

北海道庁 企画振興部 IT 推進室 情報政策課御中

赤れんがギガネットを活用したブロードバンド基盤

実証実験

第 2 四半期（2005 年 4 月～2005 年 9 月）

中間報告書（案）

2005/09/30

特定非営利活動法人 北海道地域ネットワーク協議会

目次

1. 概要	2
2. 計測項目と結果	3
2.1. 赤れんが実証実験網の低負荷条件下の通信品質	4
2.2. インターネット回り経路の通信特性	6
2.3. 近似的な網における高負荷条件下の通信品質	8
3. 考察	13
3.1. 赤れんが実証実験網とインターネット回り経路との品質比較	13
3.2. 赤れんが実証実験網の広帯域伝送時の挙動に関する考察	14
3.2.1. 広域中継実証実験の準備・調整に関する考察	15
3.3. 今期の総合評価と今後の課題	16
4. 今後の実証実験予定	17
4.1. distix との相互接続(inter-domain MPLS-IX 接続)	17
4.2. 通信品質比較実証実験	17
4.3. 広域マルチメディアコミュニケーション通信品質実証実験	17
4.4. 広報	18
付録 A. 参考文献	19
付録 B. 用語解説	20
付録 C. 実施計画	23

1. 概要

本報告書では「赤れんがギガネットを活用したブロードバンド基盤実証実験」（以下「赤れんが実証実験」と略す）実施要領に基づいて、2005年4月から2005年9月まで実施した作業・実験した結果をまとめる。

赤れんが実証実験は、電気通信事業者のバックボーン回線が未整備な過疎地域のブロードバンド化促進を図ることを目的としている。

このような趣旨を考慮して、本実証実験では、はじめに MPLS バックボーンの構築を行い、その後、ブロードバンドコンテンツの配信、品質計測技術の検証などの実験を行うものとする。MPLS を用いて構築されたバックボーンは、高速なバックアップ経路の切り替えを備えた高品質なインフラを実現するとともに、複数のサービスを相互に干渉させずに提供するために不可欠な「多重化・階層化」に対応したブロードバンド基盤として機能する。

今期は、前四半期に構築した MPLS 網（以下「赤れんが実証実験網」）とインターネット回りの経路との通信品質比較、および本年9月22日に行われた「地域ネットワーク連携ワークショップ 2005 in 沖縄」イベント中継（広域中継実証実験）のトラフィックを利用して実施した広帯域通信が赤れんが実証実験網の通信品質に及ぼす影響についての検証から、可用（余剰）帯域と RTT（Round Trip Time：往復所要時間）の安定性と通信品質の相関ならびに安全に利用可能な帯域の推定に関する示唆が得られ、赤れんが実証実験網のような「北海道地域網」の効果的利用法の模索に関して端緒になったと考える。

また、広域中継実証実験から、「現在、実現可能な国内最長伝送区間における通信の基礎データ」「異なる運営組織のネットワークを階層的に接続して伝送路を構成する際の調整の要点と課題」「地域網の利用拡大に必要な広報・啓蒙活動」などの知見が得られた。

尚、今回の広域中継実証実験で伝送されるコンテンツの帯域は 25Mbps 程度が予定されていた為、貸与される帯域が上限 10Mbps である赤れんが実証実験網に代えて、HOTnet から別途「赤れんが実証実験網を模した網」（以後「近似的な網」と略す）を提供していただいて実証実験を実施した。

2. 計測項目と結果

今期は、北海道大学 – 稚内北星学園大学間において以下の計測ツール（表 1 参照）を使用し、①「赤れんが実証実験用 MPLS 網（以下「赤れんが実証実験網」と略す）の低負荷条件下での通信品質」と、②「インターネット回り経路の通信品質」を計測した。

更に、9月22日（木）に行われた「地域ネットワーク連携ワークショップ 2005 in 沖縄」の高精細画像中継トラフィックを利用して③「(近似的な網における) 高負荷条件下での通信品質」を計測し、その「赤れんが実証実験網」への影響の推定に供した。（図 1 参照）

以下に計測結果を示す。

使用計測ツール	計測用途
Pathrate	可用帯域計測
SmokePing	RTT（往復所要時間）計測
MRTG	通信量計測

表 1 使用計測ツールと用途

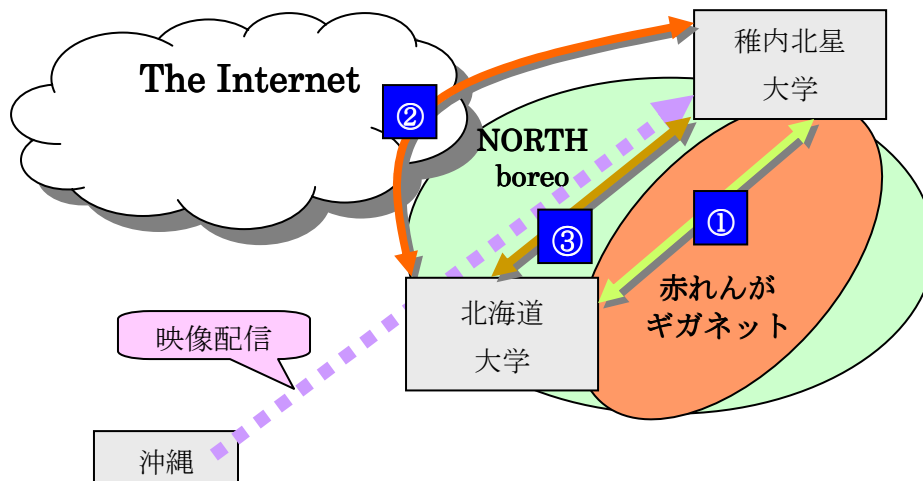


図 1 計測した通信経路

2.1. 赤れんが実証実験網の低負荷条件下の通信品質

赤れんが実証実験用 MPLS 網の低負荷条件下での計測結果を以下に示す。(図 1 経路①)

