

第 8 部

衛星通信によるネットワーク構築実験

第 1 章

研究の背景と目的

インターネットの普及に伴って、使用者のインターネットへの接続性に対する要求が高まってきている。これに対して、従来の使用者に対する接続性であるアナログ電話回線や ISDN 回線は、帯域が少なく、使用者の要求を十分にまかなえるものではない。こうした背景から、インターネット上の通信路に衛星回線を使用する方法が注目されている。

また、インターネットの世界的な広がり、インターネットへの広帯域な接続性に対する要求を持つ国や地域を増加させている。従来インターネットへ広帯域な接続性を持つ国は米国や日本などに限られており、アジア諸国などの発展途上の国々は、狭帯域な地上回線によって細々と接続されていた。

現在こうした国々においても、インターネットへの広帯域な接続性に対する要求が高まっているが、コストの制約や地理的条件から、高速な地上回線を整備することが困難であることが多い。

こうした国々へ、インターネットへの高速な接続性を提供する手法として、衛星回線が注目されている。衛星回線の敷設は、地上回線より地理的な制約が少なく、島嶼や山岳地帯などの地域に容易にネットワークの接続性を提供することができる。

このような背景から、将来非常に多くの使用者が、インターネット上の通信路として衛星回線を使用することになると考えられる。

現在インターネットでは、従来の IP version4 より規模性を持ち、性能を向上させた、IP version6[42] への移行が開始されている。衛星回線上に構築されるネットワークでも、この新しい IP version6 を使用してネットワークを構築することが必要であるが、衛星回線と IP version6 との親和性に関する実験は、行われていない。

本年度は、IP version6 を衛星回線上で使用するための実験を行った。

2章では、衛星回線上での IP version6 通信の導通実験について述べる。3章では、衛星回線上での IP version6 通信と、運用する際の問題である高負荷耐性、降雨減衰との関係についての実験について述べる。

4章では、まとめを述べる。

第 2 章

衛星回線 IPv6 導通実験

2.1 概要

IP version4 から IP version6 への移行の初期段階では、IP version6 のネットワークは IP version4 ネットワーク上にトンネリング等を用いて実現される。しかし、IP version4 ネットワークは規模性に乏しいため、IP version4 のネットワーク上で IP version6 ネットワークを実現する方法は、移行初期段階でしか有効ではない。移行の中期段階以後では、IP version6 でホスト同士を直接接続し通信を行うようにネットワークを構築してゆく必要がある。これを、以降 IP version6 直接接続と呼ぶ。

地上回線での IP version6 直接接続に関する実験は数多く実施され、様々な通信路上で IP version6 直接接続を行い通信が可能であることが確認されている。しかし衛星回線では、IP version6 直接接続についての実験は行われていない。

本年度は、衛星回線上で IP version6 直接接続を行うための導通実験を行った。

2.2 実験の構成

実験は、図 2.1 に示すネットワークを構築して行った。衛星通信設備には、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) に設置された 1.8m アンテナを使用した地上局と、同じく慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) に設置された 75cm アンテナを使用した可搬地球局を使用した。

図中の PC1、PC2 の構成は、表 2.1 の通りである。IP version6 の実装には、KAME のものを使用した。衛星回線の地上局 (GroundStation1, GroundStation2) の設定は、表 2.2 の通りである。表中の、GroundStation1 は 1.8m アンテナを持つ局、GroundStation2 は 75cm アンテナを持つ局である。

