98-01069

地域内高速インターネット相互接続網（地域IX）構築における基礎技術の研究開発

代表研究者　野口　正一　仙台応用情報学研究振興財団理事長（東北インターネット協議会代表）
共同研究者　布川　博士　仙台応用情報学研究振興財団研究主幹（岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授）
共同研究者　脇山　俊一郎　仙台電波工業高等専門学校助教授（東北インターネット協議会）
共同研究者　菅野　浩徳　（株）富士通東北システムエンジニアリング（東北インターネット協議会）
共同研究者　今野　幸則　日本電子計算（株）仙台営業所（東北インターネット協議会）
共同研究者　樋地　正浩　日立東北ソフトウェア（株）研究開発センター長（東北インターネット協議会）

1　本研究の目的

インターネットは、企業だけではなく、一般家庭にまで急速に普及してきており、情報流通の基盤となりつつある。特に、WWW の登場は、従来、情報発信が困難であった個人や家庭からの情報発信を可能にし、コミュニケーションメディアとしてのインターネットの普及に大きく貢献している。今後、個人や家庭、地域からの情報発信はますます盛んになることが予想され、インターネットは地域情報流通の基盤となっていくことが予想される。また、そこでやり取りされる情報は、従来の文字や画像に加え、今後は動画情報への要望が高まってくると思われる。その中でも特に交通情報やイベント情報といったライブ映像への期待は大きく、実生活に必要な地元のさまざまな情報を手軽に受発信できる環境の構築が求められている。このような環境を構築するためには、特別な処理や装置を用いることなく容易に動画情報を受配信できることと比較的広帯域を必要とする動画情報をスムーズにやり取りできるネットワーク環境を構築することが必要である。

しかし、現在の日本のインターネット構造は、相互接続ポイント（IXP）が東京や大阪に集中しており、地域内の通信もこのIXPを経由するため、慢性的なレスポンスの低下や通信の遅延といった問題を抱えている。このため、地域内の円滑なコミュニケーションに支障をきたしている。また、技術の集積や移転もこれらのIXPが中心となっているため、地域内における技術者や利用者のコミュニティの形成が進まない。このような状況を打開するために、地域内のトラフィックは地域内で交換するべきであるという認識が広まってきており、各地域において地域IXの構築とその関連技術の研究開発が進められてきている。これらの地域IXは、これらの活動を通してコミュニティ形成を促進し、地域情報のハブとして重要な役割を担いつつある。また、地域IXでは、通信遅延を最小限にできるため、通信遅延が問題となるマルチメディア情報をやり取りする上で都合が良い。その一方で、コスト的な問題から、地域IXの運用コストやISPから地域IXへの接続回線コストをできる限り低くすることが求められる。

本研究の目的は、これらの状況を踏まえて、マルチメディア情報を簡単にやり取りできるネットワーク環境を構築するための要素技術を開発することである。具体的には、以下の3点を確立することである。

(1)　地域IXの運用を通して得られるデータの収集、分析による運用技術
(2)　低コストで比較的高速なアクセス回線の実現
(3)　地域IXと（2）の回線を利用した手軽で容易なマルチメディア受配信環境の構築

2　本研究の背景

2.1　現在までの活動

仙台応用情報学研究振興財団では、インターネットに関する研究開発活動を行うための研究組織として“東北インターネット協議会（TiA：Tohoku internet Association）を設置し、1991年から現在までインターネットに関わるさまざまな活動を行ってきた[1]。これらの活動においては、実用性の高い技術を開発するために実際にインターネットを運用し、WIDEプロジェクトやTOPIC（東北地域の学術・研究系インターネット運用組織）等の組織と連携し、研究を行っている。その活動内容は、1992年に日本初の地域インターネットである東北インターネットを構築し、その運用と利用を通して得られた知見に基づき、インターネット創生期の啓蒙活動や技術支援を担ってきた。1994年からは、文部省と通産省が合同で進めていた100校プロジェクトのNOC（Network Operation Center）もつとめ、教育環境へのインターネット導入を支援すると同時にその教育への利用に必要な技術を研究開発してきた。

1996年からは、地域IX（IX：Internet eXchange）を中心とした地域情報化を実現するための技術の研究開発を積極的に進めている。その中で、1996年12月にはその実験基盤となる地域IXである東北地域内インターネット相互接続ポイント（TRIX-IXP）を本財団内に構築し、基礎データの集積と運用技術の確立を進めている。さらに、1998年には郡山にTRIX-IXP-郡山を設置し、県域をまたがる分散IXを構築した。現在、TRIX-IXP-仙台には、商用ISP2組織と学術・研究系2組織が、TRIX-IXP-郡山には商用ISP2社と公的機関が接続されている。1999年には、新たに、現在注目をあびている2.4GHｚ小電力無線通信システムを利用したネットワーク環境の構築とそれを利用した研究開発を行っている。

これらの研究成果は、情報処理学会や電気関係学会連合大会などにおける発表を含め広く公開している。さらに、セミナーや勉強会を通して開発した技術や最新のネットワーク技術の移転を進めている。

