

X.25網を利用したIPネットワークの構築

平原正樹

東京大学

情報ネットワークシステム運用センター

〒113 東京都文京区弥生2-11-16

概要

X.25網をIPの伝送媒体として用いる際の技術的課題である、オペレーティングシステム内モジュールの実装や経路制御情報の伝搬などの点を、学術情報ネットワークX.25パケット交換網上で実験運用を行なっているJAIN(Japan Academic Inter-university Network)に関して議論する。特に、X.25網の上でIPネットワークを構築するには、他のIPネットワークにない特徴と問題点があり、その相互接続および経路制御の技術を明らかにする。また、広域ネットワークを相互に複数の地点で接続する際の経路制御の手法を提案する。

Construction of IP Internet over X.25 Packet Switching Network

Masaki HIRABARU

Information Network System Operation Center, the University of Tokyo

Yayoi 2-11-16, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

E-Mail: hi@nc.u-tokyo.ac.jp

Abstract

This paper discusses on an implementation of an X.25 interface module in an operating system and propagation of routing information for IP internet over an X.25 packet switching network called JAIN (Japan Academic Inter-university Network). Features and problems especially on mechanisms of interconnection and routing different from a traditional IP internet are described. We proposes an routing policy for IP internets with multiple interconnectins.

1. はじめに

日本国内では、1981年から、N1ネットワークが資源の共有を支援する為に構築され、多くの大学の異なる機種的大型計算機を相互に接続した。1986年からは、学術情報ネットワーク[1]の構築が開始され、昨年度までに、学術情報センターと全国27大学にノードが設置された。この学術情報ネットワークはCCITT勧告のX.25プロトコルを用いた大学間の基盤通信網の役割を果たし、N1ネットワークはこの上の論理ネットワークの一つとなっている。

1985年から始まった日本BITNETはファイル転送やメッセージ交換を可能とした。電子メールと電子ニュースのサービス提供を主目的としたJUNETの実験は1984年から始まった。N1ネットワークや日本BITNETが主に大型計算機を相互に接続したのに対し、JUNETはミニコンやワークステーションを安価に接続できたため急激に成長した。

各地の大学で学内ネットワークが整備されるにつれて、これらを相互に接続する学術研究目的の広域ネットワークの必要性が高まってきた。学内ネットワークでは主にTCP/IPが用いられ、遠隔ログインやファイル転送、電子メールなどの機能が使える。この環境が広域ネットワークを介して、国内外の他の研究機関へも拡張されること、即ち、研究機関を相互に接続するTCP/IPのインターネットの必要性は自然な要求であった。残念ながら、X.25を用いた学術情報ネットワーク自身、独自プロトコルを用いたN1ネットワークあるいはBITNET、間欠的な接続を行なうUUCPを用いたJUNET、いずれも大学間インターネットとして、その役割を果たすことができない。

このような状況の下で、X.25の上でのIP接続の技術を利用し、学術情報ネットワークをIPの伝送媒体として用いることの試みが、東北大学の野口正一を代表とする文部省科学研究費補助金総合研究(A)「我が国における大学内ネットワークの相互接続に関する研究」の研究グループによって行なわれた。本稿では、この研究グループが母体となって学術情報ネットワーク上で実験運用している学術研究大学間ネットワークJAIN[2][3]を紹介し、X.25網を利用したIPネットワーク構築の際の問題点である、X.25の上でのIP接続の技術、経路制御、他の広域ネットワークとの相互接続などについて議論し、その解決策を提示する。

