

## 大規模ネットワーク構築上の課題

浅野正一郎 学術情報センター

### 学術情報ネットワーク

1986年4月に創設された学術情報センター (NACSIS; National Center for Science Information Systems) は、文部省大学共同利用機関に位置づけられたものであり、全国大学などで行われる学術研究の振興に必要な「学術情報システム」の基盤整備を目的として、研究開発ならびに関連事業を実施している。ここで、学術情報システムは総合的な概念を意味しており、学術情報センターはその中核的な機関ではあるが、国立大学に所在する図書館、大型計算機センター、総合情報処理センター、情報処理センターなどと連携して、学術情報の流通体制を整備するものである。

大学の図書館は、歴史的に学術文献や図書などの一時資料を蓄積しており、その後コンピュータ化を伴い、学術資料の総合目録や所在情報の検索サービスに加えて、電子図書館サービスにも転進を図っているところである。また大型計算機センターをはじめとする情報処理センター群は、スーパーコンピュータを含むコンピ

ューティング資源を学術研究に提供しているが、今日ではデータベースの整備や学内情報通信システム (学内LAN) の構築と運用へと使命を変えつつあり、特にインターネット関連のサーバの運用が大きな役割となりつつある。

学術情報センターは創設の直後から、大学図書館と連携しつつ全国的な総合目録・所在情報サービスを実施しており、大学図書館の利用者用オンライン閲覧カタログ (OPAC; Online Public Access Catalog) と連動して、図書ならびに雑誌 (学会誌) に関する最新のカタログ情報を全国的な検索に供している。同様に、50種類以上 (総計6000万件以上) のデータベースを対象に情報検索サービスを実施している。特に、学協会の協力を得て、学術論文 (論文誌ならびに口頭発表の速報) の全文 (Full Text) データベース化を進めており、これに1997年4月から開始した電子図書館サービスを加えて、総合的なサービスへと拡大している。

これらのサービスの利用者は国公立大学の研究者であり、加えて国立ならびに公的な研究実施機関、および企業などに所属する研究者の利用が可能となっている。全国からの利用者と、大学などに設置される多様なコンピュータ設備との情報通信を可能とし、学術情報システムを形成する通信インフラとして位置づけるのが、本稿で紹介する「学術情報ネットワーク」である。

表-1 学術情報ネットワークの経緯

第一期	
・1986年～1991年	パケット網の全国展開 (29カ所にノードを整備)
・1989年	米国との接続 (国際インターネット接続)
・1990年	英国研究ネットワークと接続
第二期	
・1992年	インターネット幹線の運用
第三期	
・1994年	ATM, フレームリレーの運用
・1996年	広域ATM運用 ネットワーク管理の強化
・1997年	米国とのATM接続
・1998年	ATM-SVC運用

### 学術情報ネットワークの経緯

学術情報ネットワークの拡大の経緯を表-1に要約している。

学術情報ネットワークの第一期は、パケット網を全国に展開することに主力が注がれた。当時のインターネットは、このパケット網を使用して運用されていた。また、1987年に米国NSFNETとの接続が行われているが、これが日本で最初のIPによるインターネット接続であり、国際的なIPアドレスの運用はここから始まる。

第二期は、学術研究用のインターネットバックボーンとしてのSINETの展開である。現在の学術情報ネットワークのトラフィックの大半はSINETであるが、年々のトラフィックの増大に見合うように回線容量も増大し、当初の192Kb/s（専用回線）から今日は135Mb/s（ATM専用回線）となっている。また、SINETを幹線として使用する大学などの機関の総数は、1998年7月時点で737機関に上っている。

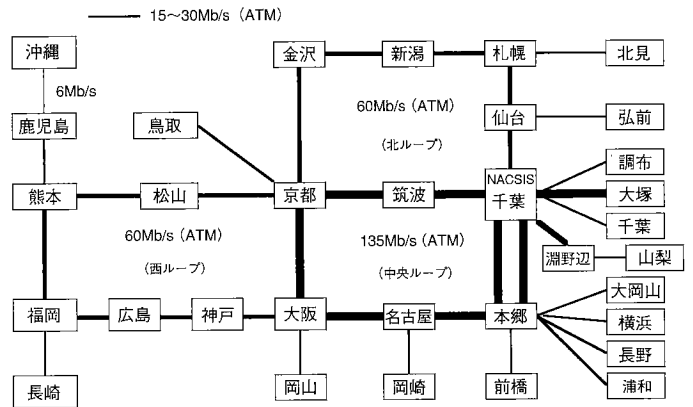
第三期には、高速化する回線の制御方式として、ATMならびにフレームリレー（FR）をすべての地点（29カ所）に導入している。ATMの導入は、1994年と1996年の2回に分けて行われているが、前者ではパケット、FRならびにインターネットのすべてをATMセルにより多重伝送することを目的に導入したものであり、後者はATMによりPVCならびにSVCサービスを提供し、また大学などで運用を始めているATM-LAN（本特集「4. 高速ネットワークの運用管理」参照）を直接幹線に接続するために導入したものであり、前者のATMも同時に使用している。