2.2　東北地域内インターネット相互接続ポイント（TRIX-IXP）の経緯

東北インターネット協議会TRIX研究会では、これまでPhase I～Phase IIIの活動を通して以下の研究を行ってきた[2]。

- Phase I（1996年6月～1997年3月）
  TiA仙台NOC内に実証的な研究基盤となるTRIX-IXPを構築し、基礎データとなるトラフィックデータの収集、分析を行った[3],[4]。その結果から、トラフィック的に地域内に閉じた相互接続を行う問題点を明らかにし、デフォルトの経路は各接続ネットワーク組織の上位組織とし、接続ネットワーク組織同士のトラフィックだけを交換する相互接続モデルを確立した[5],[6]。
- Phase II（1997年4月～1998年3月）
  Phase Iで構築したTRIX-IXPを実験基盤として用い、引き続きトラフィックデータの収集・分析を行うとともに、キャッシュサーバの相互接続によるトラフィック分散に関する検討を行った[7]。また、郵政省IX研究会、地域IX関係者会議に委員を派遣し、他地域で同様の活動を行っている人と地域IXの意義やその構築・運用に関する問題点やその解決策などについて情報交換をした。
- Phase III（1998年4月～1999年3月）
  Phase IIのキャッシュサーバの相互接続実験を行い、さらにその成果を進めたWWWのミラーサーバの実験を実施した。これらの実験を通して、ミラーサーバの有効性を確認するとともにその実現状の問題点を明らかにした[8]。さらに、地域情報を収集するための技術開発の1つとして、インターネット広域分散協調サーチロボット研究開発実験（DWR）に協力した。また、地域IXを利用したマルチメディアストリーム配信実験に着手した[9]。

3　本研究の方法

本研究では、2章で述べたPhase I～Phase III の成果をふまえて、今後のマルチメディア情報を中心とした地域内情報流通基盤の構築に不可欠な以下の項目について重点的に研究を進めている。

（1） 小電力無線通信システムを用いたISP－地域IX間アクセス網構築技術
（2） ライブ動画像などのマルチメディア情報受配信技術の確立

これらの研究においては、無線通信技術者の協力を得ることにより、効率的な研究を進めている。また、他の各地域でも地域IXの構築･運用がいくつか進められている状況を考慮し、これらの各地域IX運用組織と協調し、技術交流を進めている。このような活動を通して、各地域間の技術者の交流を進め、限られた技術者による地域IXの構築・運用とそれらに必要な知識や技術の共有と今後の地域内情報流通環境の構築に必要な技術の研究開発を進めている。

以下では、まず、現在のTRIX相互接続ポイントとそこでこれまで行われてきた研究の成果について述べる。次に、現在研究を進めている小電力無線通信システムを利用した地域情報環境の構築実験について説明する。

4　東北地域内相互接続ポイント（TRIX相互接続ポイント）

TRIX相互接続ポイント（TRIX-IXP）は、1996年12月に、東北インターネット（東北インターネット協議会：TiA）、東北学術研究インターネット（東北学術研究インターネットコミュニティ：TOPIC）、商用インターネットサービスプロバイダ（ISP）であるMediaWebインターネット（MediaWeb）を相互に接続する相互接続ポイントとして構築された（TRIX－IXP-仙台）。1997年4月には、同じく商用ISPであるやまびこインターネット（YAMABIKO）が実験に参加した。1998年6月には、福島県ハイテクプラザ（福島県郡山市）のご協力を得て、当プラザ内にインターネット相互接続ポイント（TRIX-IXP-郡山）を設置し、TRIX-IXP-仙台と相互に接続を行い、分散地域IXの実験を開始している。TRIX-IXP-郡山には、近隣の商用ISP3社が接続し、実験に参加している。各接続ネットワーク組織は、64kbps～128kbpsの回線速度でTRIX-IXPに接続している。また、TRIX-IXP-仙台とTRIX-IXP-郡山の間の回線速度も128kbpsとなっている（図1）。