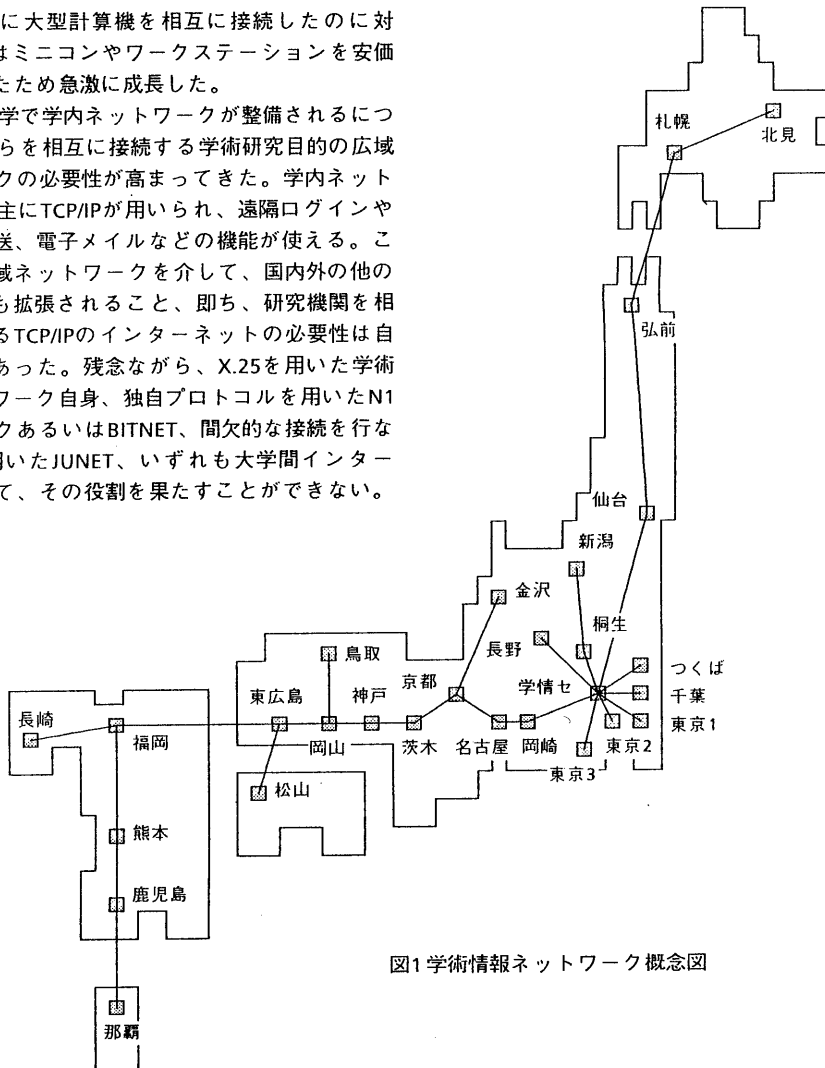


図1 学術情報ネットワーク概念図

2. X.25網を利用したIPネットワーク

ここでは、学術情報ネットワークと、X.25の上でのIP接続の技術を利用したIPネットワークJAINの概要について述べる。

2.1 学術情報ネットワーク

学術情報ネットワーク[1]は、学術情報センターと全国27大学に設置されたバケット交換機・多重化装置およびその間の高速デジタル専用線から構成されたCCITT勧告のX.25に準拠した自営バケット交換網である。図1に示すようにバケット交換機の配置は、ほぼ全国を覆っている。バケット交換機の設置されていない大学の場合は、最寄りのバケット交換機まで専用線を張ることで加入し、その設置・維持費用を負担する。図1は概念的な構成図であり、実際のバケットは、各大学のバケット交換機でローカルに折り返されるバケットを除き、一旦、東京の学術情報

センターのバケット交換機を通過するスター型の網構成となっている。

2.2 JAIN (Japan Academic Inter-university Network)

JAIN[2][3]は、X.25の上でのIP接続の技術を利用し、学術情報ネットワークをIPの伝送媒体として用いた学術研究大学間ネットワークである。その相互接続を図2に示す。

全国を7つの地域に分割し、それらの地域を代表する北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学の間に完全結合する。参加する大学は、これら7つの大学の何れかとIP接続を行い、その管理下に入る。即ち、バックボーン・リーフの2段の階層構成を採っている。