※稚北＝稚内北星学園大学、北大＝北海道大学

可用帯域計測結果は図の通りである。

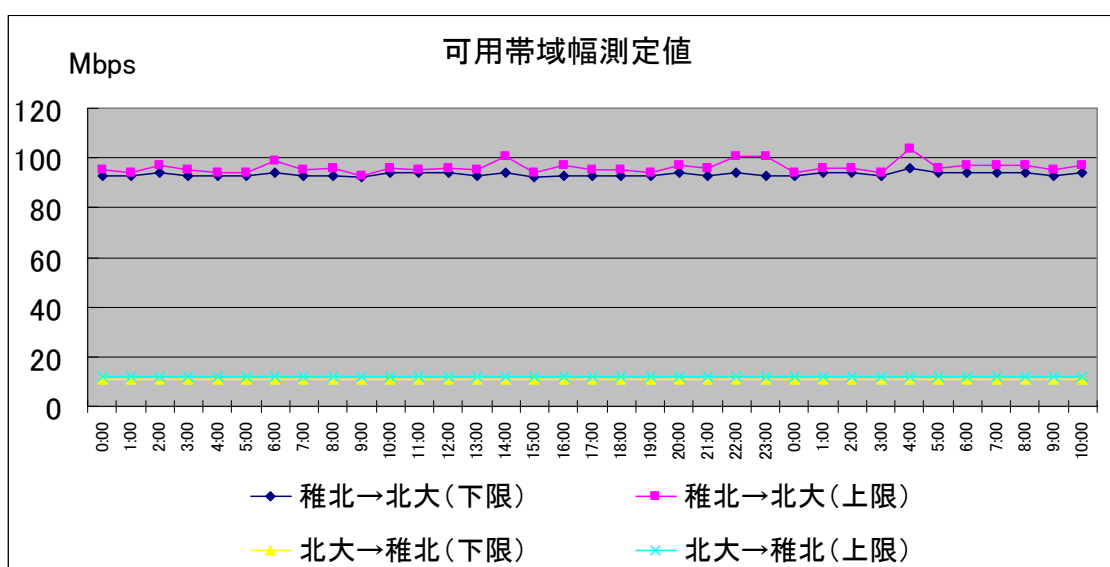


図 2 赤れんが実証実験網の可用帯域幅計測

※稚北→北大方向について

実際は 10Mbps に帯域制限されているが、稚北→北大方向では policing 方式の帯域制限のため、原理的にパケットペア方式で計測する pathrate では制限帯域値ではなく回線物理帯域の最大値が計測されてしまう。

(北大→稚北では shaping 方式、稚北→北大では policing 方式と帯域制限の方法が異なる) 帯域制御は通信事業者が行う為、通信方向 (顧客 (この場合稚北) からの見た上り下り) で方法が異なるのは一般的である。

当期の、ある 10 日間の RTT (Round Trip Time: 往復所要時間) 計測結果を下図に示す。

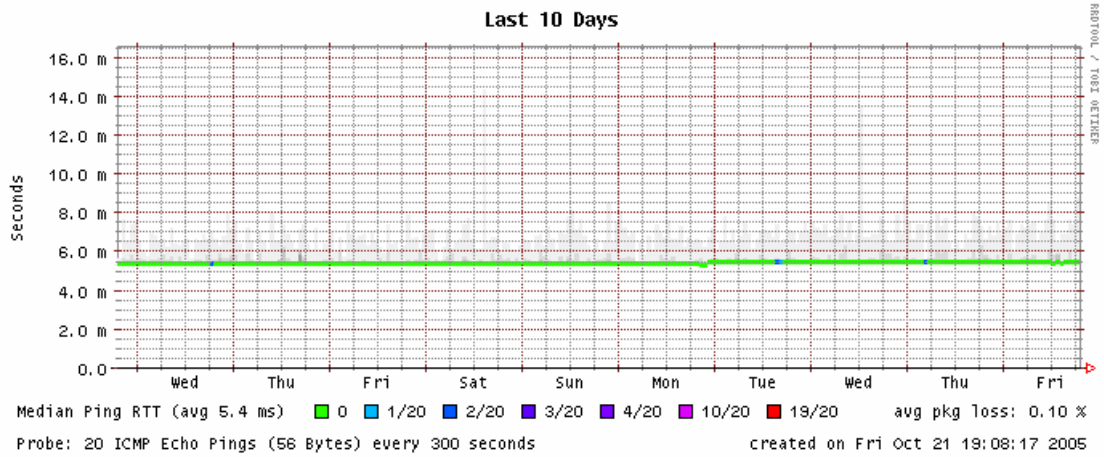
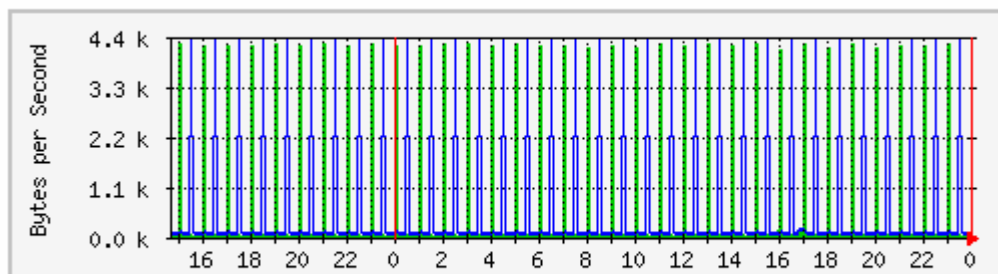


図 3 赤れんが実証実験網の RTT 計測 (通信品質の安定度)

北大に設置した計測機器のネットワークインタフェースで観測される通信量 (当該機器が送受する通信を含む) の計測結果を下図に示す。

日間グラフ(5分間の平均)



最大値 受信:4261.0 B/秒 (0.0%) 平均値 受信:391.0 B/秒 (0.0%) 現在値 受信:73.0 B/秒 (0.0%)
 最大値 送信:4297.0 B/秒 (0.0%) 平均値 送信:426.0 B/秒 (0.0%) 現在値 送信:72.0 B/秒 (0.0%)

図 4 計測機器で観測される通信量 (日間 = 約 34 時間)

2.2. インターネット回り経路の通信特性

インターネット回り経路での計測結果を以下に述べる。(図1 経路②)

※ 北海道大学 - 稚内北星学園大学間のインターネット回り経由の計測を簡便に行うために、北大に設置した計測機器 (B) の極近傍 (HOTnet 局舎内) に計測機器 (C) を設置し、計測機器 (C) - 計測機器 (A) 間の経路②'の計測を行う事で経路②計測と近似した。