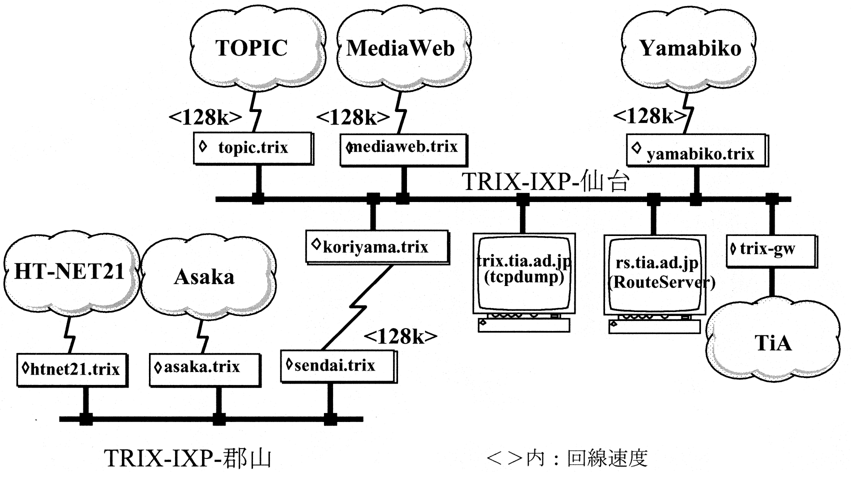

図1　TRIX-IXPの構成

各ネットワーク間の経路情報は、各々のネットワーク組織に接続している接続先の経路情報のみをTRIX-IXPで交換し、それ以外の組織に対する経路は各ネットワーク組織の上位に位置するISPに向けており、インターネット全体から見た場合にはTRIX-IXPへの経路は見えない閉じたIXPとなっている。これにより、万が一、TRIX-IXPに障害が発生した場合、上位ISPを経由した通信に自動的に変更になるだけで通信が不可能になることはない。そのため、運用コストを低減することができる。経路情報の交換には、実験当初から1998年5月まではRIPv1を使用していたが、経路情報の管理を容易にするルートサーバの導入のため、順次、BGP4に移行し、1998年8月に全ての移行を完了した。

TRIX-IXPの構築により、これまで問題とされてきた通信遅延の解消や地域内通信路の確保について一定の成果を得ることができた。また、地域IXは、経路制御技術やトラフィック解析技術の獲得といったネットワーク運用技術の蓄積に有効であり、ネットワーク技術者の実践的な技術獲得の場として地域の技術者の技術力向上に貢献するとともにこれらの技術者のコミュニティの形成に役立っている[10]。

5　東北地域内インターネット相互接続研究会の対外活動

本研究では、地域IXの構築・運用に取り組んでいる他地域の組織との間で、今後の地域情報化の基盤となるネットワークの構築や地域におけるネットワーク技術者の交流と技術獲得を目的に、各種の会合、研究会などに委員を派遣してきた。これらの各地域における地域IX構築の目的には共通点が多い反面、その実現手段や相互接続ポイントの構成・運用体制は、各地域ごとに異なる点もあり、地域ごとの特色を持つ。これは、各地域の現状や関係者のおかれた状況が異なるためである[11]。このような状況の中で、各地域の交流をはかることは、各地域の持つ問題点やその解決方法、各種の技術の共有化をはかる上で重要な活動である。

このような活動のいっかんとして、各地域で地域IXに関係している人々の間の交流を深め、地域IXの現状と今後の課題、その解決策について意見交換をするために設立された地域IX担当者会議に毎回参加している。この会議は、1997年以来、年1～２回ほど開催されており、これまで、富山、山梨、岡山と3回開催されている。第4回は、2000年4月23日に長野県塩尻市で開催され、各地域の現状について報告が行われた。本会議では、今まで活動をしてきた北海道、宮城（仙台市）、福島（郡山市）、富山、長野、山梨、東海、中四国、岡山、山口、高知、の各地域に加え、新たに沖縄などにおいても地域IXの構築が進められていることが報告された。このように地域IXに関する活動は、着実に各地域に広がっているといえる。

6　トラフィック分散化技術の研究開発

地域IX構築の目的の1つは地域内の円滑な情報流通にある。これを実現するためには、増加するトラフィックを効率良く分散する技術が重要になる。本研究では、現在のインターネットトラフィックの大部分を占めるWWW（World Wide Web）を対象にこのトラフィックを効率的に分散させるため、以下の技術について実験を行ってきた。

(1) キャッシュサーバ相互接続実験

(2) ミラーサーバ構築実験

(1) は、WWWのキャッシュサーバをTRIX-IXP経由で相互接続し、キャッシュサーバの内容を共有する実験であり、

WWWトラフィックの分散効果を明らかにすることを目的にしている。キャッシュサーバには、最も利用実績のあるsquidを用い、各接続参加ネットワーク組織にキャッシュサーバを設置し、その間を兄弟関係（sibling）によりフルメッシュ構成で接続した。本実験では、キャッシュサーバ相互接続により一定のトラフィック削減効果が得られることが確認できた。その反面、参加ネットワーク組織による効果の違いに大きな差異が見られ、効果の得られない接続関係も存在することが確認された。これにより、効果の大きい組織間のみでキャッシュの共有を行い、効果の見込めない組織間では共有しないことにより、サーバ、回線、作業費等の不必要なコストの発生を予防できる設計指針を明らかにすることができた[8]。

（2）は、ネットワーク的に遠い距離にあるWWWサーバのコンテンツの複製を持つミラーサーバをTRIX-IXPに設置し、TRIX-IXPに接続しているネットワーク組織の利用者はこのミラーサーバを利用することにより、トラフィックを削減する実験であり、その効果を明らかにすることが目的である。本実験では、東北三大祭りの一つである「仙台七夕祭り」を毎年ネットワークで紹介している「仙台七夕ホームページ」を対象に実験を行った。本実験により、トラフィックの分散とレスポンスの向上が確認できた。その効果は、ミラーサーバの方がキャッシュサーバ相互接続より大きく、有効な技術であると言える[8]。

