 (土) 9:30 - 12:00
- (b) 場所：b. 檜原 (図 8)
- (c) 天候：曇り一時雨

検証時に 5 分程度の小雨があったが、影響のない範囲で

あった。

### 3.2 動作確認・検証環境

2 アドホック型衛星インターネットシステムを活用し、スカパー JSAT が提供するネットワーク環境下における PC・TV 会議システムおよび動作確認・検証現場と接続先である本学間を VPN 接続した IP 携帯電話等の動作確認・検証を実施するための環境 (図 9) を構築した。図 9 の動作確認・検証現場で使用した構成機器を以下に示す。

- (1) 無線ルータ 1 台  
バッファロー社製 AirStation WZR-1750DHP2
- (2) モバイル端末 1 台  
Apple 社製 iPad Retina ディスプレイ Wi-Fi モデル  
64GB MD515J/A
- (3) PC 2 台  
Apple 社製 Mac Book Pro  
OS : 10.9.3, CPU : 2.4GHz Intel Core i7  
メモリ : 8GB 1333MHz DDR3  
Lenovo 社製 ThinkPad T60  
OS : Windows7 Enterprise 32bit SP1
- (4) TV 会議システム 1 台  
Polycom 社製 HDX4002
- (5) 無線基地局 1 台  
Aruba 社製 RAP2 (動作確認時), RAP5 (検証時)
- (6) IP 電話 1 台  
NEC 社製 NTT ドコモ N-02C  
本学側で使用した構成機器を以下に示す。
  - (1) PC サーバ 1 台  
Sun Ultra M2  
OS Solaris10, メモリ : 8GB  
CPU : AMD Opteron 2220 2CPU x 2core 2.8GHz
  - (2) TV 会議システム 1 台  
Polycom 社製 HDX8000
  - (3) 無線基地局 1 台  
Aruba 社製 AP135
  - (4) 無線コントローラ 1 台  
Aruba 社製 Aruba6000
  - (5) IP 電話 1 台  
NEC 社製 NTT ドコモ N-02C

### 3.3 動作確認と検証

3.1 内容で記載した日時・場所・天候のもと動作確認・検証をおこなった。

#### 3.3.1 動作確認

- (1) TV 会議システムの通信確認

アドホック型衛星通信システムによりスカパー JSAT



図 8 動作確認・検証場所 \*1

から提供されたネットワークと接続した TV 会議システム (Polycom HDX4002 以下, 十津川ポリコム) と NAIST 側に設置した TV 会議システム (Polycom HDX8000 以下, NAIST ポリコム) との通信確認をおこなった。まず, 十津川ポリコムから NAIST ポリコムにコールをし接続は確立したが, NAIST ポリコムでは, 映像・音声を確認でき, 十津川ポリコムでは, 映像・音声を確認できなかった。NAIST ポリコム側から十津川ポリコムへの通信不可であり, 衛星通信事業者の制御局側が提供するネットワーク環境が NAT 環境であることが原因であると推測した。

- (2) IP 電話通話確認

Aruba RAP2 で実現した学内の無線ネットワークに IP 携帯電話 (N-02C) を接続した。通話開始時は, 5 秒ほどの遅延で音声が届くため会話が成立しなかったが, 通話を続けているうちに遅延が解消されることを確認した。

(1), (2) のいずれの場合においても, 今回の運用試験で利用した自律式 VSAT は, スカパー JSAT による EsBird サービス [5] の仕様に準拠して製作されているため, 通信量により帯域を増減させる BOD (Bandwidth On Demand) 機能 [6] による通信開始時の帯域不足を確認した。iPad から YouTube を閲覧し, 受信帯域を確保する一方, 送信帯域の確保についても, 現地から NAIST 側にファイル転送を実施し確保した。その際の最大回線速度は, 送信 : 128kbps, 受信 : 512kbps (横浜衛星管制センターの衛星回線情報) であった。