参加大学は、接続している大学の障害に対するバックアップの目的で、他の地域を代表する大学と直接のリンクを結ぶことも許される。また、トラ

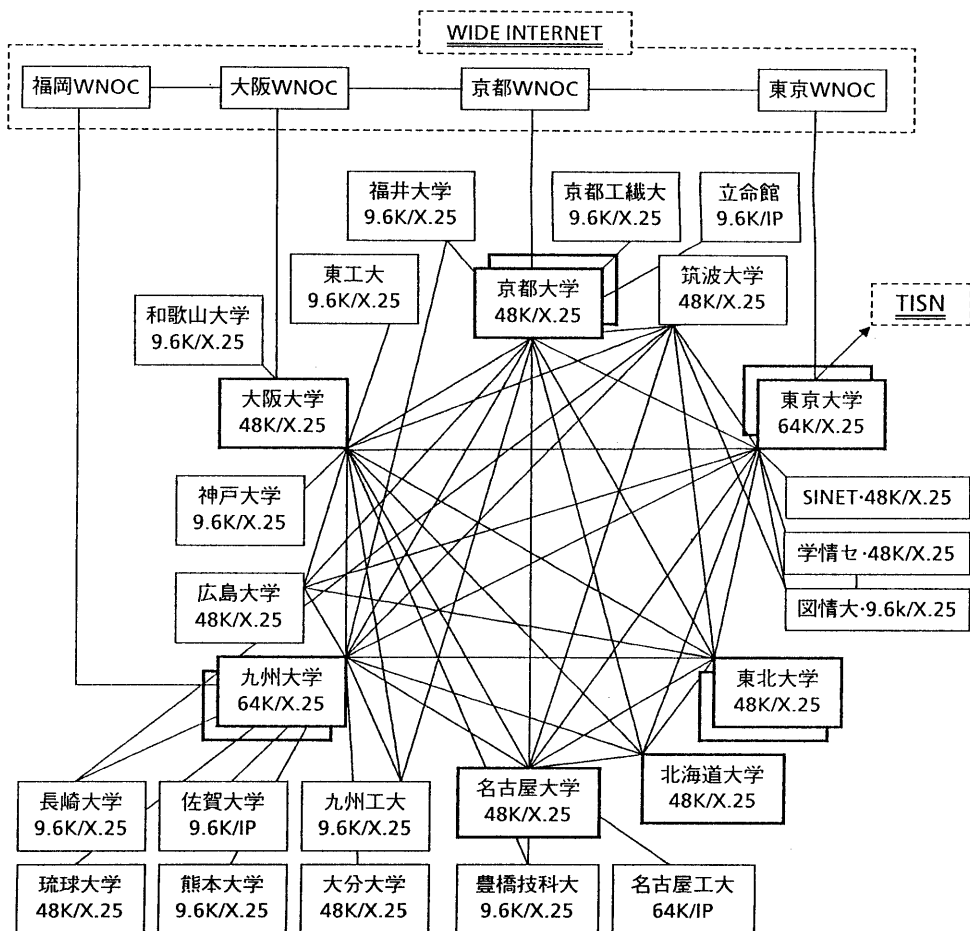


図2 JAINの相互接続

フィックの多い大学同士を直接結ぶこともできる。故に、図2に示すような複雑な相互接続となっており、全体として効率のよい経路制御を行うことが重要な課題となっている。

他の広域IPネットワークとは、東京大学、京都大学、大阪大学、九州大学で、WIDE Internet[4]との相互接続を行ない、また、東京大学理学部でTISN[5]との相互接続を行なっている。

2.3 JAINの接続技術

接続の技術としては、最寄りのJAIN参加組織と直接IP接続する方法もあるが、X.25の上でのIP接続を用いて参加する大学が大半を占める。接続の速度は、64Kbps、48Kbps、9.6Kbpsのいずれかである。また、一本の専用線を時分割で利用し、N1ネットワークとJAINの両方に加入している大学もある。

各大学のJAINゲートウェイ(専用ルータあるいはワークステーション)のX.25側のインタフェースは133.69に属するIPアドレスを持つ。サブネットは行っていないが、地域毎に管理できるような割当てを行なっている。

3. X.25上でのIP接続の実現法

ここでは、X.25の上でIPを使う技術およびその実現法について議論する。

3.1 X.25でのトンネリング

他のプロトコルのパケットを、X.25のパケットのデータとして扱う技術[6]は、IPやそれ以外のプロトコルにも利用されている。この技法はトンネリングとして知られ、X.25から見ればIPのパケットはただのデータに過ぎない。X.25パケットの中のCALL USER DATA領域に特定の値を入れておく[7]ことで、どのプロトコルのパケットかを識別する。プロトコルの階層化の観点から言えば、X.25のVC(Virtual Circuit)をIPの伝送媒体として使うことになる。