上記の実験に加え、1998年11月には、インターネット広域分散協調サーチロボット研究開発実験に協力している。本実験は、WWW情報検索サービスに使用するWWWのコンテンツに関する情報を国内各地に分散配置したWWWロボットが協調しながら収集することにより、これらの情報収集に必要なトラフィックの削減を目指している。本実験に使用するWWWロボットの開発・配布が遅れたことにより、2000年1月より実際のデータ収集を開始している。現在は、34ヶ所に分散されたWWWロボットが協調して日本国内に設置された約50000サーバを対象に順調にデータの収集を行っている。

7　マルチメディア受配信技術の研究開発

7.1　第一次配信実験

地域IXは広帯域を必要とするマルチメディア情報のトラフィックを地域内に閉じこめることが可能であり、今後利用が増加することが期待されるマルチメディア情報の配信基盤として有効に機能することが見込まれる。そこで、これまで本研究では、Mbone Tool や Software Vision、Real Server といったマルチメディア受配信システムを利用した配信実験を行ってきた。本実験の中では、1998年6月のNASAによるスペースシャトル打ち上げ中継（Mbone Tool とSoftware Visionを使用）、1998年11月にはISDNを臨時に設置し、東北工業教育協会高専部会の「産学交流の日」の講演中継（Mbone Tool とSoftware Visionを使用）、1999年1月と2月には福島県インターネットワーキング技術研究会の講演中継（Real Serverを使用）、1999年2月にはさらに「女性のためのインターネットフォーラム」（Mbone Tool とSoftware Visionを使用）を配信してきた。これらの中継実験を通して、通信遅延の小さい地域IXがマルチメディア情報の受配信に有効であることを確認すると同時に、効率的な配信のための技術開発を行ってきた[9]。その反面、実用的なマルチメディア情報の受配信を行う上では、TRIX-IXPと接続ネットワーク組織の間の回線速度（64kbps～128kbps）が不足することが予測できた。回線を増強すればこの問題を解決することは可能であるが、高速な回線はコストが高く、現状においては投資対効果の点で増強は困難である。

7.2　小電力無線通信システムによるアクセス網の構築

7.1節の結果を踏まえて、次に本研究では、近年注目を集めている2.4GHz帯小電力無線通信システムをTRIX-IXPと接続ネットワーク組織の間の接続回線に利用したアクセス網の構築に関して、「小電力無線通信システムと地域通信網との接続による動画像伝送に関する調査研究会」と共同で実験を進めてきた[12]。

実験に使用した無線通信システムは、 2.4GHz帯で直接スペクトラム拡散（DSSS）方式を採用した無線ブリッジである。回線速度は、 1、2、5.5、11Mbpsの4種類であり、特定の回線速度に固定した回線速度だけではなく、無線回線のエラーや再送の発生状況に合わせ回線速度を自動的に選択し最良の通信状態を確保する機能を持っている。この通信システムの最大通信距離は、指向性アンテナ同士を用いた場合で6km（11Mbps固定時は3km）、指向性アンテナと無指向性アンテナを組み合せた場合では1.5km（11Mbps固定時は1.2km）である。また、この通信システムは、ルートノードとリモートノードの関係があり、1台のルートノードに対して複数のリモートノードを設置することができる。このように小電力無線通信システムは、マルチメディア情報の受配信に十分な帯域を持っている。

本実験では、東北大学－東北文化学園大学、東北大学－東北電気通信監理局、東北電気通信監理局－富士通東北システムエンジニアリングの４拠点をLAN間接続するために3式の小電力無線通信システムを利用している（図2）。東北大学と東北電気通信監理局では同システムを２式づつ利用し、東北文化学園－富士通東北システムエンジニアリング間のLAN間接続の中継拠点としている。各拠点間の距離と環境は、東北大学－東北文化学園間が3.5Kmで山腹間、東北大学－電気通信監理局間が3.5Kmで山腹から市街地、電気通信監理局－富士通東北システムエンジニアリング間が1.5Kmで市街地間という環境となる。

