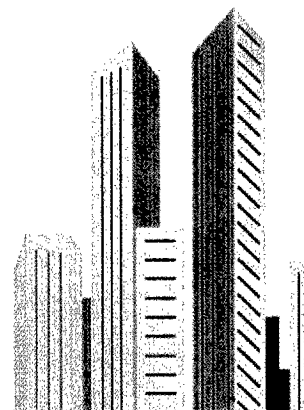


# 3. CATVをアクセス網とした地域ネットワークの展開

—地域における学校ネットワークの高速化—

大塚秀治 麗澤大学  
林 英輔 流通経済大学



## CATVインターネット普及の現状

我が国におけるCATV回線によるインターネット接続の商用サービスは、1996年10月に始まったが、最近の普及状況の広がりには特に著しい。すでに60社以上のCATV局がこのサービスを行い、6万を超える世帯がこのサービスの提供を受けているという。このインターネット通信サービスは、CATV局から加入者家庭にTV信号を配信する回線を利用して通信を行うため、他の通信メディアと比べると、廉価な料金で比

較的に広い帯域幅を利用することができる。TV信号の配信は70MHz以上の周波数帯域が使われるため、同帯域内の空いている領域が通信の下りに、55MHzより低い帯域が上り用の帯域として使用される。ケーブルTV用の回線網では、HFC (Hybrid Fiber Coaxial) システムが採用され、局舎からの光ファイバー幹線に分配用同軸ケーブルを接続し、途中のタップオフからは各ユーザ宅へ向けて分配する (図-1参照)。各ユーザ宅内で生じる低周波ノイズは、木構造トポロジーのケーブルを経由し、流合雑音となって局側のヘ

ッドエンドシステムに伝播するため、ケーブルTVの通信システムでは、この問題の技術的解決が要求される。実際には、モデム変調方式や通信方式において、このノイズを抑えるための技術が採用されている。我が国におけるCATVインターネットの運用が始まった時期は、すでにこのようなケーブルモデム製品を入手できる状況にあった。しかし、SN比を改善するために採用された技術は、メーカーごとに異なっており<sup>1)</sup>、これまで、各CATVインターネットプロバイダは、自社が採用したケーブルモデムをユーザに貸与することで採用する通信技術の同一化を図り、通信サービスの円滑運用を行ってきた (図-2、図-3)。

ケーブルモデムの標準化動向としては、1995年に北米でMCNS (Multimedia Cable Network Systems Partners) が設立され、低価格化と利用者の便宜のため、標準化をめざした仕様、DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) がまとめられて、

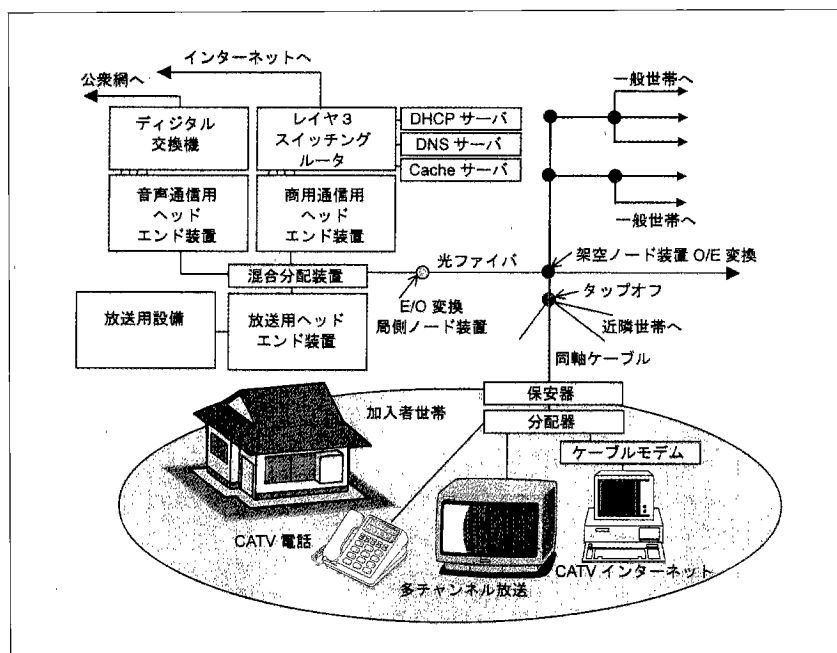


図-1 CATVインターネットの概要

この図に示されるのは1つの方式の例であり、その他の構成がとられる場合もある。この例では、CATV回線を利用して多チャンネル配信、電話サービス、インターネットサービスを行う場合の構成となっている。通常1つのノードで数百から数千世帯をサービスする。