X.25は学術情報ネットワークのみならず、公衆電話網でもサービスされており、この上でIPの利用は、特に地理的に離れた大学を接続することを可能にするために重要な技術であると考えられる。

3.2 X.25モジュールの実装技術

X.25の上でIP接続を行なうオペレーティングシステム内のX.25モジュールの実装技術には、(a)NETWORK型と(b)POINTOPOINT型の2つの方法がある。その概念モデルを図3に、JAINにおける実際の使用例を図4に、それぞれ示す。

(a) はX.25 網をNBMA(Non Broadcast Multiple Access)と見做し、NETWORK型としてそのインタフェースを実装する方法である。従って、実際に張られているVCの詳細は隠蔽され、オペレーティング

システム外からは見えない。X.25網のモデルを自然に反映した実現法であり、完全結合を行う場合に適する。しかし、単一のX.25インタフェースの下で複数のIPネットワークに接続するためには、一つのX.25インタフェースに複数のIPアドレスを付与する機能が必要である。これは単一イーサネット上で複数のサブネットを実現する技術と同じものである。

これまでIPのNETWORK型インタフェースは常にブロードキャストが可能であったため、IP層でのICMP REDIRECTの扱いや経路制御プログラムの変更が必要な場合がある。一般的に言って、NBMAではICMP REDIRECTを発行してはいけいないし、経路制御プログラムは、何らかの方法によって、各VCの情報を得て、それらの接続先に対して経路情報の交換を行わなければならない。即ち、X.25インタフェースのBROADCASTフラグの有無を識別し、適切な動作をしなければならない。

もう一つの方法(b)は、VC毎にPOINTOPOINT型のインタフェースを用意する方法である。この方法は、VCの増加に伴ってインタフェースの数が増加するが、これまでのIPの実装技術とうまく適合するため、何ら変更の必要がない。また、インタフェースのIPアドレスの割当ての自由度も高い。

4. X.25網上でのIPネットワークの経路制御

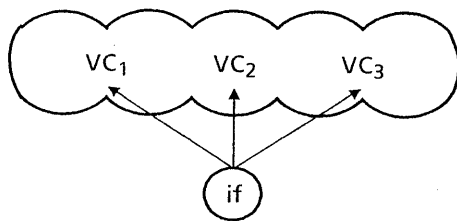
ここでは、JAINの例を示しながら、X.25網上でのIPネットワークの経路制御について議論する。

4.1 動的経路制御

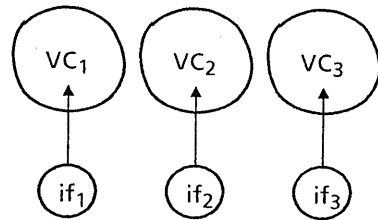
X.25パケット交換網は、IP層から見た場合、そのネットワークに属する全ホストがX.25網に接続されていない限り、経路制御が必要である。即ち、X.25網がホスト間接続をモデルとしていても、IPはネットワーク間接続をモデルとしている以上、X.25網上でのIPネットワークはIP層での経路制御が必要なのである。

X.25網上にIPネットワークを構築する場合、専用線によりゲートウェイ間を接続する方法に比べると、X.25網に接続するすべてのゲートウェイ間にリンクを持つことが可能なため、一般的に複雑な接続関係を持ち易い。また、代替のリンクを容易に張れることから、ネットワークトポロジの変更が起き易い。従って、X.25網の特質を生かすならば、動的な経路制御は不可欠である。

最適な設定を行うことの困難さからと、あるリンクに障害が発生したときに別の経路に自動的に切り替わる必要とから、動的な経路制御プロトコルとして、多くの計算機に実装されているRIP(Routing Information Protocol)[8]をJAINでは採用した。



(a)NETWORK型



(b)POINTOPOINT型

図3 X.25モジュールの実装方式

```
ccku-gw% netstat -ni
Name      Mtu  Network      Address      Ipkts      lerrs      Opkts      Oerrs      Coll
tx0       1024 133.69      133.69.128.25 368771     0          376177    0          0
ccku-gw% ifconfig tx0
tx0: flags=21<UP,NOTRAILERS> metric 2
inet 133.69.128.25 netmask ffff0000
```