このような経緯による学術情報ネットワークの平成10年度の構成を図-1に示している。

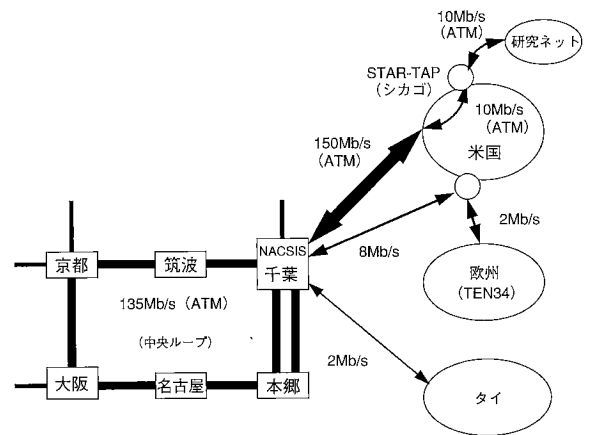
### ATM運用の概要

1996年度に学術情報センターのATMの他に、大学など53機関にATM-LANが導入された。導入手続きを開始する前に、学術情報センターが中心となり、全国の大学がATMを導入するために使用する「共通仕様」をとりまとめている。これは、学術情報ネットワークの広域制御を行うATMと、大学ATM-LANとが共通の機能を備えることで、大学間のATM通信を直接可能とすることを目的としている。このような、仕様に従って製品が導入されている。

ATM通信には、大別して、固定通信パス（Permanent Virtual Connection: PVC）と交換型通信パス（Switched Virtual Connection: SVC）とがある（本特集「4. 高速ネットワークの運用管理」囲い込み参照）。これとは独立に、パスの属性と通信帯域を規定する。論理パスの属性には、固定ビットレート（CBR）のもの、最大ビットレートを規定しベストエフォートで帯域を共用するもの（UBR）、最大ビットレートと平均ビットレートを規定し通信品質を保証するもの（VBR）を提供する。インターネットの環境で同時に生起する多数のSVCに対して最小レートを保証しつつ中継帯域の有効利用を図るABRが注目されているが、ABRについては現状のNIC（Network Interface Card）製品やATM交換機の仕様が十分に目的に適合するものとは見なされないために、現在の共通仕様の範囲には含まれていない。また、SINETを構成するIPルータ間はPVCにて接



(a) 学術情報ネットワークの構成



(b) 学術情報ネットワークの構成（国際ネットワーク）

図-1 学術情報ネットワークの概要

続し、ATM-LAN配下のIPルータに対しても可能な限りSINETルータにATM/PVCにより接続することを推奨し、大学間での共同研究などに使用するための帯域についてはPVCならびにSVCにより1つのVCリンクで接続することとしている。SVCについても、提供が可能となっている。

一方、図-1 (a) に示す回線構成に設定する各属性の通信帯域については、以下を原則としている。

- ①最もトラフィックが多く基幹的なサービスであるSINETに優先的に帯域とPVCを割り当てる。
- ②大学などを直結するPVCについては、大学間で合意した区間について、割当て帯域の中で設定する。
- ③SVCについては、共通の最小保証帯域（当面2Mb/s）に対して中継資源管理を行い呼を設定する。このため中継容量の大きいノードに接続する場合とそれ以外では呼損確率が異なることになる。

このような方針を採用することにより、以下が実現できることになる。

- (1) 現在のインターネットより通信品質が高いバックボーンサービスを提供することができる。
- (2) 大学間でATM帯域を利用した実験が可能になる。これには、遠隔制御、遠隔診療などをはじめとする研究開発があり、さらに大学間をカットスルーするインターネットの運用形態の実験なども想定できる。
- (3) SVCの運用により、遠隔講義などのオンデマンドによる通信利用が可能となる。