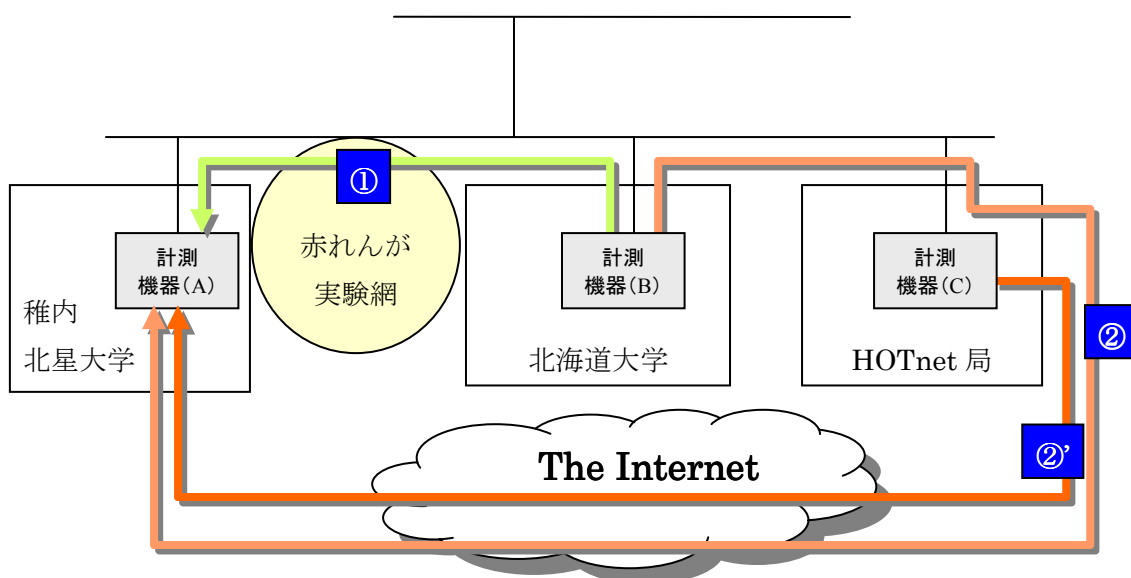


図5 インターネット回り経路

可用帯域計測結果は下図の通りである。

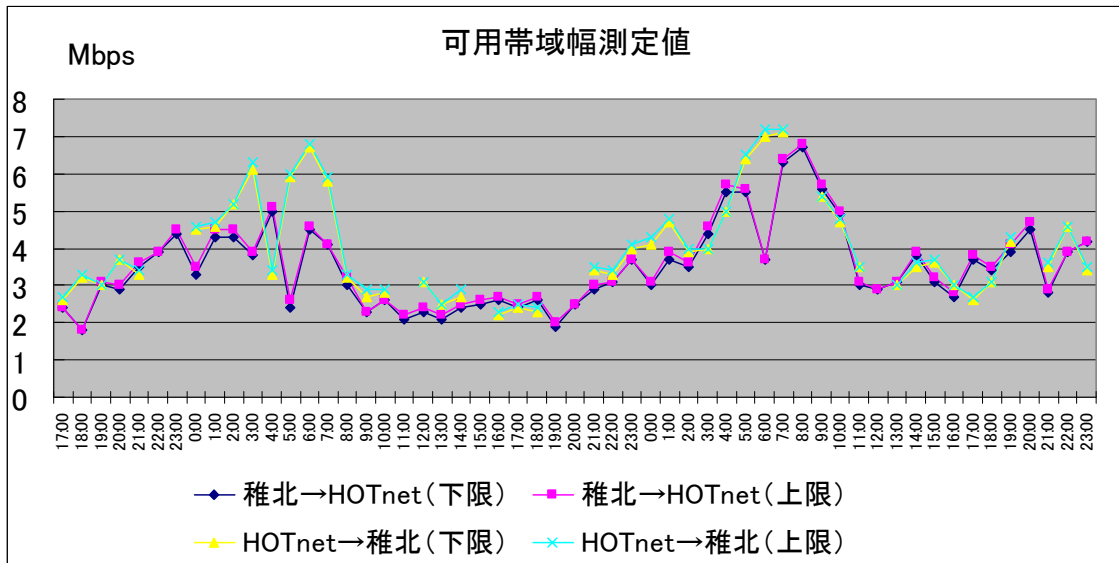


図 6 インターネット回り経路の可用帯域幅計測

10 日分の RTT の計測結果を下図に示す。

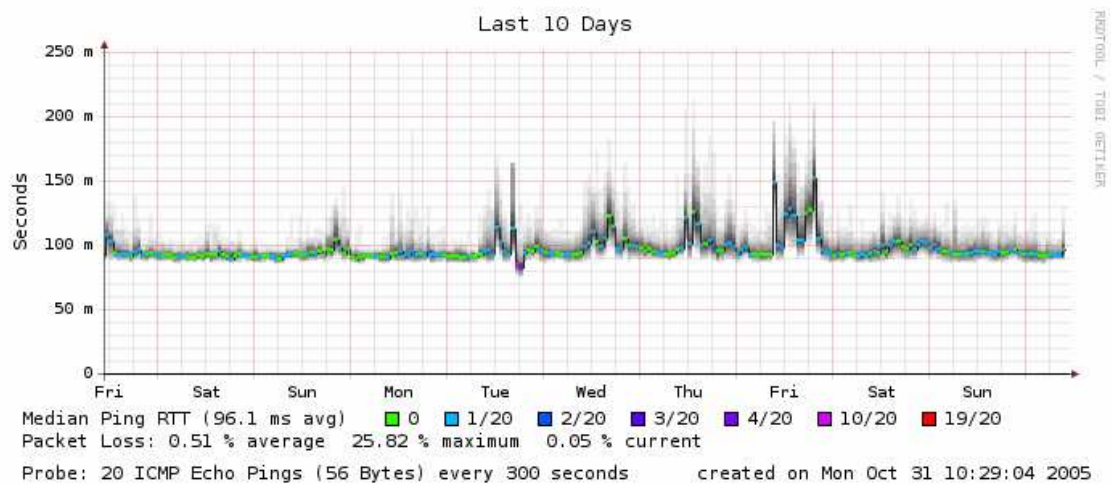


図 7 インターネット回り経路の RTT 計測 (通信品質の安定度)

計測機器 (図 5 計測機器 (C)) が送受した計測のための通信量と通信パターンは、2.1 図 4 とほぼ同じになるため、ここでは割愛した。

2.3. 近似的な網における高負荷条件下の通信品質

地域ネットワーク連携ワークショップ 2005 in 沖縄中継時、(赤れんが実証実験網に) 近似的な網における計測結果を以下に示す。(図1 経路③)