(a)NETWORK型(富士通station230; TISP E70)

```
relay.cc.u-tokyo.ac.jp% netstat -ni
Name      Mtu  Network      Address      Ipkts      lerrs      Opkts      Oerrs      Collis Queue
xvc0      256 133.69.128 133.69.128.9 235722     0          578033    10         0         0
xvc1      256 133.69.128 133.69.128.9 109842     0          215873    0          0         0
xvc2      256 133.69.128 133.69.128.9 88010      0          120801    1718       0         0
xvc3      256 192.50.12. 192.41.197.3 116282     0          114665    0          0         0
xvc5      128 133.69.24. 133.69.24.1 85144      0          295358    18150      0         0
xvc6      256 133.69.24. 133.69.24.1 2746       0          23441     0          0         0
relay.cc.u-tokyo.ac.jp% ifconfig xvc0
xvc0: flags=8051<UP,POINTOPOINT,RUNNING,PRIVATE> metric 2
inet 133.69.128.9 → 133.69.128.129 netmask ffffffff
```

(b)POINTOPOINT型(SUN-3/280; SUNLINK/X.25)

図4 X.25インタフェースの実現例

経路情報を交換するプログラムとしては、routedが各ゲートウェイのワークステーションには実装されていたが、このプログラムには経路情報の流れを制御する機能がない。従って、経路情報の流れを制御可能で、内部のアルゴリズムも優れているコーネル大学で開発されたgatedと呼ぶ経路制御プログラムを使用することとした。

4.2 RIPの基本的な問題点

RIPはdistance vector algorithmの一つである。主に組織内等の中規模ネットワーク用に設計されたため、JAINのような広域ネットワークに適用する際に以下の制限が問題となる。

安定した状態にあるネットワークに変化が生じた場合、即座に次の安定した状態に移ることができない。この問題はcounting to infinity[8]として知られている。この無限大への遷移時間、つまり安定状態への収束時間の上限を小さく抑えるために、RIPではmetric(経路のコスト)が16以上を ∞ と定義してい

る。経路制御プログラムgatedでは、split horizonやtriggered updateなどの手法[8]によりこの問題を部分的に解決している。

4.3 JAINの経路制御と接続形態

JAINが現在のようなバックボーン+リーフという接続形態を採った理由として、運用管理の分散という理由以外に、以下の2点が挙げられる。一つは直接接続の要求であり、他方は経路制御上での要請である。

(1)多重度の制限

各ゲートウェイのX.25の実装にも依存するが、現在のバケット交換機の設定では、31多重までしかVCを張ることができない。つまり、31カ所の相手としか同時には直接接続を持ってない。動的にVCの接続・切断ができない実装の場合、状況はより困難なものとなる。従って、今後参加組織が増えたと、完全結合を行うことはできなくなる。しかし、基本的にバケットは学術情報センターのバケット交換機を経由

する訳だから、距離的な経済性を考慮する必要はない。X.25を下位層で使っていることを考えると、できるだけ直接接続を行いたい。

(2)metric調整の難さ

RIPでは、経路のmetricの計算に、経路上に存在するホストの数を使用するが、この原則をそのまま適用すると、9.6Kbpsのリンクも10Mbpsのリンクも等しいmetricを持ってしまう。これを改善するために、低速のリンクにmetricを付加することが必要となる。低速のリンクには、その速度に応じて、metricを付与すればいいのだが、metricの値として16が無最大であるので、速度に比例したmetric調整は困難である。また、あるリンクが生まれる度に、全体のリンクのmetric調整を行うことも現実的ではない。従って、metric調整が行い易い接続形態を採用する必要がある。

5. JAINにおける経路制御問題と解決策

ここでは、RIPを用いて経路制御を実際に行った経験から問題点を指摘し、我々が採った解決策を示す。この解決法に基づいて、経路制御プログラムgatedを改良・拡張し、JAINで使用している。

5.1 疑似インタフェース

前述のNETWORK型の実装を行っているゲートウェイの問題を解決するために、疑似インタフェースの機能を導入した。これは、経路情報交換プログラムへ、VCに対応したPOINTOPOINTインタフェースをあたかも存在するかのように教え込む。従って、POINTOPOINT型同様にVC毎の経路制御を可能にするとともに、個別の制御が不要なリンクに関してはNETWORK型として扱える利点を生む。九州大学では、この拡張により、細かな経路制御が可能となった。