## 大規模ネットワークとATM

### 大規模ネットワークの課題

SINETの利用の大半はインターネットであるが、広く使用されているIPルータをSINETバックボーンでも使用している。しかし、高性能IPルータといえども、複数の高速回線を同時に処理するときには性能の限界に達することが生じ、しかも多段中継を行うときにはトラフィックの大きい区間にIPパケットの欠落を生じるなど、品質を確保することが困難な状況が生じやすい。また、同様にトラフィックの増加を原因として中継遅延の増加を招きやすい。

これらに対して、IPルータの構成を適正化することで悪しき現象の発生を防ぐことは可能であろうが、より積極的にサービス品質と性能を保証するために、IPルータのボトルネックを生じない方策が大規模ネットワークでは採用されている。この代表がATMである。

ATMを使用すると、ルータ間に通信容量を設定した論理的なパス(PVCまたはSVC)を設けることができる。しかも、ネットワークトポロジーとは独立に、離れたルータの間にパスを設けることが可能である。これは一般に、カットスルー(Cut Through)と呼ばれるパスである。カットスルーパスの設定をPVCにより静的(固定的)に行う場合と、SVCを用いて動的(可変)に行う場合とに分類されるが、後者はアプリケーションのストリーム<sup>TM</sup>単位にカットスルーを実現するなど、より複雑な制御に発展させることもできる。

米国の大手のISP(Internet Service Provider)は静的なカットスルーを使用する例が多い。また、ATMが使用する幹線速度もOC12(622Mb/s)やOC48(2.4Gb/s)である場合もあり、ATMとのインタフェースも高速化した運用となっている例がある。

いずれにしても、IPルータ間にATMによるカットスルーを用いて、IP中継段数を削減し、ルータのボトルネックの発生を防止しつつ、品質と性能を保証したバックボーンの運用を採用する例は一般的となっている。今後は、ATM以外にもカットスルーを実現する方式が着目されており、これが超高速伝送方式と結びついて次世代のバックボーンを形成することになる。米国をはじめとするInternet2<sup>TM</sup>の開発でも、このような技

術開発は中心的な課題となっている。

### SINETのカットスルー

SINETでATMを導入した技術的な目的の1つは、カットスルーの導入にある。

ATM導入の当初は、ループ形状のバックボーン部分にカットスルーを採用していた。すなわち、ループトポロジーに存在するすべてのルータは、PVCによるカットスルーパスを有する。これにより、ループ形状の部分では、ルータを2台中継することでIPパケットの転送を完了する。加えて、SINETではすべてのノードにフレームリレー(FR)装置を有する。FRによる論理パスを使用してもカットスルーは実現できることから、SINET上での閉域ネットワーク(巨大科学のネットワークが例となる)では、FRによるカットスルーも使用している。

SINETにおけるATMカットスルーの安定運用が確認された後には、IPパケットの交流の測定を目的とする装置を逐次バックボーンに配置して、主要な交流を抽出している。これにより選択される交流区間に新たにカットスルーパスを設定している。現在は、ループ以外を含むSINETバックボーンを、おおむね、平均2.3台のルータによる中継前後で通過するように配慮している。

カットスルーに使用するパスの総数が増していくと、個々のパスに対する容量の割当てが課題となる。これを次章で採り上げる。

## ATMのトラフィック設計

### トラフィック観測

トラフィック観測にはいくつかの目的がある。学術情報センターとNTTネットワークサービスシステム研究所ならびに同マルチメディアネットワーク研究所とが共同で実施した例では、トラフィックの統計的性質を把握するための観測と、基準のセル損失を実現するための必要帯域を求める観測がある。

#### (1) MMPPパラメータによる手法

SINETのトラフィックの統計的性質を把握するために、MMPP<sup>TM</sup>によるパラメータ同定を実施している<sup>1)</sup>。1997年の代表的な繁忙期と通常期を選定してトラフィック観測を実施し、MMPPを決定するパラメータであるL1, L2(共にArrival Rate)とS1, S2(共に状態遷移確率)を推定している。結果として、これらのパラメータを独立に決定することは困難であったが、平均セル・レート(MCR)とLiの比、ならびにS1/S2が求められている。

同時に、SINETに割り当てた帯域に対して、推定パラメータと観測したMCRに対応するセルを発生させるシミュレーションを実施し、セル損失確率を求めている。

(2) バッファ長の観測による手法

SINETの中継に使用しているATM交換機の中継回線バッファに存在するセル数を観測することは、中継交換においてセル損失がバッファ溢れにより生じることを考慮すれば、QoS制御（本特集「4. 高速ネットワークの運用管理」参照）のための直接的な観測手法となる。

