

## 衛星通信回線を利用したリアルタイム地震動伝達に関する研究\*

東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 柴山明寛  
総務省消防庁消防大学校消防研究センター 細川直史  
東北大学大学院工学研究科建築学専攻 三辻和弥  
東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 大野 晋  
東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 源栄正人

### 1. はじめに

大規模地震災害では、本震による直接被害だけではなく、余震による2次災害にも注意が必要である。特に救援救助活動を行う消防隊員などは、危険な場所で作業をしなくてはならず、余震による怪我や生き埋めなどの危険に常にさらされている。余震をいち早く把握するためには、既存の地震観測網からの余震情報と現場にテンポラリーに設置するP波検知システムがある。前者は、本震の被害により通信途絶などが起る可能性があり、余震情報を伝えられない可能性がある。後者に関しては、P波到達からS波到達までの余裕時間があまり取れない欠点がある。

そこで本実験では、既存の通信網の通信途絶を想定した衛星通信回線を用いた地震動波形データの伝達の検証を行う。また、本実験では、次世代地震観測網を想定して、リアルタイムに地震動波形を伝達する実験を行う。

### 2. 実験概要

#### 2.1 実験概要

本実験では、東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センターが運用している地震観測点の一つである石巻市牡鹿総合支所の観測点<sup>1)</sup>から技術試験衛星のETS-VIIIを経由して東北大学青葉山キャンパス総合研究棟まで地震動波形を伝達する実験を行った。石巻市牡鹿総合支所の観測点は、30年以内に地震が発生する確率が99%と最も高い宮城県沖地震<sup>2)</sup>の震源から最も近い陸地に位置しており、宮城県沖地震発生後に最も早く地震発生情報を送ることが可能な場所である。この石巻市牡鹿総合支所の観測点からリアルタイムに観測した地震動波形データを時々刻々と東北大学総合研究棟までリアルタイムに地震動波形を伝送させる実験を行い、衛星通信で可能なデータ転送量、及び通信遅延の度合いの検証を行った。

#### 2.2 技術試験衛星ETS-VIII(きく8号)の概要

技術試験衛星ETS-VIII(きく8号)は、災害時の利活用等を目的に2006年末に独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打ち上げた技術試験衛星である。ETS-VIIIは、通信機能と高精度時刻基準装置を用いた測位が可能であり、山間部や海上など地上交換局がない場所での利用の他、災害時の緊急車両の運行や被災者救援の迅速化などが期待される衛星である<sup>3)</sup>。通信機能には、Sバンドの2.5GHzの通信帯域を利用しており、最大1.5Mbpsの通信が可能である。本実験では、この通信機能を利用して実験を行う。

\*A study on real-time ground motion waveform transmission using satellite communication channel

by Akihiro SHIBAYAMA, Masafumi HOSOKAWA, Kazuya MITSUJI, Susumu OHNO, Masato MOTOSAKA

### 2. 3 実験機材

図1に実験構成図を示す。送信側の牡鹿総合支所では、DAQ Systems社製のMEMSセンサーを内蔵した3軸加速度計(3ch)を3台、同じくDAQ Systems社製の分解能24bit(120dB)のA/D変換機を1台用意して行った。A/D変換機と配信用PCとの接続にはUSBで接続を行い、配信用PCを経由して衛星通信端末から地震波形を転送することとした。衛星通信端末と配信用PCとの接続には、直接LANケーブルで接続を行った。受信側の東北大学総合研究棟に関しては、衛星通信端末と受信用PCをLANケーブルで接続し、受信用PCで地震波形を受信することとした。実験では、パケットの流れの状況を確認するために配信用PCと受信用PCの両方にNetwork Protocol AnalyzerのWIRE SHARK Version1.2.4を用いてパケットの送受信の状況の把握を行った。

衛星間の通信速度は、送信側の牡鹿総合支所を384kbp、受信側の東北大学総合研究棟を64kbpsの通信速度で行った。衛星通信を行うためのパラボラアンテナに関しては、送信側の牡鹿総合支所においては建物の3階のベランダに90cmのパラボラアンテナを設置し、受信側の東北大学総合研究棟では11階の非常階段の踊り場に60cmのパラボラアンテナを設置した。牡鹿総合支所に関しては、袖壁や庇の関係でアンテナの有効面積が3/4程度しか使えない状況であったが、Tx PWR Levelがある程度取れたため、そのまま実験を行った。