5.2 リンクの状態の検出

個々のVCの状態が経路制御に速やかに反映されることは重要である。しかし、NETWORK型インタフェースの場合、個々のVCの状態を反映することができない。VCの状態が速やかに反映されないことは経路制御だけでなく、X.25モジュールにおけるパケットの過度の再送を引き起こす。X.25のVCが基本的に信頼性のあるコネクション型サービスであることを考えると、経路情報などのデータグラムパケットが切断されたVCへ集中することは、過度の再送やキューの溢れを引き起こす。この問題に対しては、X.25モジュール内のVCの状態テーブルを直接参照すること、および再送のためのタイムアウト時間を短くする等の対応を取っている。

5.3 経路情報リクエスト

NETWORK型インタフェースを提供するゲートウェイ、特に専用ルータ等の中には、経路情報をすべてのVCへ伝搬させることができないものがある。これらの機器を用いて複数のリンクを張った場合、動的な経路制御ができない。これらの機器の仕様を変更することが根本的な解決だが、他の接続相手が経路情報リクエストを発行することでも解決できる。現在、九州大学と広島大学、九州大学と筑波大学の間では、この方法を用いて動的な経路制御を行っている。リクエストパケットのトラフィックがオーバーヘッドである。

5.4 ホスト経路情報

JAINのネットワークでは133.69のCLASS Bアドレスを使用し、各組織のゲートウェイのJAIN側アドレスには、原則としてこのネットワークに属するアドレスを割り当てる。各組織のゲートウェイ機器が、単にIPパケットを中継するだけの機能しか行なわないのならば問題ないが、実際にはメール等のゲートウェイを兼ねる場合が多い。この場合、JAINは133.69のネットワークに関して完全結合していないので、このゲートウェイ機器のJAIN側アドレスのホスト経路情報をJAIN中に流す必要がある。

一般に、経路情報はネットワークに対するものでホストに対するものでも同じ負荷を生じるので、ホスト経路情報はできるだけ流さない方が好ましい。またホスト経路情報を扱えない専用ルータが多く、これらの専用ルータは、すべてのJAINゲートウェイとリンクを張らなければならない。さらに、JAINのある部分を他の広域ネットワークでバックアップする場合にもホスト経路情報を他の広域ネットワーク中に流す必要がある。これらのことを考えると、ゲートウェイ機器をIPルータとしてのみに使える体制にしていかなければならない。機能別に機器を準備できた方が管理運用上からも望ましい。

5.5 デフォルト経路制御

経路制御を行なうために、すべての経路情報を交換すると、それだけで多量のトラフィックとなるし、各マシンが保持する経路制御テーブルも巨大なものになってしまう。この問題を対処する一つの技術がデフォルト経路制御である。これは、ホストが維持するテーブルでは解決できない宛先を持つパケットをデフォルト経路に送る機構である。デフォルト経路制御は外部のネットワークへの接続経路の一つである場合に有効である。この場合、外部のすべてのネットワークへの経路をすべてこのデフォルト経路で代表することができる。

国内では、デフォルト経路を海外のすべてのネットワークを代表する経路として使用している。また、組織内では、海外および国内のすべての経路を代表している場合が多い。この場合、デフォルト経路情報の伝搬経路が唯一であれば、静的に設定することが可能であるが、もし、複数ある場合、つまり代替の伝搬経路がある場合は、動的な制御が必要となる。しかし、外部から流れてくるデフォルト経路情報を組織内へそのまま流すと、海外とのリンクが切れ、デフォルト経路情報が流れてこなくなった時に、そのデフォルト経路が代表している他の国内のネットワークへの到達可能性も同時に失われてしまうことになる。また、組織の深部では、デフォルト経路のmetricが16を超えることが予想される。

デフォルト経路制御は有効な機構であるが、この経路が失われた時の影響の大きさを考えると、組織のゲートウェイでは、組織外から流れてくるデフォルト経路情報を使用すると同時に、この経路情報とは独立に組織内へデフォルト経路情報を流さなければならない。即ち、ゲートウェイ機器は、自らデフォルト経路を生成するとともに、外部から伝搬してくるデフォルト経路情報を受取り、それに従って、デフォルト経路制御を行わなければならない。この機構は、通常、ゲートウェイ間はRIP以外のプロトコルを使う場合では問題とならないが、JAINではゲートウェイ間も組織内もRIPを使っていることに起因している。