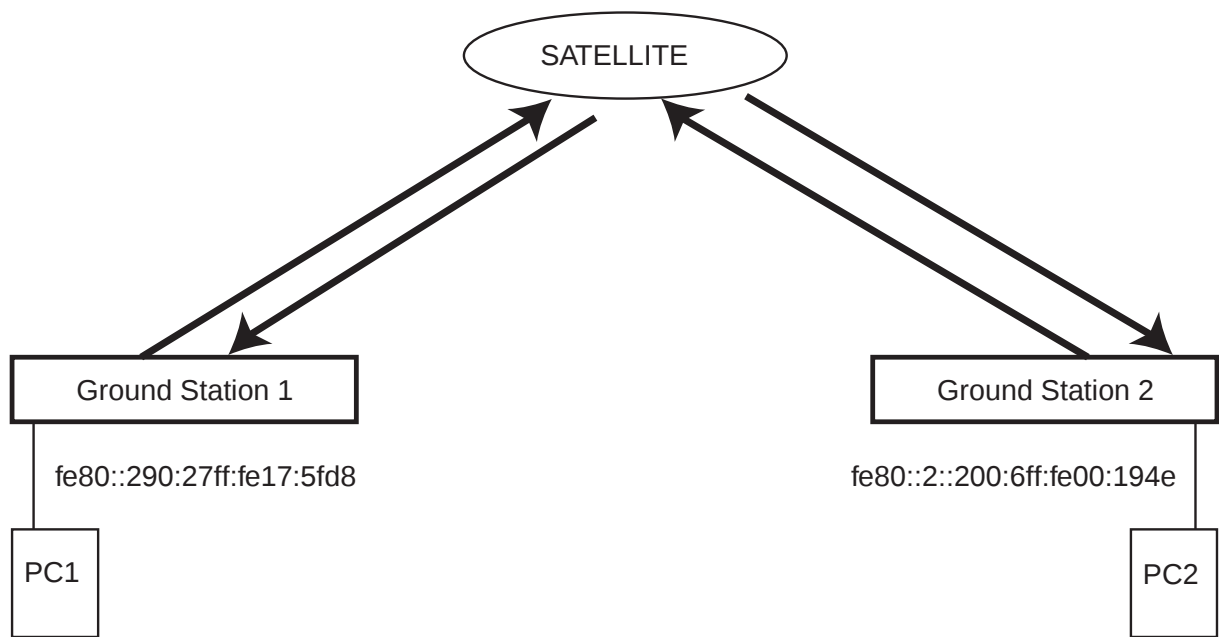


図 2.1: 導通実験トポロジー図

表 2.1: PC の構成

OS	FreeBSD 2.2.7-Release
IPv6 Stack	KAME (kame-19981130-fbsd227-stable)
CPU	Celeron 400MHz
I/F	Riscom/N2 ISA

2.3 実験の手順と結果

PC1, PC2 とも、Riscom/N2 を使用し、HDLC を用いてリンクローカルの point-to-point の接続性を確立した。このときの PC1 のインターフェースの設定を、表 2.3 に示す。PC2 は、PC1 とアドレス以外の構成はすべて同一である。

実験は、PC1 から PC2 に対してパケットを送信し、その到達性を確認することによって行った。パケットの送受信の確認には、ping6 コマンドを使用した。この結果を、2.4 に示す。

以上のことから、現在使用しているハードウェア、ソフトウェア上で、point-to-point の IP version6 直接接続が実現されたことが確認できた。

表 2.2: 地上局の構成

	送信チャンネル	受信チャンネル	変調方式	情報速度
GroundStation1	12880ch	12800ch	QPSK3/4	2048Kbps
GroundStation2	12800ch	12880ch	QPSK3/4	2048Kbps

表 2.3: PC1 でのインターフェースの設定

```
pc1# ifconfig sr0
sr0: flags=c050<POINTOPOINT,RUNNING,LINK2,MULTICAST> mtu 1500
    inet6 fe80::290:27ff:fe17:5fd8 --> fe80:2::200:6ff:fe00:194e prefixlen
    64
```