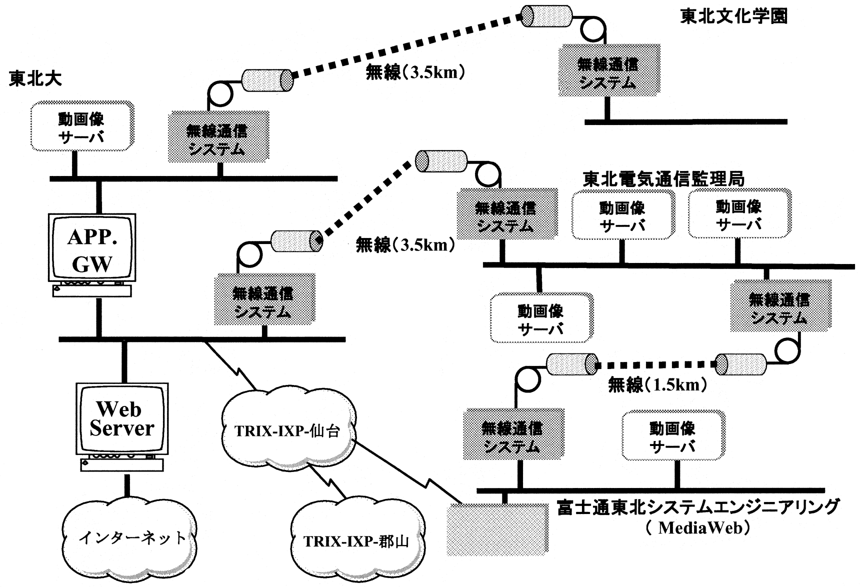

図2　無線通信システムを用いたアクセス網の構成

本ネットワークの構築と運用は、1999年9月より予備実験が開始され、12月より運用を開始し、一部を除き2000年3月末まで実環境での運用と性能評価が行われた。本実験における評価対象は、屋外での通信距離と速度の関係と実際の通信品質に与える影響を見るため、無線回線の通信レート、ビットエラーレート、スループット、LAN間でのターンアラウンドタイム、設置場所の気象状況のそれぞれを継続的に測定した。図3に2000年1月19日における東北大学－東北電気通信監理局間の通信レート、ビットエラーレート、スループット、LAN間でのターンアラウンドタイムの1日の推移を、図4に2000年2月27日における気象条件とスループットの関連を示す。

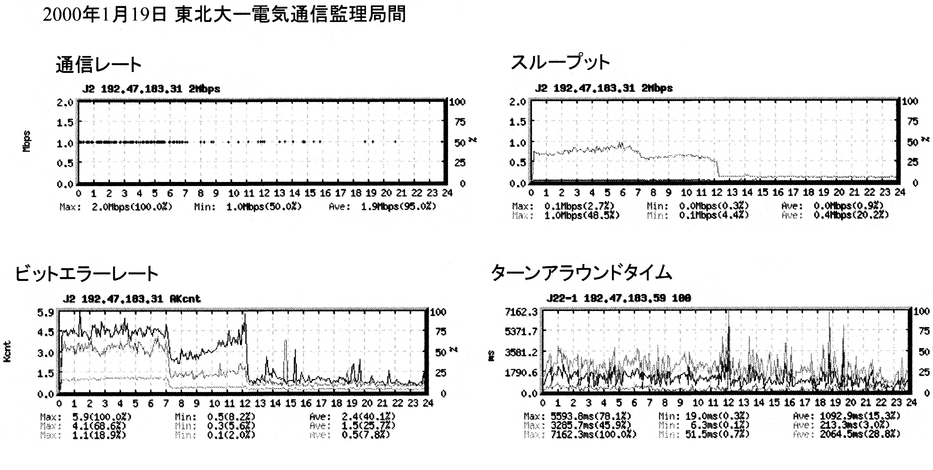

図3　1日の通信レート、ビットエラーレート、スループット、ターンアラウンドタイム推移

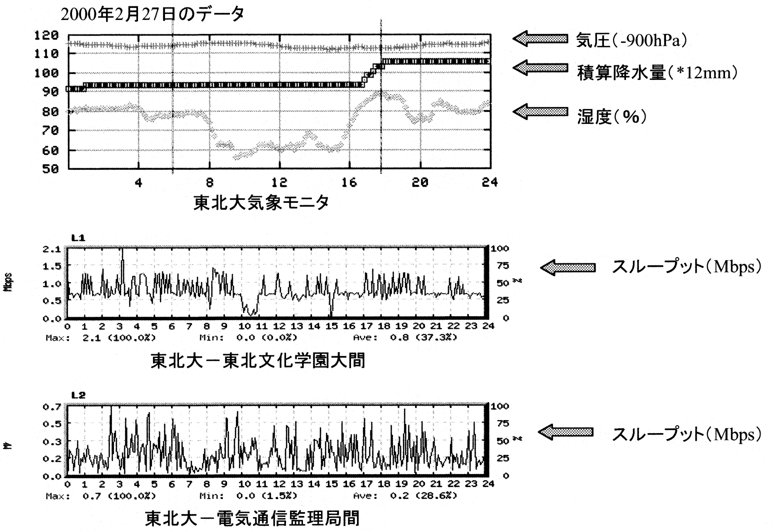

図4　気象条件とスループットの関連

本実験により、以下の結果が得られた。

(1) 東北大学－東北文化学園大学間（山腹間で3.5Km）は、4Mbps程度の安定した通信が確保できた。東北大学－電気通信監理局（山腹から市街地で3.5km）は、1日の中で時刻により頻繁に伝送レートが変化し、最大2Mbps、最小1Mbps、平均して1.6Mbps程度の伝送レートを得ることができた。電気通信監理局－富士通東北システムエンジニアリング間（市街地で1.5km）は最大11Mbps、最小1Mbpsと変動幅は大きいが、平均して8.1Mbps程度の伝送レートを得ることができている。このことから、通信距離が短い方が高速な通信が可能であるが、市街地においては時刻により伝送レートが頻繁に変化するということがわかった。