ITU-Tに提案され、1998年3月にITU-T J.112 Annex Bとして国際標準に採用される流れがあった。我が国では、DOCSISを基にした標準仕様の策定が行われて、ITU-T J.112 Annex Cとして標準化された<sup>2)</sup>。1999年に入ると、国内でもDOCSIS 1.0のケーブルモデムシステム製品が、国内メーカーも含めて、複数のメーカーから発売されている。ケーブルモデムシステムは、ユーザ宅内に設置するケーブルモデムと、CATV局側に設置するヘッドエンドモデムから構成される。インターネットに接続するには、ヘッドエンドモデムをIPルータに接続する必要があるが、ヘッドエンドモデムとIPルータを一体化したケーブル/IP用のルータ製品も発売されている。DOCSIS 1.0では、基本的な機能のみの搭載となっているが、機能強化の方向で、すでにDOCSIS 1.1の仕様が発表されており、DOCSIS 1.2の検討が進められている。また、DOCSIS仕様ではないが、当初、問題点として指摘されていた集合住宅からの流合雑音の回避技術も、集合住宅内での高周波伝送を採用したモデム製品が発表されている。

CATVインターネットサービスでは、最初に述べたようにTV信号を配信するのと同じ回線をインターネット通信にも使用し、また、情報の配信に使用される周波数が比較的高周波域であるために低料金で比較的広い帯域幅のインターネット通信サービスが可能となっている。また上述のように、ケーブルモデムシステムの標準化製品の登場によって、今後、家庭やSOHOからのマルチメディア高速通信アクセス網のメディアとして期待が高まっている(図-4)。

一方、CATVインターネットサービスの加入者が増加し、利用状況も高くなるにつれて、CATV局からインターネットへのアップリンク回線のトラフィックが増大する。ユーザ



図-2 CATVインターネット用ヘッドエンド装置

これは独自仕様を採用するCOM2100ヘッドエンド装置で、複数のLANインタフェースを持ち、仮想LANを構成することによりインタフェースの負荷分散が可能となっている。

図-3 ノード装置とタップオフ

写真上は架線上に設置されている光接合点(クロージャ)とノード装置(右側)で、ここから同軸ケーブルによる配信が行われる。写真下は、タップオフと呼ばれる装置で各世帯への分岐はこの装置によって行われる。通常は架空設置される。

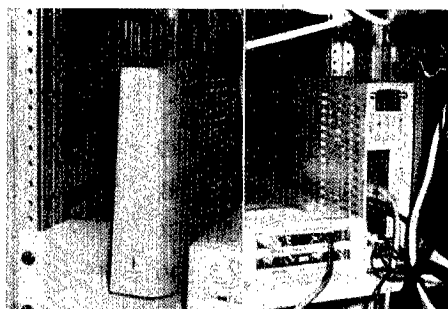
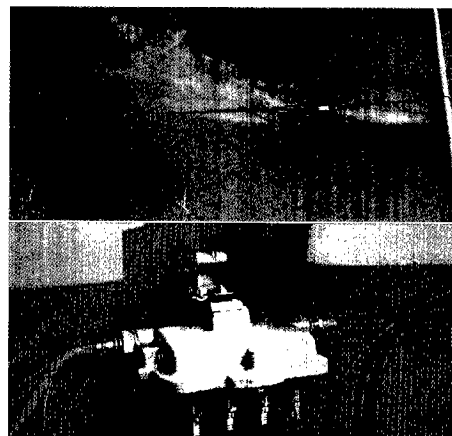


図-4 DOCSIS準拠ケーブルモデム

写真はDOCSIS 1.0仕様のGI社製SB2100ケーブルモデムの正面(左)と背面(右)である。操作する部分は電源スイッチのみである。背面に保安器より分配された同軸ケーブルが接続され(下側)、LANケーブルが背面中央へ接続されていることが分かる。