可用帯域計測結果は下図の通りである。

ただし、9月22日 08:00~13:00の間は通信設定が安定するまで計測を停止していた為グラフには反映されていない。

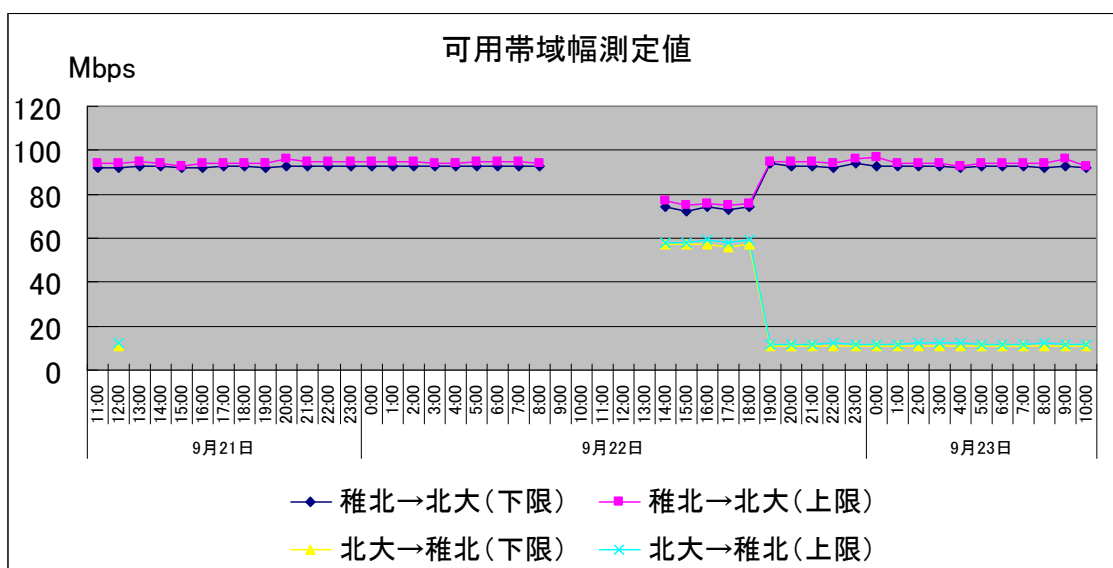


図8 可用帯域幅計測

3 時間分のデータをまとめて解析した RTT 計測結果は次の図の通りである。(3 時間×6)
 ※下図(図 9 一連)は通信経路①における図 3、通信経路②における図 7 に対応する。尚、図 3、
 図 7 は 10 日分のデータであるが、中継中のデータは詳細が分かるように 3 時間毎の計測結果を
 掲載した。