(2) アンテナの配置について、双方の間に遮蔽物が無いことが極めて重要であることがわかった。2.4GHzという周波数帯で直進性が強いためと考えられ、接続する区間が見通し可能であることがかなり厳格に求められる。東北大学－電気通信監理局間は、わずかに森にかかっていたために当初は良好な品質が得られなかったが、アンテナ高を約1mあげることにより解決することができる。

(3) 東北地方での冬期間の実験という事で気象状況による影響を見込んでいたが、実際には伝送路上での雨や雪及び霧などの悪天候による通信品質への影響は見られなかった。しかし、運用中、降雪時に影響が見られる事が散見された。これはアンテナへ直接の着雪や着氷により伝送品質が低下したためと考えられる。

これらの結果から、小電力無線通信システムはマルチメディア情報の受配信に利用可能な帯域を持ち、天候の影響も少ないことから、地域内のISPと地域IXの間を接続する比較的高速な回線として利用できることが確認できた。本無線通信システムは、小型で移動や設営が容易であり、免許も不要でありながら、比較的高速な通信が可能であり、通信速度あたりの機器コストも低く、導入しやすい。

7.3　ライブ動画像配信実験

実生活に必要な地元のさまざまな情報を手軽に受発信できる環境を構築するためには、ビデオカメラ等の撮影機器で撮影した動画像を直接ネットワークに流せることが求められる。個々の利用者が撮影した動画像に何らかの加工処理を行わないとネットワークにその動画像を流せないとすると、利用者はそのような加工処理技術をあらためて修得する必要があり、加工処理に要する時間も確保しなければならない。これは、手軽に情報を発信する上での大きな障害になる。手軽な動画像の発信を行う上では、撮影機器を接続するだけで動画像の配信が可能になることが望まれる。そこで、今回の実験では、動画像の配信に動画像サーバ（ビデオサーバ）を利用して配信実験を行うこととした。動画像サーバは、ビデオ入力端子を持ち、家庭用ビデオカメラ等の撮影機器を接続してその動画像を必要に応じて圧縮し、ネットワークに配信することができる。そのため、設置するユーザが動画像を配信するために複雑な処理を行う必要がなく、簡単に動画像の配信を行うことができる。

本実験では、3種類の動画像サーバを使用した。これらの動画像サーバは、配信する動画像の画質を指定することができるだけではなく、ネットワークの回線速度や混雑状況に応じて配信する画像のフレームレートを自動的に調整する機能を持つ。これらの動画像サーバは、動画像の配信や動画像の再生、撮影機器の制御に異なる方式を用いている。すなわち、(1) 独自のポート番号を用いてTCPによる配信を行い、独自ビューアにより配信された動画像の再生を行う方式、(2) 動画像を Motion-JPEG としてHTTP（80 番ポート）を用いてTCPによる配信を行いそれを再生する方式、(3) これら2つの

方式を利用者が選択できる方式である。独自ビューアの場合、利用者は、それをあらかじめコンピュータにインストールする。インストールにより、独自ビューアはWeb ブラウザの Helper Application として登録され、利用者はこれを利用して配信された動画像を再生する。Motion-JPEG による配信の場合、それはそのままWebブラウザ上で再生されるか、Java Applet により記述されたビューアにより配信された動画像の再生を行う。このように複数の種類の動画像サーバを利用することにより、さまざまな動画像の配送方式、再生方式の違いを評価することができる。

本実験において配送する動画像情報には、交通渋滞の発生しやすい何ヶ所かの地点（交差点）の交通状況と仙台の冬のイベントとして有名な光のページェント（開催期間：1999年12月12日から12月31日）を用いた。これらの情報は、撮影機器を通して動画像サーバに取り込まれる。利用者は、インターネットから特定小電力無線データ通信装置を経由し、これらの動画像サーバにアクセスすることにより、24時間、いつでもこれらの映像を見ることができる[13]。

7.4　ライブ動画像配信実験結果

「光のページェント」期間中のアクセス回数は82回で、転送フレーム数は293166フレーム、転送容量は3.6GBであった。「光のページェント」は、並木道をライトアップするイベントであり、時間の経過と共に景観が大きく変化することはない。交通状況も必要とする時点の交通情報を知れば十分であり、動画像サーバにアクセスしている時間は短い。そのため、比較的長い時間にわたって動画像を見ていた利用者が少なかったと考えられる。今回の実験期間では、特にネットワークの回線容量は問題にはならず、小電力データ通信システムを地域IXへのアクセス網として利用した場合にマルチメディア情報の配信に利用できることが実証できた。

TRIXに接続されたネットワークから、ファイアウォールやHTTPプロキシサーバ等を経由しないでアクセスする場合には、問題なく動画が配送され、光のページェントの風景などが鮮明に映し出された。クライアント側のネットワークでファイアウォールを経由する場合には、TCPの80番以外の通信が通過できないために、独自方式で配送するカメラサーバにはアクセスできなかった。