宅から局までの帯域幅が比較的に広い。そのため、アップリンク回線の負荷は大きくなる。そのためにアップリンク回線の帯域幅の強化を行うと、そのコストはユーザの利用料金負担の増加につながる。ここに、このメディア運用の問題点が存在する。

### 学校ネットワークの高速化への適用

平成10年度から開始された学校インターネット高度化モデル地域プロジェクト(文部省・郵政省共同事業)では、全国の30地域(195市町村、1076校)で各地域内約30の小中高등학교を高速・大容量の情報通信基盤に接続して先進的な教育実験が行われている。すでにネットワーク基盤と情報通信システムの導入整備が終わり、平成11年9月から試験

運用に入っている。そこでは、多数の地域でCATVインターネットが情報通信基盤として採用されている。

学校の場合は、教室内の多数のパソコンが校内LANに接続されていて、これをCATVネットワークへ接続する必要がある。校内LANの送受信トラフィック量が多く、また、学校と局をつなぐケーブルは一般ユーザ宅用と共用である。ここに学校をつなぐ場合に解決すべき技術問題が存在する。

以下では、前述のプロジェクトにおいてモデル地区の1つに指定された柏市(千葉県)の学校ネットワーク実験について、一般的な学校LANの特徴を踏まえながら、CATVインターネット利用例を具体的に解説する。



図-5 学校情報化とインターネットの活用

情報活用能力の育成のためコンピュータの整備と校内LANの整備が進む。写真は柏市内の小学校1年生の授業風景。この学校では、このような集中型のコンピュータ教室の他、各教室でもネットワークが利用できるように校内LANが整備されている。しかし、このように充実した環境を持つ学校はまだ少ない。

## 柏市の学校ネットワークへの取組み

柏市では、地域の社会貢献型の地域教育ネットワーク組織である柏インターネットユニオン (KIU) の技術面・運用面での支援のもとで、1997年より地域内の小中高等学校のネットワークで接続し、学校教育にインターネットを活用するとともに、そのためのネットワーク運用問題を調査する実験に取り組んできた。

柏市の方針では、ネットワーク利用環境の安全性の確保と有害情報の排除が重視されていたことから、KIUは行政単位で運用ポリシーを決定できるネットワーク設備をKIUの基幹ネットワーク内に設置し、ファイアウォールによる防御機能と流通情報のフィルタリング機能を整備した。この設備は、KIU柏教育バリアセグメントと呼ばれ、機器の運用管理はKIUが行い、セキュリティやポリシーの設計と実装は、柏市が行った。当初は、ISDNによる学校接続を用いて運用が開始された。現在では、柏市立小中学校、柏市周辺地区にある県立高校、私立学校等約20校が、専用線またはISDNによってKIUのネットワークに接続されている (図-5)。

一方、1997年末よりこの地域で展開するCATV会社 (タイトスコミュニケーションズ) がインターネットアクセスサービスを開始した。この時期より、CATVインターネットの利用方法について柏市教

育研究所、KIUおよびタイトスコミュニケーションズの3者で検討が開始された。

そこで検討された主な課題は、①直接学校をCATVインターネットへ接続するのではなく、KIUネットワークへのアクセス網として利用する方法と、②高速性を生かしながら、セキュリティの確保とフィルタリング機能を接続する学校群に対してのみ実現する方法であった。この内容をもとにしてVPNによる保護者の教育ネットワークへの参画、防災対策を可能とする定点観測カメラによる校庭映像の配信システム、セキュリティを確保するための校内ネットワーク分割方式の提案を加え、平成10年度「学校インターネット高度化モデル地域プロジェクト (文部省・郵政省による平成10年度第3次補正予算事業)」に応募し、一部修正後に採択された。

本事業では、当初の接続学校数が削減され、上記のVPNによる保護者の参画機能や、定点カメラ、校内ネットワークの分割などの諸機能も採択されなかったが、ほぼ元の構想通りCATVインターネットをアクセス網として利用できる環境整備が可能となった。柏地域では新たに20校の学校をインターネット接続できることとなった。ただし、埼玉県川口市 (CATVによる接続10校) との複数地域指定となった。この事業によるネットワークでは、各モデル地区に地区センターが、また各地区センターを統合接続する中央センターが三鷹市に設置された。柏市と川口市からなる複合地区のモデル地区