観測では、まずバッファ長の確率分布を求めている。これは、インターネットを代表とする通信がTCPのウィンドウ制御などの周期性を発生すると思われる制御の結果、ランダム・バーストではなく、何らかの相関を有するバーストとなることが指摘されているが、その実態の分析を兼ねて実施したものである。結果は、現在までのトラフィックに関する限りでは相関が認められていない。

このようなバッファ内のセル数分布の観測の結果、中継帯域に対するバッファ溢れ確率（セル損失確率）を求めることができる。

**必要とする中継帯域の算定**

前述の観測の経験に基づき、2通りの帯域の設計を行っている。

第1は、トラフィック推定パラメータを用いてシミュレーションにより所定のセル損失確率を満足する帯域を算定する方式であり、1997年は主にこの方式を採用している。

しかしながら、トラフィックパラメータが変化することや、パラメータの推定に長時間の観測を必要とすることから、日常の検討に使用するためには負担が大きい。

第2は、バッファ内のセル数分布の観測に基づくものである。現在、この方式をもとに、交換機が観測するMCRと帯域に関係づける検討を完了しており、1998年度は本方式による設計を行っている。

しかし、この方式は日常業務に使用する程度に負担が少ないものである反面、相関（Self Similarity）のあるトラフィックなど前提を異にする状況では再考が必要となり、現在別途検討を進めている。ATM網のトラフィック設計（Traffic Engineering）はいまだ完成されてはならず、同様の経験を有する専門家と交流を深めつつ、より実践的な方式を模索していくことが必要な段階である。

**設計方針**

(1) カットスルー容量

物理的な帯域を超えないことは当然であるが、表-2に示す枠組みをVP（Virtual Path）の帯域として設定する。

個々のSINETのバックボーンルータ間には、UBRの帯域の内輪の帯域を原則として設定する。このとき、

表-2 SINETにおけるATM通信の運用

通信パス	伝送属性	帯域の配分
固定パス (PVC)	UBR	SINET (パケット, FR) 5% SINET (IP) 75% 分野別ネットワーク SINETと共有
	CBR	大学間の接続 概 5%
交換型パス (SVC)	UBR	大学間の接続 一般利用 合計 15%
	CBR	

- ルータのトラフィックバランス
  - 使用ルータのATM制御能力を勘案して、可能な限り多くの帯域をPVCの容量の候補とする。次に、
  - 1つのVP帯域の中に設定しているPVCの容量の総和を算定し、これがあらかじめ定めている倍率の内輪となるように調整する（ここで、PVC容量の総和はVP帯域を超えていることに注意されたい）。
- これにより、運用を開始する。

(2) 品質の測定

ATM中継バッファのセル数分布を観測し、セル廃棄率を算定する。もし、セル廃棄率が目標値を超えるときには、目標値に抑えるために必要なVP帯域を算定する。VP帯域が不足するときには、利用可能なVP帯域の調整を行い、帯域を再設定する。

(3) 回線増強

運用により、帯域の不足が解消できない場合は、新規帯域を確保する。また必要に応じて、広域的な帯域資源の再割当を行う。

(4) 効果

- 以上の方針によれば、
- できるだけ多くの容量をカットスルーに使用できる。
  - ATMによる統計多重効果を積極的に活用する。
  - SINETバックボーンでは、均一な品質目標（セル廃棄率）が実現できる。
- が達成できることになる。

**ネットワーク管理**

SINETでは、ノード機器の大半を国立大学に置かせていただいている。しかし、定期的に必要となる大学構内の電気設備の点検などが原因となり、機器の運用が停止する事象が起こりうる。この状況で、ルーティングの動的な切り替えを安定に行うことは、必須の設

計課題となっている。

ATMによる運用を開始した当初から、バックボーンルータ間のPVCにはバックアップ用のPVCが設けられ、ルータのOSPF (Open Shortest Path First) <sup>®</sup>による動的な切り替えを運用してきた<sup>2)</sup>。また将来的には、ATM交換機が、通常のVP網で運用するセルフ・ヒーリング<sup>®</sup>による動的VP設定が可能となれば、固定的なバックアップ帯域の設定によらないで、より高度な運用が実現できよう。

いずれにしろ、ATMのVPやVCと、ルーティング・経路の対応は固定的ではない。ネットワークを管理する立場からは、回線やノード障害にあたり、障害の波及を速やかに判断し、初期の行動を決定できなければならない。すなわち、第1の管理上の課題は、論理性が増している回線や接続の管理と監視を体系的に実現することとなる。