表 2.4: pc1 から pc2 への ping6

```
pc1# ping6 fe80:2::200:6ff:fe00:194e
PING6(56=40+8+8 bytes) fe80::290:27ff:fe17:5fd8 --> fe80:2::200:6ff:fe00:194e
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=0 hlim=64 time=504.513 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=1 hlim=64 time=504.321 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=2 hlim=64 time=504.291 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=3 hlim=64 time=504.29 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=4 hlim=64 time=504.21 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=5 hlim=64 time=504.192 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=6 hlim=64 time=504.98 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=7 hlim=64 time=504.114 ms
16 bytes from fe80:2::200:6ff:fe00:194e, icmp_seq=8 hlim=64 time=504.744 ms
```

第 3 章

高負荷実験・降雨減衰耐性実験

3.1 概要

衛星回線では、降雨などによる電波の減衰によって、通信が途絶するなどの可能性がある。実際に AIII などて運用する衛星回線は、日本の地上局との対地局が東南アジアの多雨地域に属するため、この降雨減衰による通信障害は大きな問題である。

減衰に対する通信の耐性は、使用するハードウェア、ソフトウェアに依存する部分が多い。このため、1で述べた IP version6 直接接続された衛星ネットワーク上で、降雨減衰が起きたことを想定し、運用上の問題点を発見するための実験を行った。

また、衛星回線の運用上では、回線に対して高い負荷がかかる状況が想定される。こうした状況下での IP version6 直接接続された衛星ネットワークでの高負荷耐性を調査するための実験を行った。

3.2 実験の構成

実験は、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) と、奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST) との間で行った。

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) に設置された地上局と、奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST) に設置された地上局を用い、この上に IP version6 直接接続されたネットワークを敷設し、この上で高負荷耐性実験、降雨減衰耐性実験を行った。

実験ネットワークのトポロジを、図 3.1に示す。

また、このときの PC1, PC2 の構成を表 3.1に示す。

3.3 実験の手順と結果

高負荷耐性実験は、PC から大きいサイズの packets を連続して送信し、この packets ロスを計測することによって行った。

実験では、NAIST 側地上局に設置された PC2 と、SFC 側地上局に接続された PC1 から、ping6 コマンドを使用して packets サイズ 1500byte の packets を送信した。packets は 10

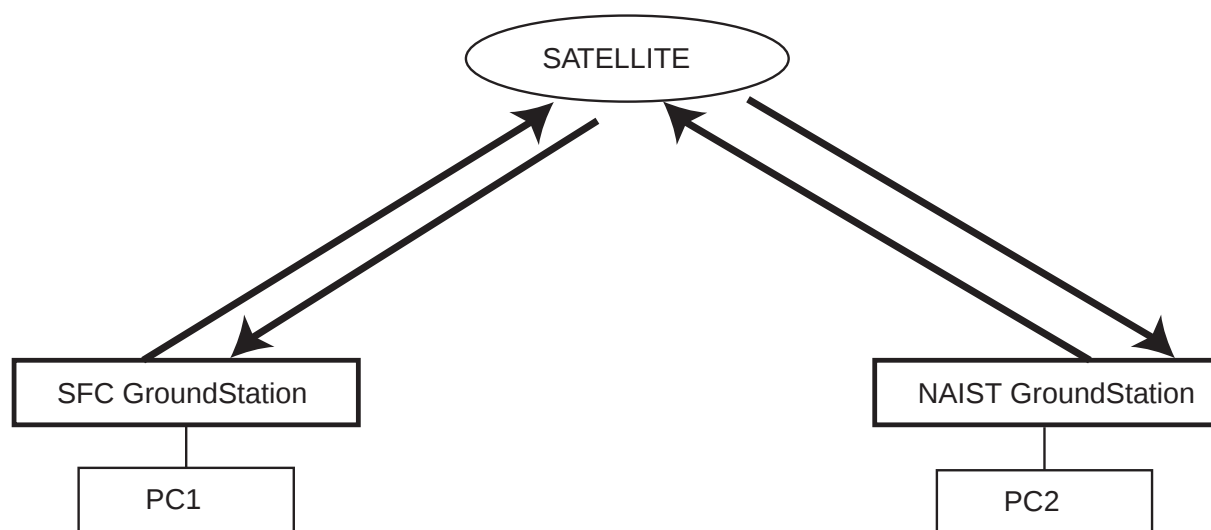


図 3.1: 高負荷耐性・降雨減衰耐性実験トポロジー図

表 3.1: PC の構成

	OS	IPv6 Stack	I/F
PC1	FreeBSD 2.2.7-Release	KAME (kame-19981130-fbsd227-stable)	Riscom/N2 ISA
PC2	FreeBSD 2.2.7-Release	KAME (kame-19981130-fbsd227-stable)	Riscom/N2 PCI