#### 3.3.2 検証

検証場所 (図 8) にシステム搭載車を停車させた後, 事前チェックとして衛星システム車上のアンテナ固定箇所及び

\*1 Google-地図データ

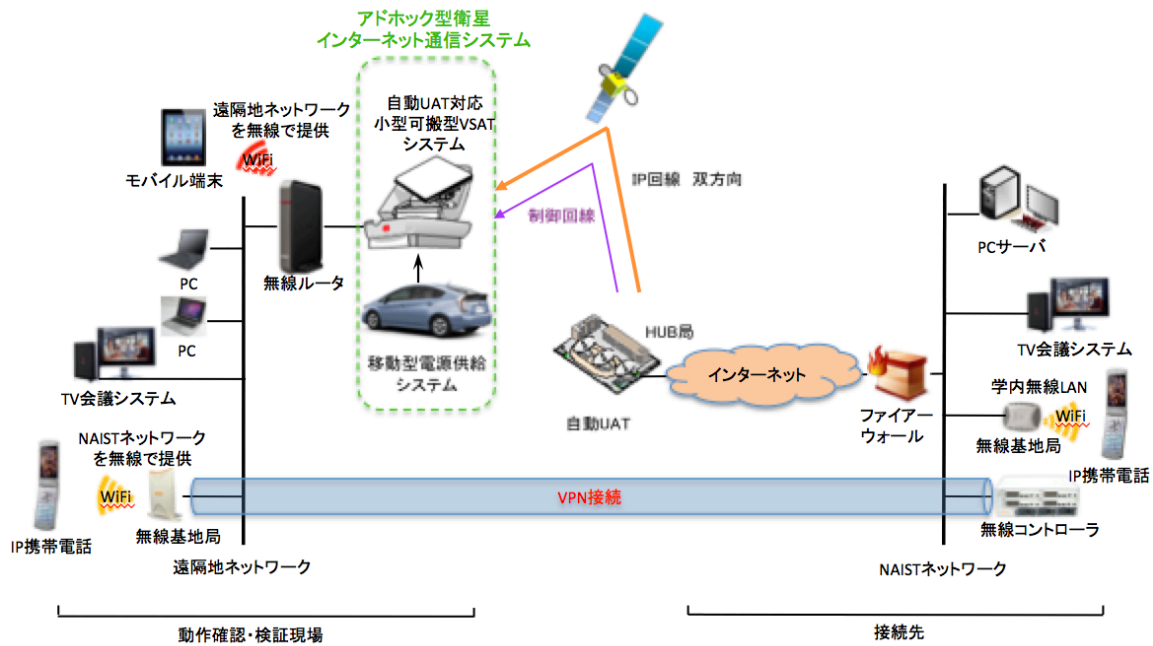


図 9 動作確認・検証環境

ケーブルの緩み等がない事と衛星通信システム本体も長時間運搬による機器不具合等がない事を確認した。その後、自動 UAT をおこない衛星捕捉完了後、6月20日（金）と同様な動作確認・検証環境（図 9）で以下のことを確認した。6月20日（金）に実施した動作確認環境で構築した構成機器との違いは、動作確認・検証現場に設置した学内との VPN 接続用無線基地局として、Aruba RAP5-WN を使用し遠隔地ネットワークの接続機器のポート数を確保したことである。

(1) 帯域測定

動作確認・検証現場（図 9）の PC 2 台より接続先である学内の PC サーバ (ftp サーバ・netserver:version2.4) にファイル送受信を実施し帯域の平均を以下のように算出した。動作確認・検証現場の PC2 台は、スカパー JSAT 側が提供しているネットワーク環境に有線接続および無線ルータ (Buffalo AirStation WZR-1750DHP2) を介して無線接続した。

(a) ftp

- (i) Mac Book Pro : 214.8 kbps  
無線 : 10MB ダウンロード 3 回分の平均
- (ii) Mac Book Pro : 544.2 kbps  
有線 : 10MB ダウンロード 12 回分の平均
- (iii) ThinkPad T60 : 132.8 kbps  
無線 : 1MB ダウンロード 3 回分の平均
- (iv) ThinkPad T60 : 284.6 kbps  
有線 : 1MB ダウンロード 3 回分の平均

(b) netperf(version2.4)

- (i) Mac Book Pro : 50 kbps (無線)

- (ii) ThinkPad T60 : 120 kbps (無線)
- (iii) ThinkPad T60 : 170 kbps (有線)

(2) TV 会議システム

6月20日に実施した動作確認の際に、NAIST ポリコム側から十津川ポリコムへの通信不可であったので、動作確認・検証現場側（図 9）のネットワーク環境について NAT 環境のパラメータを変更したが、現象は改善されなかった。回線速度が 384kbps k 以上だと、十津川ポリコムの映像・音声は、NAIST ポリコム側にスムーズに送信された。

(3) IP 電話

回線速度が 384kbps 以上であると遅延は解消された。

(4) 回線速度

変復調装置内蔵のモデムに接続し、GUI より回線速度の状況を確認した。動作確認・検証現場側（図 9）のネットワークに有線接続した複数の PC および無線接続した iPad よりデータの送受信をおこない、回線速度を確保した。回線速度が、送信速度で 32kbps から 1536kbps に、受信速度で 64kbps から 2048kbps にあがったことを確認した。

3.3.3 検証結果

(1) TV 会議システム

スカパー JSAT が提供する EsBird サービス準拠のインターネット接続サービスでは、利用者側のネットワークとして NAT 環境が提供されており、TV 会議システムの片方向通信が不可であった。