なお、国内ではデフォルト経路を利用すれば、経路のmetricが16以上の組織間も到達可能となる場合が多い。しかし、逆に、存在しない宛先のパケットが海外まで流出する原因となる。

5.6 動的なリンクの生成・消滅

学術情報ネットワークは、年間数回の短時間の休止があり、また数日に及ぶ長期間の休止もある。この休止期間中は、他の物理リンクを用いて、接続を保持しなければならない。一つの候補は、公衆電話回線やISDNを用いたIP接続である。問題は、経路制御プログラムが、このような動的なリンクの生成・消滅に対応していないことである。JAINではこの問題を前述の疑似インタフェースと同様な対応によって解決している。動的なリンクの生成・消滅の検出は一定時間毎に行う。

5.7 差分経路情報交換

もしネットワークが安定ならば、ある一定時間毎に、同一の経路情報を流すことは無駄である。前回送出した経路情報との差分だけを送れば十分である。変化が少ないことを仮定すれば、差分ではなく、変化があったときだけ、経路情報を全部送ると

いう簡略化した手法が使える。ただし、相手が前回の情報を失ったり受け損なったりしたならば、重大な問題となる。経路制御が低レベルの機能であることを考えれば、常に誤りの問題を意識しなければならない。従って、変化がなくても、ある一定時間毎に、全部の経路情報を送る必要があると言える。

6. 他の広域ネットワークとの相互接続

図2に示すように、WIDE InternetとJAINとは、複数の地点で相互接続している。WIDE Internetは専用線とルータを継ぎ足していく形態のため、地理的に離れた地点間のmetricは大きくなる。しかし、JAINの接続はX.25網上で行なわれているため、バックボーンのゲートウェイ間は直接接続され、地理的な距離とは無関係にmetricは0である。ここでは、この性質の異なる二つの広域ネットワークを複数の地点で相互結合する際の経路制御の方法について議論する。

6.1 高田案

当初、JAINの実験が始まった時期、東京大学、京都大学、大阪大学で、JAINとWIDE Internetとの相互接続が行なわれた。その際、これらの大学間はWIDE Internetを使うと言う方針に従って、JAINのバックボーンのゲートウェイ間のmetricを大きくする方法が提案され、採用された。これが高田案である。具体的な値として、各バックボーンのゲートウェイのX.25側のインタフェースのmetricを+2とし、バックボーンのゲートウェイ間を1回通過するとmetric 4が加えられるようにした。これによって、例えば、東京大学・京都大学間は、WIDE Internetを通過した方が近くなることとなった。しかし、この副作用として、JAINだけに所属する大学がWIDEに到達するためにJAINのバックボーンを通過すると、metricが大きくなって到達できない場合が起こる。また、障害によって迂回経路を通ると、状況はより深刻になる。

6.2 平原案

相互接続の地点が九州大学まで伸び、また、将来、東北大学などでも相互接続の可能性があることを考えると、高田案に従ってバックボーンのゲートウェイ間のmetricを増やすことは限界に近づいた。そこで、図5に示すような案を提案する。この方法の基本的な考えは、相互接続する2つの広域ネットワークの間のmetricを増やし(例えば $n=4$)、それぞれの広域ネットワーク内の調整を不要とするものである。この方式の利点は、(a)JAIN内でのmetricの増加を抑えることができ、また(b)metric調整は相互接続を行なう大学だけで済み、そして(c)metricを増加する地点をWIDE Internet側あるいはJAIN側と選択す