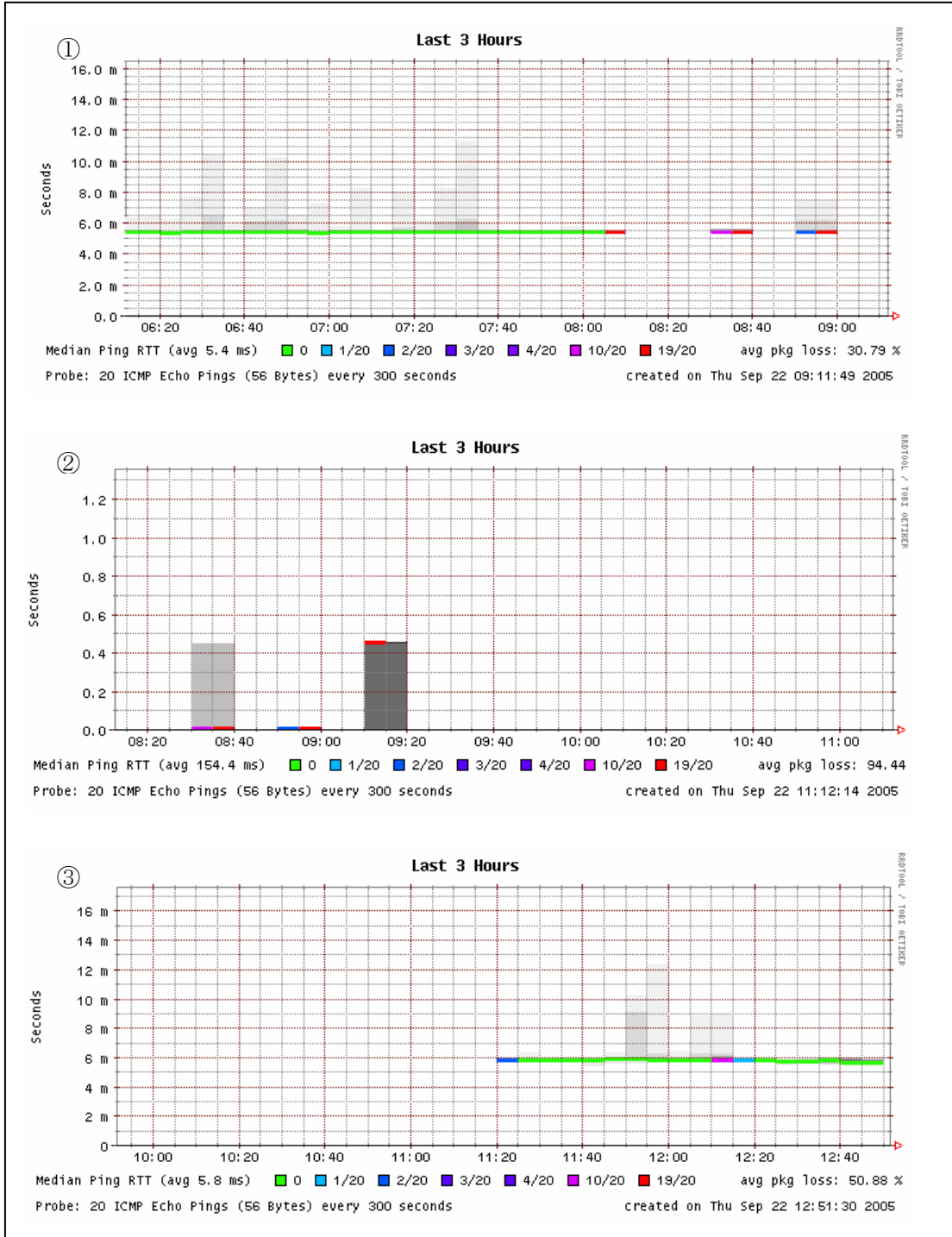


図 9 網品質の安定度計測

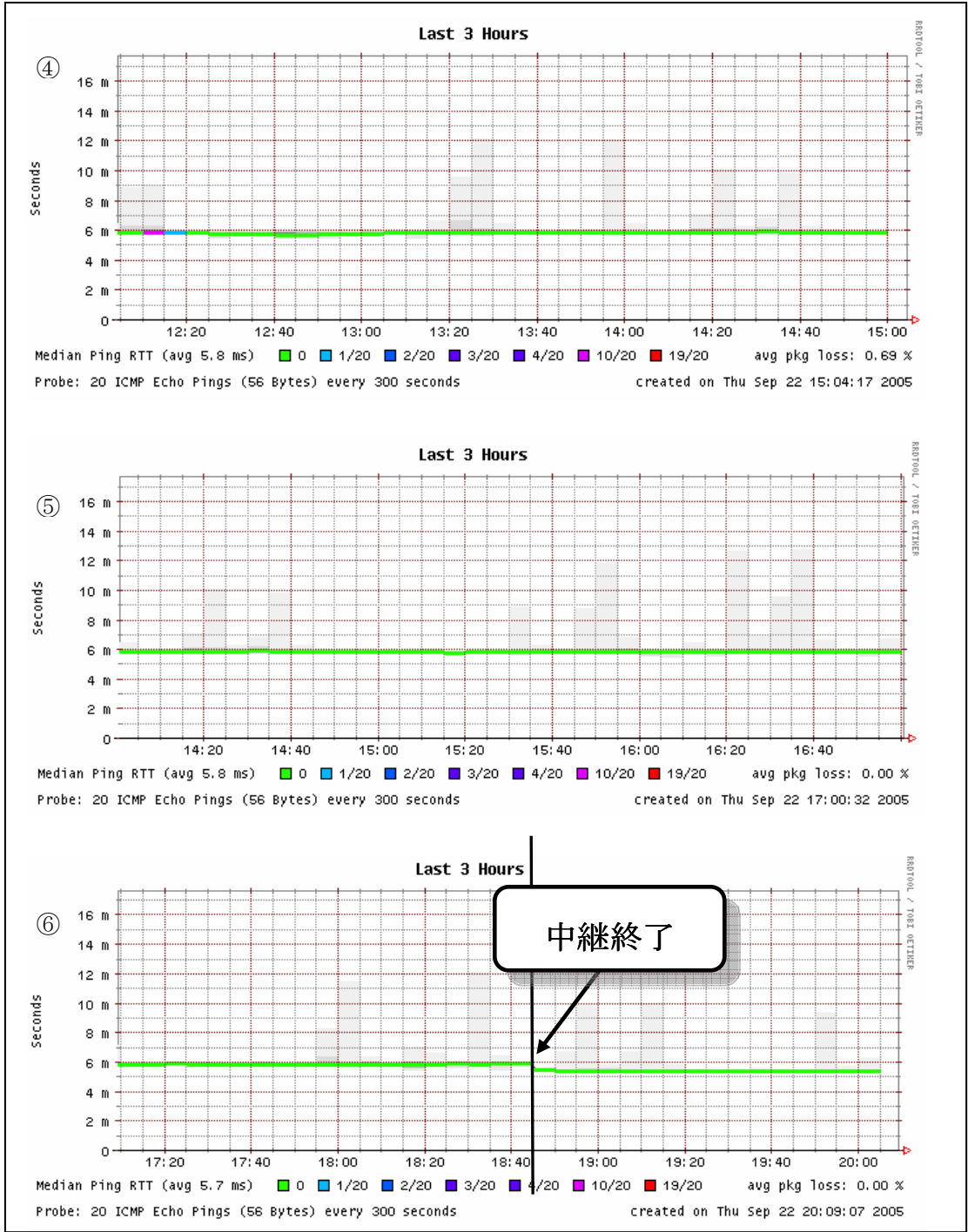


図 9 ネットワーク品質の安定度計測

中継中に北海道大学の計測機器より、「沖縄側のエッジルータ」に向けて RTT 計測 (ping : ICMP パケットを 10 回送受信) した際の最小・平均・最大の RTT 値である。

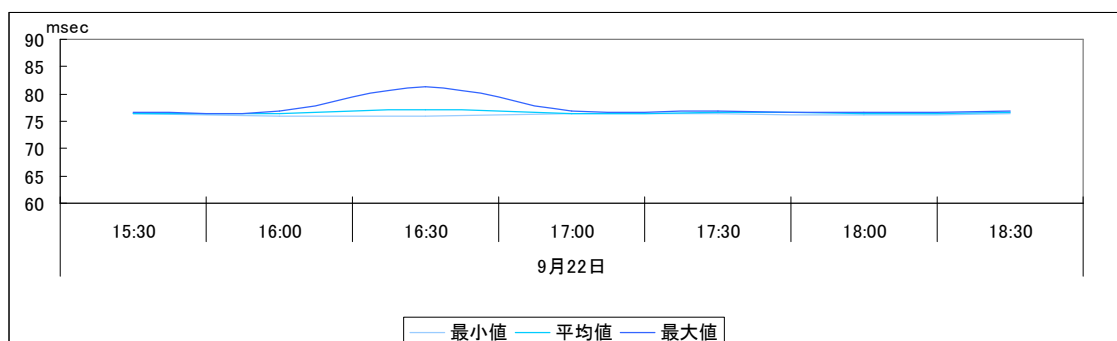


図 10 通信品質の安定度計測 (北大—沖縄間 RTT)

中継中に稚内北星学園大学の計測機器より、「沖縄側のエッジルータ」に向けて RTT 計測 (前述参照) した際の最小・平均・最大の RTT 値である。



図 11 通信品質の安定度計測 (稚北—沖縄間 RTT)

上記 2 つの図の RTT 計測経路図を以下に示す。

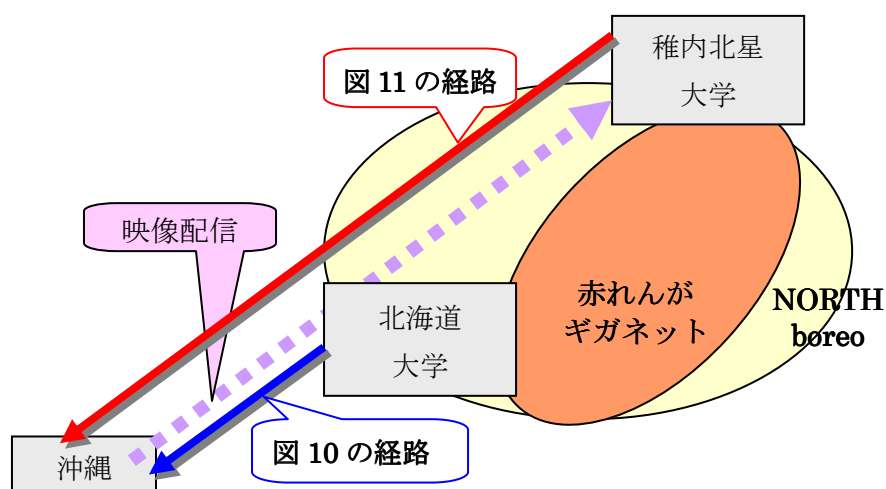
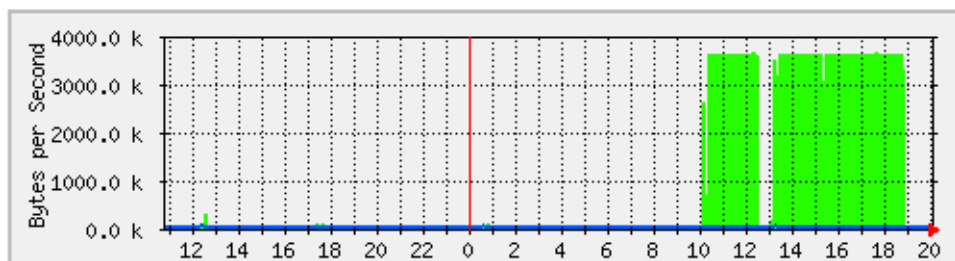