センターは、柏市に設置されることに決まり、センターのNOCシステムは麗澤大学内にあるKIUネットワークのNOCシステムに隣接して設置されることになった。

地区内に広く分布する学校の校内LANをCATV網に接続して毎秒数百キロ～数メガビットの伝送速度で運用が行われる場合、解決すべき2つの課題がある。第1は、LANを接続するCATV網の通信処理システムを校内LANからのインターネット利用に適するように設備・設定する課題であり、第2はCATV網につながるLANのセキュリティ機能を整備する課題である (図-6)。

## 現状における学校LANの特徴

全国的に見ると、小中高等学校における校内LANの未設置校が多い。また、設置されている場合でも、現状ではインターネット接続に次のような特徴がある。多くの場合、数台から数十台のコンピュータ教室を拡張する形で構成され、教材を準備する部屋や職員室へのつぎはぎ的拡張によって作られているものが多い。これらのネットワークケーブル敷設工事は、ボランティアの手によるものや、生徒や教員によって手作的に各教室まで情報コンセントが延長されるケースが多く、本格的な校内LANの整備は、私学の一部や研究拠点校などで散見される程度である。このようなケースでは、セキュリティ機能の整備が不十分であるため、教師のPC上に作成した成績ファイルの内容を生徒用PCで表示可能である等の不都合が生じたり、外部からの不正アクセスを防止できなかったり、校内からの有害情報へのアクセスが行われたりする事態が発生する。

これまで学校のインターネット接続の費用は、予算面で低く抑えられ

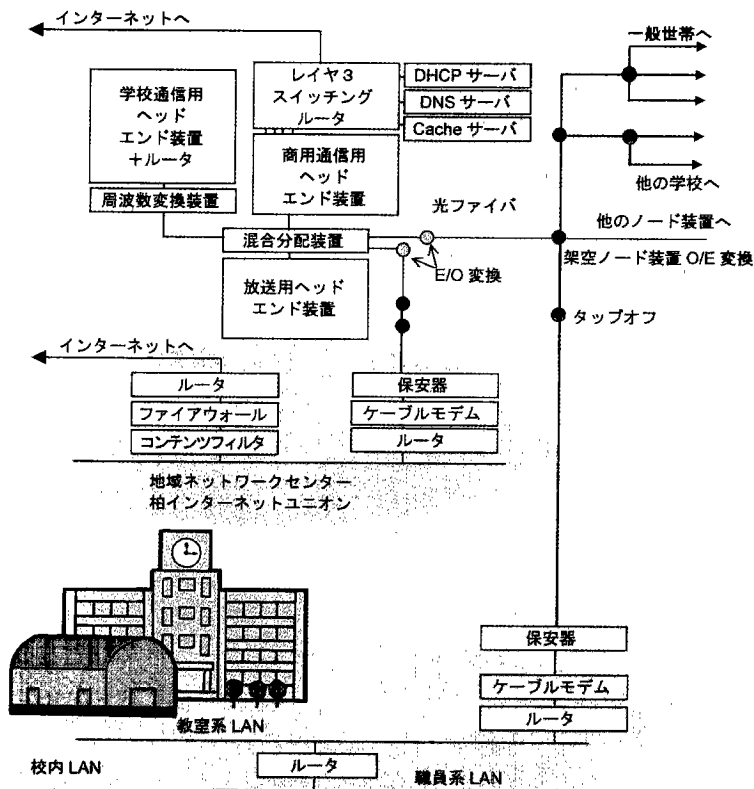


図-6 CATVをアクセス網とした学校接続

CATV網をアクセス網とすることで、ネットワークの高速化が実現できる。学校ネットワークを一般加入者のインターネット利用と切り離すため、学校ネットワーク用のヘッドエンド装置が増設されている。学校からの利用はいったん、地域ネットワークセンターを経由して、ファイアウォールやコンテンツフィルタを経ることとなる。