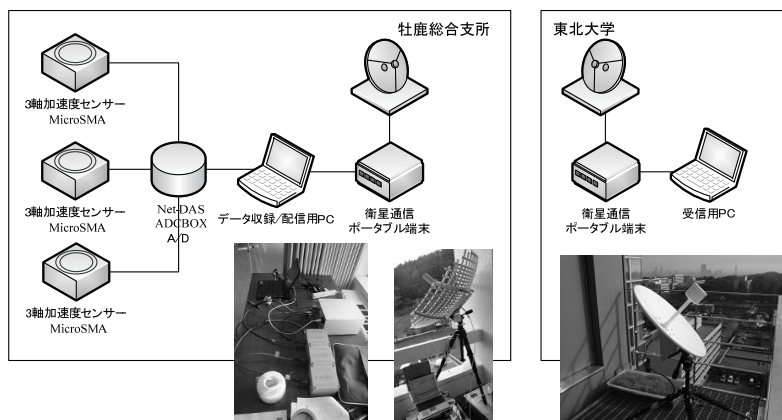


図1 実験概念図

### 2. 4 実験方法

本実験では、衛星通信のデータ量を変化させるためにA/D変換機で読み取るチャンネル数(3ch, 6ch, 9ch)及びサンプリングレート(100Hz, 200Hz, 400Hz)を変更し、表1の実験パターンで実験を行った。仮想18ch, 仮想36chに関しては、本実験で使用した機材において9ch以上のチャンネル数を増やすことができなかったため、9chを200Hzのサンプリングレートで計測することで仮想18chを作りだし、9chを400Hzのサンプリングレートで仮想36chを作り出した。表1のSky-Xとは、TCPの通信を長距離高速通信に適したプロトコル(XTP: Xpress Transport Protocol)に変換して、転送処理を向上させるアクセラレータである。本実験では、アクセラレータの有無の違いの実験も行った。また、サンプル/パケットとは、TCPで送るためのパケットサイズで一回に送る地震波形データのサンプル個数を示したものである。本実験では、1パケット20サンプルとして行った。

実験では、3軸加速度計で常時微動観測を行い、その波形を伝達することとし、各実験パターンを10分間

の計測を3セットで行った。

表1 実験パターン

ch数	サンプリングレート	Sky-X	サンプル/パケット (サンプル秒数)	通信時間×回数
3ch	100Hz	無	20(0.2sec)	10分×3セット
6ch	100Hz	無	20(0.2sec)	10分×3セット
9ch	100Hz	無	20(0.2sec)	10分×3セット
9ch (仮想18ch)	200Hz	無	20(0.1sec)	10分×3セット
9ch (仮想36ch)	400Hz	無	20(0.05sec)	10分×3セット
3ch	100Hz	有	20(0.2sec)	10分×3セット
6ch	100Hz	有	20(0.2sec)	10分×3セット
9ch	100Hz	有	20(0.2sec)	10分×3セット
9ch (仮想18ch)	200Hz	有	20(0.1sec)	10分×3セット
9ch (仮想36ch)	400Hz	有	20(0.05sec)	10分×3セット

### 3. 実験結果

実験結果を表2に示す。気象庁等の地震観測に使用される地震計は、X軸、Y軸、Z軸の3成分(3ch分)で構成され、サンプリングレートは100Hzとなる。本実験では、3ch、100Hzサンプリングの波形伝送ではデータ欠損は起きず、遅延も1秒程度と実運用上において問題無いことがわかった。負荷実験では、アクセラレータ無し(Sky-X無し)の状態で9ch分の波形伝送までは、データ欠損等も起きず問題無いことがわかった。しかし、9ch、200Hzサンプリング(仮想18ch分)では、28.1%のデータ欠損が発生し、9ch、400Hzサンプリング(仮想36ch分)では、半分以上のデータ欠損することがわかった。原因に関しては、転送中のパケットロス及び伝送遅延の問題が原因であった。アクセラレータ有り(Sky-X有り)に関しては、9ch、400Hzサンプリング(仮想36ch)まで問題無く波形伝送が可能であることがわかった。参考として、9ch、200Hzサンプリング(仮想18ch分)のアクセラレータ有り無しの比較を図2に示す。