図 12 RTT 計測経路

北海道大学に設置してある Juniper M5 ルータの赤レンガネットワーク接続インターフェースでの通信量計測結果は図の通りである。

日間グラフ(5分間の平均)



最大値 受信:3650.9 kB/秒 (29.2%) 平均値 受信:843.4 kB/秒 (6.7%) 現在値 受信:4232.0 B/秒 (0.0%)
 最大値 送信:65.9 kB/秒 (0.5%) 平均値 送信:1170.0 B/秒 (0.0%) 現在値 送信:119.0 B/秒 (0.0%)

図 13 北大ルータのトラフィック計測

なお、広域中継実証実験の伝送品質の良否は受信地での目視によった（下図 14 参照）。

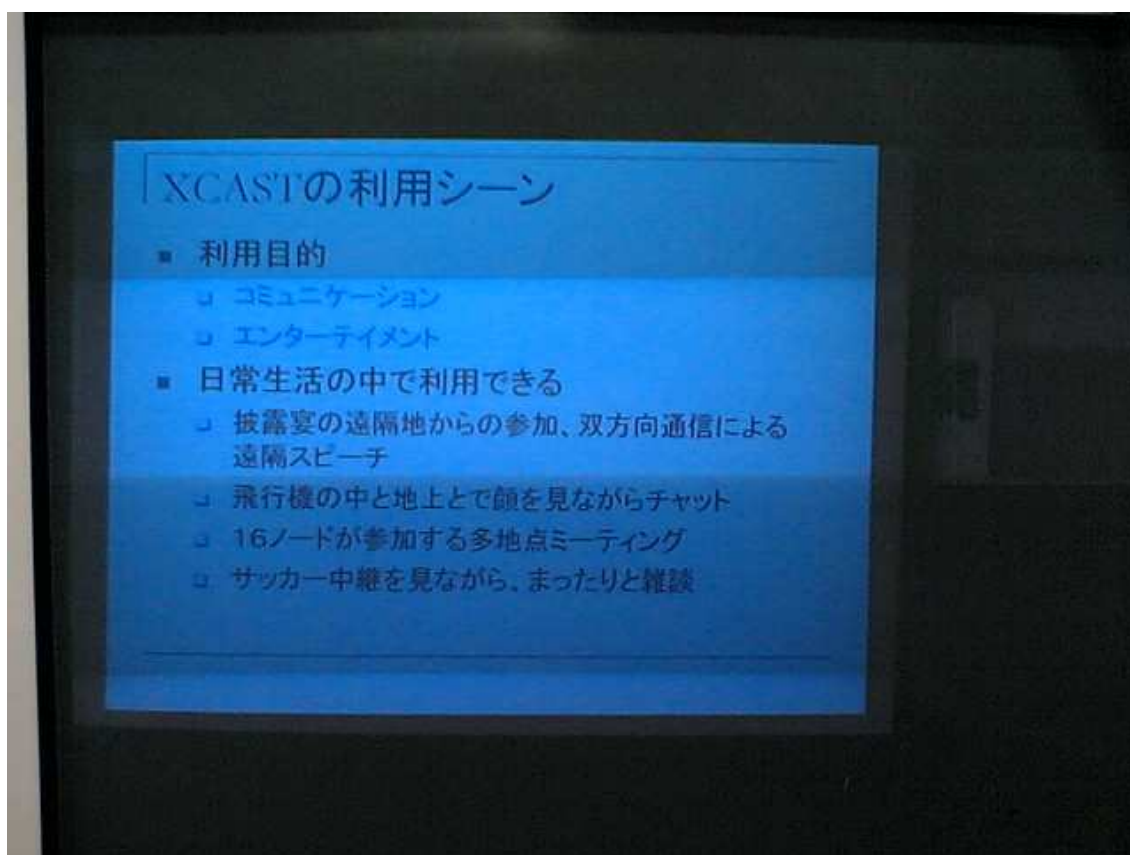


図 14 広域中継実証実験（沖縄中継）受信地：稚内の画像

3. 考察

以下に各計測結果に対する考察を述べる。

3.1. 赤れんが実証実験網とインターネット回り経路との品質比較

2.1「赤れんが実証実験用 MPLS 網の低負荷条件下での通信計測」では図 2 可用帯域、図 3 RTT とともに大きなゆらぎは見られない。一方、図 4 のように計測用のトラフィックはパターンが一定で無視できるほど小さい(可用帯域 10Mbps に対して最大で 34Kbps と 0.34% の利用) ことから計測トラフィックの通信品質への影響は無視できる。これらから、赤れんが実証網では安定した可用(余剰)帯域と低ジッタ性が確保され結果として品質の良い広帯域伝送が可能だと考えられる。

対し 2.2「インターネット回りの経路」では図 6、図 7 に示すように可用帯域、RTT それぞれおよそ 7Mbps、100msec と 2.1 で示される赤れんが実証網のそれら(それぞれ 10Mbps、5.5msec) より格段に悪く、さらに大きなゆらぎが注目される。可用帯域では一般に 9:00 から 21:00 まで減少の傾向がみられ、RTT では同じ時間帯に計測値が高分散、またロス増加の傾向を示すことからこれらには相関があるように思われ、その原因はインターネット回りの経路上いずれかでのトラフィックの増加(つまりインターネット利用者数の増加)によって誘起されているのではないかと推測される(この推論の検証は「次世代 IX 研究会計測ワーキンググループ」の研究成果を待つ)。インターネット回りでは安定した可用(余剰)帯域の確保は困難であると予想される。一般的にインターネット経由での 3Mbps 程度のストリーミング(映像伝送)では昼夜での通信品質の差が大きく、とくに昼間は頻繁に映像・音声品質の劣化が見られることが知られている。

これらの経路に実際に広帯域トラフィックを通した場合の挙動については次節で考察する。

3.2. 赤れんが実証実験網の広帯域伝送時の挙動に関する考察

インターネットに対して長時間広帯域トラフィックを流して高い負荷をかけることはさまざまな問題を引き起こすことが予想されるため、インターネットが高負荷に対してどうい挙動を示すのかその傾向を知る検証は実証実験以外の方法がとられなければならないと考えられ、本実証実験では対象外とし必要に応じて推測するにとどめる。また、1.「概要」で述べたように、今回実証実験に利用した「地域ネットワーク連携ワークショップ 2005 in 沖縄」の中継では 25Mbps 強のトラフィックが予定されていたため、本実証実験が赤れんがギガネット本体に悪影響を及ぼさないよう HOTnet に依頼して「構成上、赤れんが実証実験網に似たより広帯域な網（近似的な網）」を構築して実証実験を実施した。