(2) 回線速度

BOD (Bandwidth On Demand) 機能より、回線速度

が徐々にしか上がらず現場運用試験（TV 会議通話試験）及び IP 電話通話試験においては機器が通常通信するまでに時間を要した。BOD 機能は通信量に応じて 20 秒おきに衛星通信の回線帯域を変化させる機能である。使用帯域が広がれば問題なく運用可能であったがデータ量が減ってしまうと徐々に回線速度が下がっていくことが運用上のデメリットである。

## 4. 問題点と考察

本章では、以下の項目を技術面における評価指標と定義し、それぞれの問題点を整理する。

- (1) ネットワーク環境
- (2) 回線速度
- (3) 今後の利活用

### 4.1 ネットワーク環境

TV 会議システムの映像受信を確認することが出来なかったが、利用者側のネットワーク環境として NAT 環境が提供されていることが原因であると推測している。TV 会議システムと同様な通信をおこなうサービスについては通信不可となる可能性があるため、原因特定作業が必要である。

### 4.2 回線速度

OD 機能により、回線速度の帯域確保に時間がかかるため、IP 電話に関しては通話開始から 1 分程度は音声通信がほとんどできなかった。また、未使用時には帯域が低下することも問題であり、被災直後の IP 電話・TV 会議システムのストレスない使用は必要である。そこで、2014 年 8 月 21 日に三重県伊賀市西湯舟 3609 の伊賀の里モクモク手作りファーム第 2 駐車場でスカパー JSAT 協力のもと BOD 機能設定をオフにし、2Mbps という固定帯域で十津川村で実施した動作確認・検証環境（図 9）と同じ環境で動作確認をおこない、IP 電話・TV 会議システム（片方向のみ）に問題ないことを確認した。

### 4.3 今後の利活用

アドホック型衛星通信システムは、災地やデジタルデバイス（情報格差）地域においては有効な通信手段となりうるが、車での運搬のみならず、非常時にはヘリコプターでの運搬も有効であり、システムの活用場面を再検討する必要がある。

一方、平常時においては、他組織の固定 VSAT 地球局と連携した独自ネットワーク構築やそのネットワーク上でのサービス提供も検討する必要がある。

### 4.4 考察

衛星通信には地球局におけるアンテナ角度調整や衛星通

信事業者の制御局との疎通確認試験が必要であり、これらを簡単な操作で自動でおこなえることは被災地で災害対応する人々にとって有効である。また、被災地における機器の電源供給にハイブリッド車を利用することも有効であり、被災状況によっては、機器の運搬手段としても活用できる。ただ、地球局および衛星通信はコストが高く、非常時のみの利用となると、あらゆる組織での利用促進が難しく、平常時利用について検討を進めることによるコスト低減を検討する必要がある。

## 5. まとめ

甚大な災害発生直後には情報インフラも壊滅状態になり、被災地における情報発信・収集は困難な状況になる。その際に、衛星通信を利用することは有効な代替通信手段である。今後については、本システムの医療現場における利活用について検討を進める予定である。

**謝辞** 本研究の核である、VSAT 地球局の開発・衛星通信サービスの調整等で御協力頂いたスカパー JSAT 株式会社 瀬尾淳様、築谷敦之様、外山祥子様、古川操様、日本無線株式会社 菊田徹様、石田克義様、伊東厚様ならびに、本研究のデータ収集やシステム運用で御協力頂いた、奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター 佐藤由章様、小山琢也様、多田克幸様、衣川俊二様、米澤明生様、宮内英仁様に謹んで感謝の意を表する。

## 参考文献

- [1] 生駒市 危機管理課：地震ハザードマップ，入手先 <http://www.city.ikoma.lg.jp/kashitsu/02600/06/documents/bousaijyouthou.pdf>（参照 2015.01.29）
- [2] 総務省：災害時に簡易な操作で設置が可能な小型地球局（VSAT）の研究開発，入手先 [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000256332.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000256332.pdf)（参照 2015.01.31）
- [3] Wikipedia：VSAT システム 入手先 <http://ja.wikipedia.org/wiki/VSATシステム>（参照 2015.01.31）
- [4] スカパー JSAT：Superbird-B2 入手先 <http://www.jsat.net/jp/contour/superbird-b2.html>（参照 2015.01.31）
- [5] スカパー JSAT：防災プラットフォームサービス EsBird とは 入手先 [http://www.jsat.net/jp/satellite/esbird/esbird\\_whats.html](http://www.jsat.net/jp/satellite/esbird/esbird_whats.html)（参照 2015.01.31）
- [6] ekouhou.net：衛星通信システム及び衛星通信地球局入手先 <http://www.ekouhou.net/衛星通信システム及び衛星通信地球局/disp-A,2007-201778.html>（参照 2015.01.31）