動画像サーバはTRIXのネットワークにつながり、TRIXは外部との通信到達性を持たない（privateな）ネットワークであるために、TRIX以外のネットワークから本実験の動画像サーバに直接にはアクセスできない。動画像表示や遠隔操作のためのデータをTRIXの外へ中継して、動画像サーバからの動画像をTRIXの外へも配信することを可能にする技術開発として、本実験では、アプリケーションゲートウェイの利用を試みた。これは、delegateと呼ばれるWWW中継用のソフトを用いたものである。同様のものは、商用ISPや組織内LAN（イントラネット）からインターネットへアクセスする場合にも利用されていることが多い。Motion-JPEGの画像を配信する方式の動画像サーバは、WWWと同じくHTTP（TCPの80番ポート）の通信を中継すれば、アクセスが可能になる。ただし、画像の伝送やカメラの制御の通信にこれ以外の独自のポートを使う方式の動画像サーバについては、この方法では対応できない。また、動画像サーバが出力するデータの中にあるURLが、delegateで処理できないような記述形式を用いている場合にも、アクセスを中継するのが困難になる。

アプリケーションゲートウェイを利用する実験の結果、表示がスローモーションになったり、動きがぎこちない、あるいはカメラの遠隔操作の応答が悪いという現象が見られた。また、大勢のクライアントが同時にアクセスする場合に、一部のユーザへデータが送られてこない現象が見られた。これは、アプリケーションゲートウェイで中継のプロセスがフォークしすぎて、資源の競合のために動作が止まったものと推測される。動画像がスローモーション表示や間欠的モーション表示に見える現象は、図5のように、動画像サーバからアプリケーションサーバの区間の帯域に比べて、それより下流の区間（インターネットからクライアントのネットワークまで）が細い場合に、delegateがバッファとして機能してしまい、伝送経路の途中まで速いフレームレートで伝送された動画がバッファされ、それがクライアントに遅いフレームレートで届くために起こる。すなわち、中間にバッファが入ることによって、クライアントと無関係にサーバがMotion-JPEGを送出するので、リアルタイム性が損なわれる。

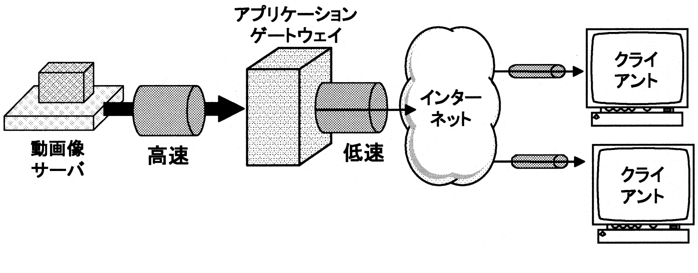

図5　アプリケーションゲートウェイによるバッファリング

本実験で用いたような小電力データ通信網は、インターネットの平均的スループットよりもはるかに広帯域であるので、これを用いて動画像伝送するには、Motion-JPEGの表示の不具合を防ぐ対策の技術が不可欠である。ただし、伝送経路で帯域が一定になるよう途中のネットワークで帯域予約する方法は現実性に欠け、下流の帯域に合わせてフレームコンバータでデータレートを変化させる方法はコネクションごとに処理する必要があり実現が困難であるので採用できない。

本実験では、アプリケーションゲートウェイの中継方式として、rinetd（パケット転送のソフト）を応用する方法を考案した。TRIXのネットワークから外へ動画像を中継するときにもパケットを一対一で受け渡すので、バッファの動作が行われない。これにより、TCPの80番ポートを用いる動画像伝送は、リアルタイムで中継することが可能になり、動作の不具合の問題が回避された。

TCPの80番以外のポートを用いる通信が中継されないことと、伝送の途中にあるプロキシサーバでバッファされるためにリアルタイム通信が損なわれることは、クライアントのネットワークでプロキシサーバを経由する場合にも同様に起こり得る。ユーザがプロキシを設定しなくても自動的にプロキシを経由するインターネットプロバイダや、プロキシの設定が義務づけられているイントラネットが一般的になりつつある。そのようなケースを考慮すると、カメラサーバ等はTCPの80番ポートだけを使って伝送することと、クライアントとの間の回線速度を送出レートに反映させる機能をもつことが望まれると言える。

8　まとめ

本研究により小電力無線通信システムを地域IXへのアクセス網に用いることにより、マルチメディア情報の受配信が可能なネットワーク環境を構築できることが確認できた。小電力無線通信システムは、設営が容易であり、地域コミュニティへリアルタイム・マルチメディアなど大容量の地域情報コンテンツを配信する新しいアプリケーションのための中距離用の広帯域回線として活用が期待できる。ただし、安定した運用を確保するためには、伝播経路等の事前調査や、電波の特性を理解した上での機器設営が不可欠である。これらについては経験的に得られる知見が多く、また、2.4GHz帯で小電力データ通信システムに使用できる周波数が増加したことなども踏まえ、今後さらなる調査研究が必要と思われる。