中継中、可用帯域は（中継は 9:00～18:00 に行われたが可用帯域計測は 13:00～18:00）、図 8 に示すように値は減少しているが、ゆらぎは少なく安定していた（中継中の北大－稚北間の可用帯域計測値が非対称であった理由は、図 15 に示すように北大向けにはマルチキャストのみ、稚内北星学園大学にはユニキャストとマルチキャストが流れていたためと考えられる。これは北大設置のルータで計測されたマルチキャストによる中継の帯域（図 13 参照）と、図 8 で減少している稚北→北大向き可用帯域値がほぼ一致し、北大→稚北向きでその約二倍の減少が見られることでも説明できる。

RTT は、中継前（～9:00）から中継前半（9:00～11:20）の間、伝送経路の設定不備などにより著しく不安定な値（過大なパケットロスと遅延）を示したが、正常に中継されてからは（11:20～）良好かつ安定した値が計測された（図 9 参照）。

さらに図 10、図 11 に示すように、北海道大学と稚内北星学園大学から沖縄に向き RTT 値（計測時間は 15:30～18:30）はゆらぎも少なく、絶対値としても平均 76msec 前後と非常に良好な値を保っていた。余談になるが、稚内－那覇間で地域網（北海道）－JGN2－地域網（九州・沖縄）といった構成のネットワークの通信品質計測が実施されることは極めて珍しく貴重な知見が得られた。

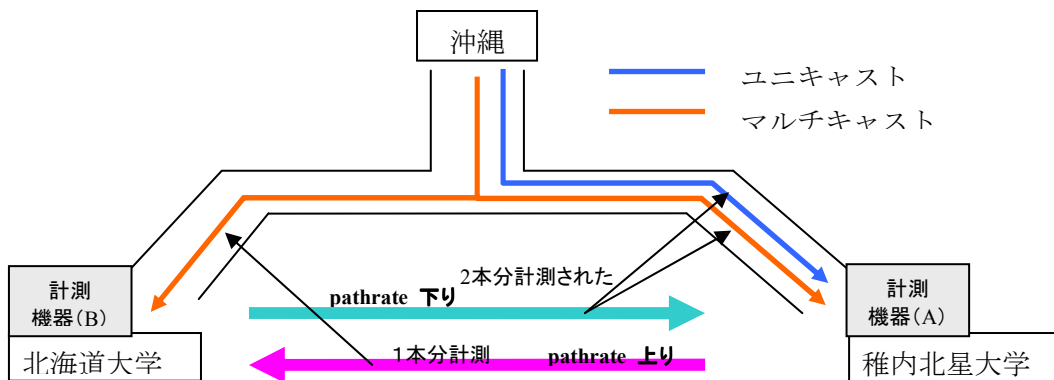


図 15 可用帯域計測における非対称性の原因 (予測)

3.2.1. 広域中継実証実験の準備・調整に関する考察

今回、高負荷実証実験のために、沖縄で開催されたイベント（地域ネットワーク連携ワークショップ 2005 in 沖縄）の中継トラフィックを利用したが、利用にあたって JGN2 を利用して伝達範囲を延伸し他のネットワーク運用組織と連携するなど、広域的な相互接続のための設計・準備作業・調整（総称してネットワークアレンジと呼び習わすことがある）が必要になった。

IP マルチキャストルーティングの事前調査・設計・調整が十分に行われなければならない。広域中継実証実験時に 9:00～13:00 まで伝送品質が悪かった（受信地で映像・音声を確認できない）のは主に中継にかかわった複数のネットワーク組織で IP マルチキャストルーティングの設定がかみ合っていないためだった。IP マルチキャストのルーティングと伝送には機器ごとにできることできないことがあり、また、それらの設定についても各ネットワークでさまざまであるため、事前に伝送経路すべてについて十分な調査と、調査結果に基づいた設計、必要に応じて調整を行う必要を痛感した。

各ネットワーク組織が自設備の網の品質や利用状況、機器の仕様など通信品質にかかわる情報について把握しているとネットワークアレンジがスムーズに進み、階層的かつ柔軟な相互接続を容易にし、ひいてはネットワークの高度利用を促進することになると考えられる。とくに、網の最大帯域と利用状況の把握、つまり可用帯域の把握は通信品質とネットワークインフラへ投資の適正規模を考える上で重要な意味がある可能性が今期の実証実験で示唆された。いずれ当実証実験で検証したい。

3.3. 今期の総合評価と今後の課題

今期は、2つの拠点に計測機器を設置し、その2拠点間の各通信特性、品質を計測、評価をすることができた。

広域中継実証実験（沖縄中継）に関しても、稚内北星学園大学と沖縄設置の配送拠点ネットワークとの間に「プライベートピアリング」を行い、2者間協議でのポリシールーティングを実現して、十分な余剰帯域があれば安定した伝送が出来る事が実証された（今回は近似的な網の100Mbpsの可用帯域に対し60Mbps程度の余剰帯域）。したがって、可用帯域上限10Mbpsの赤れんが実証実験網に対しても十分な余剰帯域確保を行えば、安定した伝送が実現すると予測される。

次の四半期では、上記の結果・評価を活かし10Mbpsの可用帯域で、どの程度の余剰帯域を確保すれば安定性が保たれた伝送が実現するのか検証すると共に、異なる運営組織のネットワークインフラを階層的に相互接続し、その有効性を検証する。さらに、双方向通信での品質計測（伝送遅延計測等）も実施する事が今後の課題である。

4. 今後の実証実験予定

4.1. distix との相互接続(inter-domain MPLS-IX 接続)

- ・ **LIVE! ECLIPSE 2005 Annular 中継実験**

日時：2005年10月3日

distix と相互接続しライブ！ユニバースを中心に実施された日食中継（まずはスペインマドリッドから東京小金井の NICT に伝送される）を稚内北星学園大学と北海道大学に配信