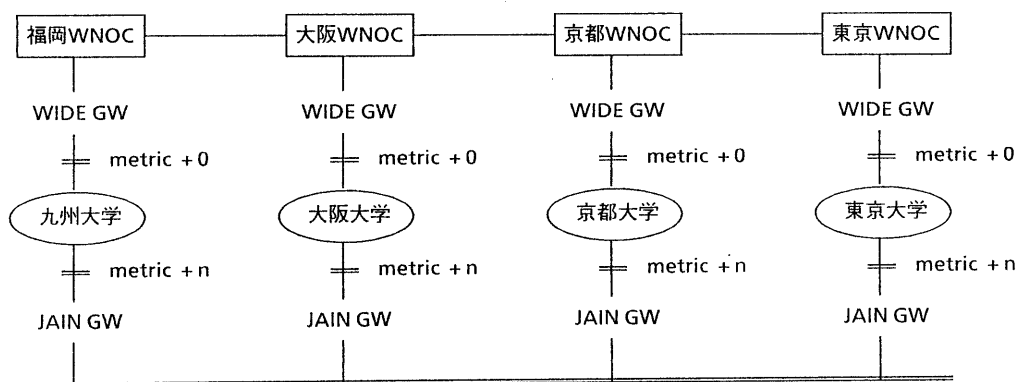


図5 WIDE InternetとJAINの経路制御

ることで、相互接続を行なう大学が何れのネットワークを主に利用するかを決定できることにある。

この方針は、日本のように縦長のバックボーンが並行して複数設置される場合に、それらの間を複数の地点で相互結合するモデルの一般的な解決法と考えることができる。

7. おわりに

本稿では、X.25網を利用したIPネットワークの構築について、実際のJAINの経験を元に実証的に議論した。特に、X.25網の上でIPネットワークを構築する際には、他のIPネットワークにない特徴と問題点があり、その相互接続および経路制御の技術を明らかにした。また、広域ネットワークを相互に複数の地点で接続する際の経路制御の手法を提案した。今後は、X.25網の上でのIP接続の定量的な性能評価を行い、またOSPF[9]などの新しい経路制御プロトコルを適用してみる予定である。

謝辞

東京大学理学部高田広章氏には、経路制御の問題全般にわたって議論して頂き、多大な示唆を受けた。また、慶応大学環境情報学部村井純助教授、慶応大学環境情報学部加藤朗助手、東北大学電気通信研究所亀山幸義助手、東京大学大型計算機センター中村修助手、名古屋大学長谷川明生助教授、京都大学大型計算機センター石橋勇人助手、大阪大学情報処理教育センター山口英助手、九州大学大型計算機センター松延栄治助手をはじめ、JAINの運営に携わる多くのメンバーの協力があった。WIDEプロジェクトのメンバーの協力も得た。東北大学応用情報学研究センター野口正一教授、東北大学大型計算機センター坂田真人助教授(現秋田大学教授)、東京大学大型計算機セン

ター石田晴久教授には、本研究を進めるにあたって、多くのご指導、ご配慮を頂いた。ここに記して謝意を表す。なお、本研究は東北大学野口正一教授を代表とする文部省科学研究費補助金総合研究(A)「高度学術インターネットワークの構築と高度応用技術の研究」の援助を受けている。

参考文献

- [1] 浅野, 飯田: 学術情報ネットワークの現状と展望, bit, Vol.22, No.2, pp.127-133, Feb. 1990.
- [2] 平原, 高田, 村井, 野口: 学術情報ネットワークX.25網上での学術研究ネットワークJAIN, 平成2年度電気関係学会九州支部連合会大会論文集, pp.656, Dec. 1990.
- [3] 平原: ネットワーク間接続の経路制御方式、大学内ネットワーク相互接続の諸問題シンポジウム論文集, pp.58-65, Dec. 1990.
- [4] 村井: WIDEプロジェクト, bit, Vol.22, No.2, pp.118-126, Feb. 1990.
- [5] 高田: Overview of TISN, JUS Network Services Workshop資料, Nov. 1990.
- [6] Douglas E. Comer: Internetworking with TCP/IP: Principles, Protocols, and Architecture, Prentice-Hall, 1988. (村井, 楠本訳: TCP/IPによるネットワーク構築-原理・プロトコル・アーキテクチャ-, bit別冊, 1989.)
- [7] J. T. Korb: A Standard for the Transmission of IP Datagrams Over Public Data Networks, RFC 877, Purdue University, Sep. 1983.
- [8] C. Hedrick: Routing Information Protocol, RFC 1058, Rutgers University, Jun. 1988.
- [9] John Moy: OSPF Specification, RFC 1131, Proteon, Inc, Oct. 1989.