本実験で使用した動画像サーバは、家庭用のビデオカメラ等を接続することにより、簡単に動画像の配信が可能であり、特別な設定をすることなく、容易に動画像の配信をすることができる。そのため、今後増加すると思われる個人や家庭からのマルチメディア情報発信の有効な手段となり得る。

また、アプリケーションゲートウェイ、ファイアウォール、プロキシサーバを経由する場合に、マルチメディア情報の中継に問題が生じることを明らかにし、それを解決するための方法を確立した。本技術は、ファイアフォールにより隔離されたプライベート網が増加している現状の中でマルチメディア情報を受配信する上で重要な技術になる。

参考文献

[1] 菅野浩徳、樋地正浩、布川博士：“ コミュニティーインターネットの相互接続実験 ”、平成9年度情報処理学会分散システム運用技術研究会 No.6 97-DSM-6 pp.19-24.

[2] http://www.tia.ad.jp/trix/report/

[3] 東北インターネット協議会：“ 1996年度　東北地域内インターネット相互接続研究会　研究報告書 ”、http://www.tia.ad.jp/trix/report/1996/TRIX.Report.1996.pdf、1997.4.

[4] 菅野浩徳、樋地正浩、布川博士：“ 東北地域内インターネット相互接続ネットワーク（TRIX）のトラフィック分析（1）”、平成9年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集、pp.311、1997.8.

[5] 東北インターネット協議会：“ 東北地域内インターネット相互接続実験 ”、http://www.tia.ad.jp/trix/report/1997/toyama/TRIX.OHP.Toyama.pdf、1997.7.

[6] 今野幸典、樋地正浩：“ プライベートなインターネットエクスチェンジを実現する経路制御手法の提案 ”、平成9年度情報処理学会分散システム運用技術研究会 97-DSM-7、Vol.97、No.97、 pp.7-12.、1997.10.

[7] 武井洋介、太田耕平、今野幸典、樋地正浩、加藤寧、曽根秀昭、根元義章：“ Local IX のトラフィック解析に基づく接続組織の利用特性 ”、平成10年度情報処理学会分散システム運用技術研究会

[8] 菅野浩徳、曽根秀昭、加藤寧、樋地正浩、今野幸典、脇山俊一郎、根元義章：“ Local-IXでのキャッシュサーバ連係によるトラヒックの傾向分析 ”、平成11年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, pp.173, 1999

[9] 脇山俊一郎、樋地正浩、菅野浩徳、曽根秀昭、今野幸典：“ 東北地域内インターネット相互接続ポイントの現状とオーディオ・ビデオストリーム配信の評価実験について ”、平成10年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集、pp.332、1998年8月

[10] 本田修啓、尾形直秀、高樋 昌、平山和弘：“地域におけるネットワーク技術者コミュニティの育成”、平成10年度情報処理学会分散システム運用技術研究会
[11] 菊池豊、樋地正浩、八代一浩、中川郁夫：“地域IXの現状と今後の展開”、日本ソフトウェア科学会第2回インターネットテクノロジーワークショップ（WIT99）研究会資料シリーズ No.13, ISSN 1341-870X,p.38-44、1999年8月
[12] 地域振興のための電波利用に関する調査研究会：”小電力データ通信システムと地域通信網との接続による動画電送に関する調査研究”、2000年4月
[13] 樋地正浩、今野幸典、曽根秀昭、脇山俊一郎、菅野浩徳：“小電力無線通信による地域内ライブ動画像配信実験”、平成11年度電子情報通信学会技術研究報告(SSE-99-165) Vol.99 No.674、pp.25-30、2000年3月

＜発 表 資 料＞

題　　名	掲載誌・学会名等	発表年月
Local-IXでのキャッシュサーバ連係によるトラヒックの傾向分析	電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	1999年8月
地域IXの現状と今後の展開	日本ソフトウェア科学会第2回インターネットテクノロジーワークショップ(WIT99)研究会資料シリーズNo.13	1999年8月
小電力無線通信による地域内ライブ動画像配信実験	電子情報通信学会技術研究報告(SSE-99-165)Vol.99 No.674	1998年8月
小電力データ通信システムと地域通信網との接続による動画電送に関する調査研究報告書		2000年4月
無線IPネットワークの帯域特性とその影響	ITRC（インターネット技術研究委員会）第7回研究会	2000年5月
小電力無線ネットワークによる地域内ライブ動画像配信実験	ITRC（インターネット技術研究委員会）第7回研究会	2000年5月
小電力無線ネットワークによる地域ネットワーク接続実験	JANGO (Japan Network Operators' Group) Meeting	2000年6月
分散地域IXの運用	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）
小電力無線通信システムと地域IXによる地域情報環境構築実験	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）
小電力無線通信システムの評価	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）
小電力無線通信システムとCATVインターネットによる実験網の構成	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）
マルチホーム環境における動的経路変更を考慮したサーバ選択手法	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）
小電力無線通信システムを用いた動画像の移動中継実験	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）
小電力無線通信システムとCATVインターネットによる講演中継	平成12年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集	2000年8月（発表予定）