分間連続して送信され、この時パケットロスを計測した。

この結果、衛星回線上のパケットロスはほとんど計測できなかった。
このことから、この実験のネットワーク構成を使用して高い負荷のかかるネットワークを運用することが可能であることがわかった。

減衰耐性実験では、人為的に電波の減衰した状態を作りだし、PC 上のインターフェースの状態を計測した。

降雨減衰を人為的に作り出すために、SFC 側・NAIST 側双方の電波送信出力を漸減させ、電波による捕捉が失われたり回復したりする状況が頻発する状態を作り出した。実験では、電波捕捉がおおむね 10 秒に 1 度の割合で失われたり、回復したりする状態まで電波出力を低下させた。この状態は、降雨減衰による電波の障害状態と近似の状態である。

この状態で、PC2 上での衛星回線に接続された衛星回線の状態を監視した。

図 3.2は、この時のインターフェースの状態を監視したものである。

減衰状態での通信中は、インターフェースの up/down が頻発することがわかる。

表 3.2: インターフェース状態の遷移

```
Nov 16 11:44:32 pc2 /kernel: sr0: promiscuous mode enabled
Nov 16 11:47:08 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 11:47:36 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 11:50:38 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 11:51:46 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 11:59:06 pc2 /kernel: sr0: promiscuous mode enabled
Nov 16 12:01:28 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 12:01:56 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 12:03:58 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 12:04:27 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 12:05:38 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 12:06:17 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 12:10:23 pc2 su: masa to root on /dev/ttyd0
Nov 16 12:11:38 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 12:11:57 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 12:20:18 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 12:20:37 pc2 /kernel: sr0: up
Nov 16 12:20:37 pc2 /kernel: sr0: RX DMA Counter overflow,
                    rxpkts 94819.

~~~~~動作不能になる
Nov 16 12:21:08 pc2 /kernel: sr0: down
Nov 16 12:30:34 pc2 /kernel: sr0: promiscuous mode enabled
Nov 16 12:30:44 pc2 /kernel: sr0: down
```

このときに、NAIST 側で使用していたインターフェースでは、up/down を繰り返すとインターフェースが動作しなくなる問題がたびたび発生した。

SFC 側で使用していたインターフェースでは、インターフェースが動作不能になる問題が数回発生したが、NAIST 側 PC より数は少なかった。

このことから、現在の IP version6 の実装を用いたネットワークの構成で降雨減衰が発生した場合、インターフェースとして用いるハードウェアと、ドライバによる安定性の問題が大きいことがわかった。

第 4 章

まとめ

現在、衛星回線を利用したインターネットの構築に対する要求は高い。また、新しいネットワーク層プロトコルである IP version6 の導入に対する要求も高い。これらのことから、衛星回線での IP version6 ネットワークの構築は急務であるといえる。

本年度 WISH WG では、衛星回線での IP version6 ネットワークの構築のための基礎的な調査と実験を行い、これらの実現性と、実現した場合の運用上発生するであろう問題についての知識と技術の蓄積を得た。

今後は、より大規模な衛星回線ネットワーク上で IP version6 ネットワークを構築し、様々なソフトウェア、ハードウェア環境やネットワーク環境の上での問題点を発見し、解決手法を研究する必要がある。

また、衛星回線の特徴を活かす IP version6 に対応したアプリケーションは現在存在しない。この開発も、今後の課題である。