柏市の20校をCATV網で接続するタイタスコミュニケーションズのCATV局には、この事業に参加する対象校に設置されるケーブルモデムと対向する形に、通信用のヘッドエンドシステムとして、Cisco uBRケーブルモデムヘッドエンドが導入された。このシステムは、通信用ヘッドエンドシステムとルーターの双方を一体化したシステムである。各学校に設置されたケーブルモデムは、このヘッドエンドシステムとの協調性の考慮からGI社の製品が採用された。ヘッドエンドとケーブルモデムのこの製品の組合せは、ケーブルモデムの国際標準DOCSIS 1.0に準拠した通信運用を実現するものである。タイタスコミュニケーションズでは、従来から、COM21社のケーブルモデムとこれに対向する局側のヘッドエンドとしてCOM2100コントローラを使用しており、KIUでも、この製品の組合せを用いて学校ネットワーク実現計画のシステム設計を構想していた。COM2100コントローラは、ルーターの機能は持たない代わりに、VLAN（仮想LAN）を実現する機能を有し、通信方式ではATMアダプテーション層のプロトコルを実現する機構を有するシステムである。この組合せによって、柏市の学校の校内LANを接続する場合の経路制御を実現する具体的方法案の準備もしていた。しかし、調達段階でDOCSIS規準モデム仕様が出て、前述のシステムの採用になった。したがって、CATV局内では、一般ユーザの世帯の接続サービスを行うCOM21系と、校内LANを接続するDOCSIS系のヘッドエンドが混在し

ていたため、インターネットに接続する回線は低速に抑えられている。このため、生徒が随時外部に接続して情報を取り寄せたり、発信したりする機会が少ないか、まったくない状況である。また、校内LANが直接の上位接続として自治体の教育センターに接続したイントラネット運用によるセキュリティ確保の傘下にあったため、大きな破綻なく運用されてきた例も多い。各学校が高速ネットワークでインターネットに接続されるようになると、ネットワークの安全性、外部からの攪乱、内・外部からの不正アクセスに関する事情が一変する可能性がある。前述のモデル地区事業では、全対象学校と地区センターを包含する巨大イントラネットの採用等により、一定の保護措置を講じているが、このプロジェクト事業の終了後は、この措置はなくなる。

一方、教育にインターネットを利用する必要性の見地から、校内ネットワークの対外アクセス線の高速化は重要である。柏市の学校ネットワ

ークでは、以前から運用しているKIUのネットワークに対して、内外からの不正アクセスや有害情報へのアクセスに関して、プロトタイプとなるセキュリティ確保のシステム措置を講じてきたが、同じ措置を今回のモデル地区事業のネットワークに対しても講じた。

### 実験ネットワークの基本構成

この事業は、通信放送機構(TAO)が主導する形で進められ、地域内でのネットワーク設計の自由度は少ない。前述のようにKIUでは、CATVインターネットの利用に関して独自の計画を検討し、システムの大まかな設計案を作成していたが、実際に構築するシステムは、これに大幅な修正を施すものとなった。また、この事業のネットワークは、全国に分布する1076校を10.0.0.0/8のクラスAプライベートアドレスで接続する巨大イントラネットとなっている。

て運用されている。CATV局と各学校を接続する通信路は商用のために整備されている既設網が使われるが、変調帯域を変更することで、信号分離の問題を解決している。このため、商用系のネットワークとこの事業で整備される学校用のネットワークは論理的に完全に分離されたものとなっている。

CATV局と各学校の接続回線の帯域幅は、上り下り方向とも、1.5Mbpsが保証されている。校内に設置されるケーブルモデムは、校内側（屋内側）のインタフェースとしてEthernetを1ポート持つ。CATV網に接続する校内LANのエッジルータには、IPアドレスが静的に割り当てられている。一方、一般に商用サービスの場合、MACアドレスによる認証機能付きでIPアドレスが動的に割り当てられていることが多く、この場合はLAN間接続の運用技術が複雑になる。

各学校とCATV局を接続するネットワークのインターネットへのアップリンクは、CATV局が一般ユーザのために運用しているアップリンク回線を使用せず、CATV局と地区センターのNOC間を接続する回線を使用し、地区センターが持つインターネットへの接続回線を利用することとなる。