一方、現状のSINETでは、複数の仕様のATM交換機、フレームリレーならびにCLAD<sup>\*</sup>、IPルータ、パケット交換機ならびにノード内の相互接続装置などを多数混在して使用している。これは、マルチベンダの環境であり、また管理プロトコルがSNMP、CMIP<sup>®</sup>ならびに独自仕様などが混在する環境となっており、さらに、管理情報ベース (MIB) の統一が困難な状況であることを意味する。このような中で、上述の管理を可能とし、さらに機器の構成までも管理の対象に含めると、統合的なネットワーク管理機能を新たに必要とすることになる。第2の管理上の課題は、多様な仕様の機器を対象とする統合管理の実現である。

学術情報センターでは、1996年に行ったATMの導入と同時に、統合管理システムの開発が行われている<sup>1)</sup>。また、NTTとの共同研究による「学術研究支援のための超高速情報通信網の研究開発」は、NTTによるマルチメディア共同利用実験の一部に加えられるものであるが、本共同研究の一環として、目的に近いネットワーク管理システムを試作している<sup>3)</sup>。

将来は、機能の改修を続け、より一層高度なシステムとして完成させていかねばならない。

## 今後の課題

1998年10月には、米国に対してATM帯域で150Mb/sの運用に入る。このことは、接続先となる研究ネットワークとの間に、ATMによる国際ネットワークが運用されることを意味している。すでに検討を開始しているが、ATMによる運用は本稿で述べた方策以外の特徴を持っていることがあり、これらとの課題の解決にも努めなければならない。

\* Cell assembly/disassembly. 既存インタフェースとATM網を接続するためのセル変換機能 (装置)。

現在まで、SINET内部で実現したATMの活用はきわめて成功している。しかし、今後の大学構内の超高速LANとの接続のためには、超高速バックボーンが必要となるのは必須であり、また運用も多様化していくことが予想される。現在の知見に基づいて、将来の青写真を作成する時期が近づいている。

このとき、超高速LANをカットスルーするアーキテクチャ、IP運用のパフォーマンスの解決方策、新たなルーティング技術への対応をはじめとして課題は山積している。幸い、今回の米国接続のパートナーとの技術的な連携が期待でき、新たな経験を重ねていく余地が残されており、より実践的な知見を得る可能性が出ている。

本稿でも一部紹介しているが、NTTとの共同研究も将来を構想する大きな機会となっている。ATM上の高効率プロトコルの開発と検証、ABR-SVC制御の当面のトラフィック制御方式の検討、次世代インターネット制御の実証などは、近い将来のSINETに反映されるものとなっている。また、電子図書館の開発、遠隔リアルタイム制御の実験、動的動画像伝送の試作などは、ATMの活用を高め、またATMの持つ能力に研究者の関心を集めるのに大いに役立つと考えている。これらの知見と成果は、米国を中心に開発が進行しているInternet2へと引き継がれ、一層のネットワーク技術の向上へつながることであろう<sup>4)</sup>。

しかし、本稿でこれらの話題に大きく紙面を割かなかった理由は、ATMの運用技術に再度読者の関心が寄せられることを期待したためである。ATMを運用する現実には、装置の仕様や性能の制約の中で、未知で急速変化するトラフィックを対象に、望ましい品質を実現する具体的な手法を求めている。おそらく1998年は、ATMの「ハイエンド」の可能性を探る開発の話題と同時に、更新時期を迎えている企業ネットワークに、いかにATMを活用する機会を拡げるかが関心となろう。帯域や設備の制約の中で、ATMが「オールバンド」の基幹方式となり、多様な属性の通信を柔軟に多重化するための実践的な検討は多く残されているといえる。

学術情報センターでも、将来を見つ実践的な検討を重視する所存であるので、専門家の助言を期待している。

## 参考文献

- 1) Asano, S., Abe, S., Suzuki, S. and Miyake, K.: High-Speed ATM Backbone for Academic Information Network in Japan, Proc. of ISS '97 (1997).
- 2) Asano, S., Zhao, W. and Uose, H.: Enhanced Academic Network in Japan, Global Information Infrastructure (GII) Evolution, pp.27-34, IOS Press (1996).
- 3) Akiyama, J., Ubukata, H., Uose, H., Hara, H. and Terada, Y.: Integrated Management System for ATM Multimedia Network, Global Information Infrastructure (GII) Evolution, pp.448-457, IOS Press (1996).
- 4) 学術情報センター国際シンポジウム予稿集, 超高速学術研究ネットワークの研究開発 (1997).

(平成10年8月31日受付)