表2 通信実験結果

ch数	サンプリングレート	Sky-X	データ欠損率	平均スループット(kbps)	
				牡鹿→東北大	東北大→牡鹿
3ch	100Hz	無	0%	20.8	1.0
6ch	100Hz	無	0%	41.6	1.8
9ch	100Hz	無	0%	62.8	2.3
9ch (仮想18ch)	200Hz	無	28.1%	89.1	3.3
9ch (仮想36ch)	400Hz	無	60.2%	95.9	3.3
3ch	100Hz	有	0%	21.5	2.0
6ch	100Hz	有	0%	42.2	2.5
9ch	100Hz	有	0%	63.0	3.0
9ch (仮想18ch)	200Hz	有	0%	126.2	4.8
9ch (仮想36ch)	400Hz	有	0%	250.9	8.8

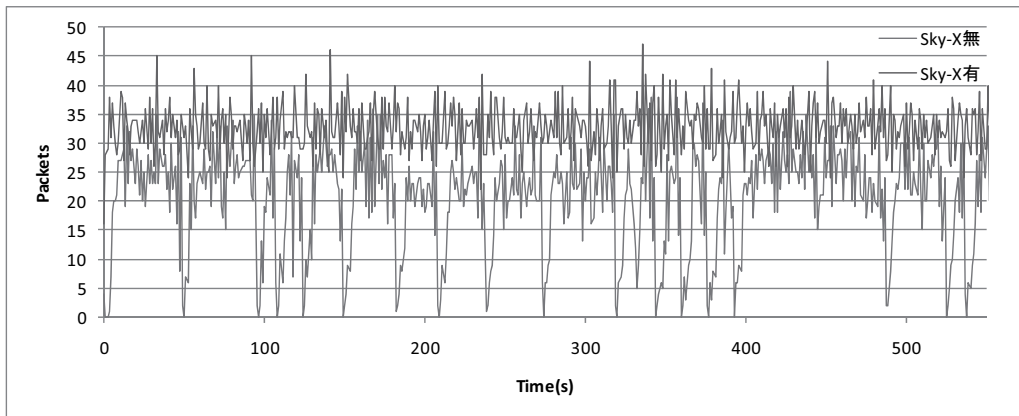


図2 Sky-X有無の違いによるパケット送信数の比較 (9ch, 200Hz)

#### 4. まとめ

本実験では、石巻市牡鹿総合支所の観測点からリアルタイムに観測した地震動波形データを時々刻々と東北大学総合研究棟までリアルタイムに地震動波形を伝送させる実験を行い、衛星通信で可能なデータ転送量、及び通信遅延の度合いの検証を行った。本実験結果から大量のデータを送るにはパケット伝送を効率化するアクセラレータが必要とわかり、送信側の通信速度が384kbps程度確保できれば、最大12個の地震計を一つの通信端末で送信が可能であることがわかった。また、3ch分の転送に関しては通信遅延も1秒程度と実用に耐えられる性能があることがわかった。今後は、パケットサイズを変更による検証及びADSL、無線LANなどの様々な通信回線を用いた検証等を行う予定である。

#### 謝辞

本実験では、石巻市牡鹿総合支所、及びETS-VIII利用実験実施協議会、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)、社団法人電波産業会(ARIB)に多大なるご協力をいただいた、ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 源栄正人, 本間 誠, セルダル クユク, フランシスコ アレシス: 構造ヘルスマニタリングと緊急地震速報の連動による早期地震情報統合システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第28号, pp.675-680, 2008
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 活断層で発生する地震および海溝型地震の発生確率値の更新前後の比較(算定基準日平成22年(2010年)1月1日), [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10jan\\_kakuritsu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10jan_kakuritsu/index.htm), 2009.1.9 参照
- 3) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA) 技術試験衛星VIII型「きく8号」: [http://www.jaxa.jp/projects/sat/ets8/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/ets8/index_j.html), 2009.1.9 参照