柏市の地区センターには、地区内の事業参加校が使用するサーバ群が設置され、インターネット接続性を確保する通信機器が設置された。ここから商用プロバイダへファイアウォールを介して6Mbpsの専用線で接続される。また、三鷹市に構築された中央ネットワークセンターへATM回線（メガリンク2Mbps）で接続される。この他、柏教育研究所に学習用コンテンツ等を作成する拠点を設け1.5Mbpsの専用回線で接続している。また、川口地域の学校を接続するために、1.5Mbpsの専用回線が措置されている。

CATV局とNOC間の回線は、対

向で3Mbpsの帯域をCATVの設備により確保している。ケーブルモデムと校内LANは、Ethernetインタフェースを2つ持つCisco製ルータ（Cisco2514）で接続されるが、このルータは本来専用線などによるリモート接続用に設計されており、Ethernetインタフェース間の転送能力は高々1.5Mbps程度であるため、CATV回線速度には対応できない。しかし当面の学校接続に要する帯域が1.5Mbps程度であることから、これでも十分な性能となっている。

校内LANには、基本的にサーバは設置されず、NOCに置かれるサーバ群を共有することとなる。柏市ではこの事業とは別に年次計画で整備している資源や既存設備を使って、WindowsNTによる校内LANサーバを運用している。また、KIUが運用支援を行うことでPC-UNIXサーバを運用している。

## 運用上の配慮

### セキュリティ対策

校内LANで問題となるのは、校内のネットワークセキュリティ対策である。校外との接続運用においては、CATVとの接続に用いる校内ルータにセキュリテールールを記述することにより対処しており、インターネットに対するセキュリティは地区NOCのファイアウォールで対応している。

校内用サーバとして用いられるWindowsNTや教員用に使われるWindowsPCでは、Webサーバの設定やファイル共有が容易であるため、意図しない情報公開が発生しかねない。校内の教員用サーバとして運用を開始したつもりが、児童が参照できたり、他校から参照できたりする設定上の事故をよく聞く。そこで、柏地域では、校内ネットワークを2分割して、教員系と教室系に分けることとした。

インターネット側から見て教室系

を手前に、その向こう側に教員系をルータにより分割して接続する。教員系では成績情報等の扱いが比較的安心してできるようにしようという配慮である。また、校内専用Webサーバを設置することを前提とし、CATV接続部分のルータにアクセスリストを定義することで、外部から校内へのWebアクセスを禁止している。このために公開用サーバについては、NOCのサーバを共用することとしている。

このように校内ネットワークを分割するためには、ローカルルータが必要となるが、複数のイーサネットインタフェースを持つルータは本事業では措置されなかった。そこで、PC-UNIX（FreeBSD）にインタフェースカードを増設したものを学校数分用意して、校内LANの分割に利用している。i486（100MHz）程度のPCでも5Mbps程度の転送速度を確保することができるので、安価なローカルルータとして活用できる。しかし、学校ごとにこれを構築するには、技術を要するため、KIUが一括設定を行い、リモートメンテナンスを行うという方法で運用上の問題を解決している。現在のところ、このPCルータは単にネットワークをセグメント分割する機能だけを持ち、Windows98/NT等で教員が安易にファイル共有を行った場合に、教室系のパソコンからのアクセスを未然に防ぐ程度の機能しかない。当然、パケットフィルタリングや本格的なアプリケーションゲートウェイ機能を使っても分割も重要となるが、リモートからのメンテナンスを勘案すると複雑なルール設定はなじまない。この点からもセキュリテールールを記述でき、かつ安価で高速な専用のローカルルータの開発が望まれる。

### ポリシー分割の問題

本事業では、川口市の学校10校が同じファイアウォールを共用して

インターネットとの接続を行う。このため、セキュリティポリシーやフィルタリングポリシーを柏市として独自に決定することが難しい。

柏教育バリアセグメントの運用実績から、同一教育委員会内であっても小学校と中学校では、個別にポリシーを決定したい場合もあることが分かっている。これまでは安全側に倒した運用が行われており、小学校で許容されるポリシーが適用されている。この判断は教育委員会内の専門グループによってなされるため、合意形成は比較的容易で、機動的にポリシーの実装がなされてきた。しかし、本事業では異なる行政間での合意形成が必要となり、機動的な運用面では疑問が多い。したがって、行政単位でポリシーを実装できる装置が必要となる。この問題の解決策は現在のところ見出されていないが、装置を増設するなどの配慮を行って解決することを検討している。