- ・ **稚内北星学園大学による 東京遠隔 接続実験**

日時：未定

稚内北星学園大学の東京サテライト校（秋葉原）と稚内北星学園大学本校との接続実証実験

- ・ 「IPv6 ユビキタス社会実験研究（通称: uJapan ロボット遠隔操作）」における釧路高専、札医大、広島大、佐賀大 等接続実験

日時：未定

4.2. 通信品質比較実証実験

- ・ **名寄木原天文台・北大院 理学研究科間接続**

赤れんが実証実験網接続とインターネット VPN の品質比較

4.3. 広域マルチメディアコミュニケーション通信品質

実証実験

- ・ **遠隔会議システムを用いた boreo ミーティング**

定期的実施し、双方向通信の品質を計測する。

4.4. 広報

「赤れんが実証実験」に関する広報を以下で行っている。

NORTH boreo ホームページ <http://www.north.ad.jp/boreo/>

付録 A. 参考文献

“Multiprotocol Label Switching Architecture” : IETF RFC3031

“LDP Specification” : IETF RFC3036

”OSPF version2” : IETF RFC2328

“Virtual LANs” : IEEE 802.1Q

“smokeping” : <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/smokeping/>

江崎浩、大橋信孝、中川郁夫、永見健一. MPLS 教科書

“MRTG” : <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/>

“Distix” : <http://www.distix.net/>

“JGN2” : <http://www.jgn.nict.go.jp/>

IT 用語辞典 e-Words

付録 B. 用語解説

➤ **VLAN タグ**

IEEE が標準化した VLAN 技術の一つで、イーサネットフレームにタグと呼ばれる識別を埋め込むことで VLAN 情報を離れたセグメントに伝えることができる。VLAN タグは IEEE802.1Q で定義されている。

➤ **OSPF**

TCP/IP 環境における経路選択 (ルーティング) プロトコルの 1 つ。RFC2328 で、OSPF のアーキテクチャを規定している。

➤ **MPLS**

LSP (Label Switching Path) と呼ばれるパスに沿ってパケットを転送する高速コネクション型ネットワークを構築する技術。従来、ルータが他のルータから受け取ったパケットを別のルータに転送する際には、ルーティング情報として IP ヘッダを利用するが、MPLS ではこれの代わりに「ラベル」と呼ばれる短い固定長の識別標識を利用する。RFC3031 で、MPLS アーキテクチャを規定している。

➤ **LDP**

MPLS がパケット転送に使用するラベルを配布するプロトコル。隣接ルータ間でラベル情報の交換を行う。RFC3036 で、LDP のアーキテクチャを規定している。

➤ **LSR**

MPLS 対応ルータ (Label Switching Router : LSR)。

➤ **ピアリング、プライベートピアリング**

相互接続することを意味する (インターネットトラフィックの交換)。プライベートピアリングは、2つの ISP を専用の回線によって接続することで相互接続を行う方法。これに対して IX を用いた相互接続では、多数の ISP が集まる「場」として IX を構築し、多数の ISP 間での相互接続 (パブリックピアリング) を実現する。

➤ **BGP**

大規模な TCP/IP ネットワークは、各組織が保有・運用する小規模なネットワークである「AS」(Autonomous System)を単位として、これを相互に接続した形態になっており、境界にあるルータなどの接続機器は経路情報を交換する必要がある。BGP はこの情報交換を行なうための規約の一種で EGP-2 に代わって登場した規格である。

現在では、インターネット上の AS 間での通信プロトコルの主流となっている。

最新のバージョンは BGP-4 で、EGP-2 と違って TCP を利用することで信頼性を上げ、また経路状態に変化があった時にのみ更新情報を送るなど、EGP-2 の問題点の多くが解消されている。ポリシー経路制御によって、経路設定にある程度の意図を持たせることも可能になっている。

➤ **FEC**

FEC は、同じ方法で転送される IP パケットのグループである。これらのパケットは、同じパスを使用して、転送上、同じ取り扱いを受ける。FEC は、宛先 IP サブネットに対応している場合があるが、エッジ LSR が有意とみなす任意のトラフィック クラスに対応させることができる。たとえば、特定の IP precedence を持つすべてのトラフィックを、1つの FEC にすることができる。

➤ **RSVP**

ネットワーク上で送信先までの帯域を予約し、通信品質を確保するプロトコル。現在のインターネットではどのデータも平等に扱われているため、テレビ会議やリアルタイムの動画配信など、即時性、連続性が求められるトラフィックを優先させる目的で開発された。

➤ **Robst**

高品質動画をインターネット上で送受信するソフトウェア。

➤ **DVMRP**

マルチキャスト・ネットワークにおける、ルーティング（経路制御）プロトコルの一種。

➤ **MRTG**

MRTG (Multi Router Traffic Grapher) は、SNMP エージェントから取得したデータを加工してグラフ化するツール。

➤ **SmokePing**

遅延やパケットロスをグラフィカルに表示することができる遅延計測ツール。

➤ **RTT**

RTT (Round Trip Time) は 2 点間におけるパケットの往復に所要する時間である。

➤ **JGN2**

独立行政法人情報通信研究機構が平成 16 年 4 月より運用を開始した全都道府県ならびに米国にアクセスポイントを持つ研究開発テストベッドネットワーク。次世代高度ネットワークを国内外の産・学・官・地域連携によって早期実現させ、我が国、経済社会の活性化と国際競争力の向上を目的としている。

➤ **distix**

MPLS を利用した広域分散 IX。ユーザは、MPLS に対応したルータで distix に接続し、ユーザ間に MPLS の LSP を確立して Peering を行う。

➤ **NORTH boreo**

北海道内学術・研究機関高速ネットワーク（詳細は下記 URL 参照）。

http://www.north.ad.jp/boreo/boreo_mpls_granddesign.files/frame.htm

➤ **Pathrate**

pathrate は送受信端末間の通信路(パス)の可用帯域幅を推定するツールである。プローブパケットの転送にパケットペア転送方式およびパケットトレイン転送方式を用い、各プローブパケット間の間隔(到着時間差)に着目し、可用帯域幅の推定を行う。

➤ **可用帯域推定**

ネットワーク内のあるリンクにおける利用可能な帯域を推定する。

➤ **マルチキャスト**

ネットワーク内で、複数の相手を指定して同じデータを送信すること。

➤ **ユニキャスト**

ネットワーク内で、単一のアドレスを指定して特定の相手にデータを送信すること。

付録 C. 実施計画

スケジュール（予定）は以下の通りである。

実験項目	‘04 年度						‘05 年度									06 年度										
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
MPLS コアネットワーク構築	→																									
コンテンツ配信実験							→																			
QoS 向上実証実験 (データ採取)													→													
総合検証																			→							

表 1 実施スケジュール

2004 年度下期

2004 年度は、参加組織の赤れんがギガネットワークへの接続を行い、さらに MPLS バックボーンの構築を行う。

2005 年度上期

本年度は、2004 年度下期に構築した MPLS バックボーンにブロードバンドコンテンツを配信し、通信計測を行う。

2005 年度下期

赤れんがギガネットワーク上に計測機器、被計測機器を設置して通信の信頼性を計測する。さらに inter-domain MPLS-IX 接続実証実験を行う。

2006 年度上期

これまでの結果を踏まえ、コンテンツの定期的な配信および計測・統計による通信状態の把握を通して赤れんがギガネットワークの評価と総合的な検証を行う。