#### キャッシュサーバの有効性

柏市では、前述のPC-UNIXによるルータをWeb等のキャッシュサーバとして利用している。しかし、ISDNやDA64といった低速の専用線で有効なキャッシュサーバについては、当初1.5Mbpsのバックボーンでは不要であると考えられていて、機能の実装をしたものの利用はなされない設定が行われた。しかしながら、授業環境では同一のコンテンツへのアクセス頻度が高いため、一斉アクセスに対して、たとえ性能の低いPCによるUNIXサーバでも、やはり有効であることが示された。これは、コンテンツを提供する側のサーバの能力や集中的なアクセスへの対処能力にもよるが、一斉に同じ操作を指導するようなパソコン教室で必須のものということになる。

詳細な分析を行ってはいないが、キャッシュを多段構成にして、互いに連携させるような運用は、同一地域の場合に有効であると思われる。

#### リモートバックアップ方式

本実験では、常時接続型のCATVアクセス網によってネットワークが構成されるため、アクセス管理などISDNを使った間欠接続に見られる管理工数は低減する。また、ケーブルモデムおよびケーブルモデムと校内LANを接続する専用ルータについても、取り扱いが容易で、電源以外に操作する部分はない。さらに、校内のWindowsNTサーバを除けば、サーバは共用化されており、ユーザ管理も一元的に行われるため、教育現場でのネットワーク管理工数は抑えられる。しかし、校内LANを分割するために用いるPC-UNIXによるルータは、前述のようにキャッシュサーバとしても利用されるため、これが故障すると、その復旧に時間を要することが予想される。

これについては、予備のマシンを用意しておき、障害が発生した場合には、柏教育研究所の要員が手順書にしたがって復旧させることになっている。しかし、この方法では、PC-UNIX機を校内メールサーバなど他の目的で運用した場合に、設定情報や蓄積情報を失うことになりかねない。学校内でのサーバのバックアップ作業を軽減するために、CATVの高速性を利用して地区NOC部分のサーバに夜間バックアップを行い、障害時に代替機にネットワークを利用してデータを復元することの可能性を実験的に検討している。

### 柏市学校ネットワーク 実験の意義と課題

CATV網を校内LANからインターネットへのアクセス網として利用する場合に必要なとされるのは、①上りおよび下りそれぞれの帯域幅を一般ユーザ世帯のそれと区別して運用できるようにすること、②LAN側が必要とするポリシールーティングを実現する経路制御運用を実現する

ことである。このためには、CATV局側においてLANを接続するチャンネルと、一般ユーザ世帯を接続するチャンネルを論理的に区別して運用する必要がある。柏市の実験は、この実現例にあたる。

また、柏市の実験では、各学校LANをインターネット接続性が確保されている地域ネットワークに接続するためのアクセス回線としてもCATV網を活用している。これは、冒頭で述べたCATVインターネットサービスの運用上の問題点であるインターネットへのアップリンク混雑問題の回避策に相当している。

CATV網に接続する場合、教育的配慮による保護対策がなされたネットワークでないことから、セキュリティ対策はもっぱらLAN側で講じる必要がある。柏市の実験では、各学校の校内LANは地域センターに接続しており、そのNOCを中心とする自律的なシステムを構成していることから、セキュリティ措置はNOC位置と各校内LANの双方で分担する形で実現している。セキュリティ対策の分散分担は、学校間でNOCにある情報サーバを共有できる利点も含め、複数の学校が1つのクラスター型地域ネットワークを構成する場合の利点である。この利点が実際に活かされるためには、このクラスターの規模が適正な範囲内にある必要がある。柏市の実験では、今後の実験期間を通じて、セキュリティ運用の実績、通信トラフィックや情報サーバの負荷の状況を調査することによって、この検証を行うことが望まれる。

#### 参考文献

- 1) Wells, R.(著), 中川正雄, 藤原 洋 (訳): 高速インターネットとケーブルモデム, アスキー出版局 (1996).
- 2) 仲之吉孝, 松本美明, 百名盛久: CATVによるマルチメディア通信, bit, Vol.31, No.2, pp.85-94, 共立出版 (1999).  
(平成11年12月8日受付)