

第 2 部

WIDE プロジェクト 概要

第 1 章

WIDE プロジェクトについて

1.1 研究目的

本研究の目的は、局所的な分散環境とそれらの接続という階層的な構造に基づいた大規模な分散環境を構築するための技術を実証的に確立することにある。そのために、実際に運営されている複数のローカルエリアネットワーク間を、分散環境を構築するために十分な速度の回線を用いて接続し、その上に実用に耐える大規模広域分散環境のプロトタイプを構築する。この環境の構築に際して、ネットワーク間パケットのための経路制御機能、ゲートウェイにおける制御機能、広域分散環境の管理機能と応用機能に関する研究と研究成果の実証を行う。

1.2 研究の意義

情報科学・情報工学の発達と通信技術の進歩により、分散された計算機資源を有効に利用できる分散型の計算機環境を前提とした計算機システムの研究が急務になっている。

計算機環境を構成する要素はラップトップコンピュータからスーパーコンピュータに至る多種の計算機システムとなり、高度なコンピュータコミュニケーション技術に裏付けられた分散処理環境が不可欠になっている。また、ローカルエリアネットワークのような近距離の分散資源を接続するための技術のみならず、ISDN のような、遠隔地に分散する計算機資源を有機的に接続し、広域の分散環境を構成するための通信技術も比較的自由に利用できるようになってきた。しかし、これからのコンピュータ環境を構築するためには、従来個別に研究されてきたオペレーティングシステム、通信技術、コンピュータネットワーク、コンピュータアプリケーションに関するそれぞれの研究は、統合的に研究され、現実的な地球規模の広域分散環境の構築に関する技術として確立されなくてはならない。

1.3 研究の特色

大規模広域分散環境の基礎となる研究課題には、コンピュータネットワーク、オペレーティングシステム、分散処理、耐故障システム技術、セキュリティ技術などがある。特

に、コンピュータネットワークに関しては、局所的分散処理を含むローカルネットワークと、広域ネットワークに関する研究が行われ、実績がある。これからの計算機環境の代表的モデルとなる大規模広域分散環境の構築という視点は、これらの研究分野で本来追及されていた目標と異なるために、これらの成果の単純な組み合わせでは本研究の目的を達成することはできない。本研究の特色は、これらの分野の統合的な研究成果を目指し、通信技術、通信経路、計算機システム、社会科学的背景、オペレーティングシステムなどに関する異種性を前提とした環境を構築するための技術を確立する点にある。

1.4 WIDE プロジェクト 研究者による基礎となる研究成果

大規模広域分散環境の物理的な要素としてローカルエリアネットワーク技術がある。大規模広域分散環境におけるローカルエリアネットワークでは、ネットワーク間接続を前提とした階層的なプロトコル構造が各計算機システムのオペレーティングシステムにおいて効率的に組み込まれている必要がある。慶応義塾大学のキャンパスネットワークである S&Tnet のオペレーティングシステムの開発にあたっては階層的なプロトコル構造を最も効率良く実現する技法が開発され [1]、その効果が実証されている。

広域的に分散されているローカルネットワークや計算機システムを接続し、そこに共通の環境を構築する実験は JUNET[2] によって実現され、300 を越える組織を接続し、分散資源の名前管理、経路制御、通信技術、日本語に基づいた通信機能などに関する研究が行われ、それぞれの成果が実証されている [3]。

WIDE の研究成果に関する報告は、さまざまな機会に報告されているが、フェーズ I の報告書は 1990 年 3 月に発行されており、1990 年度の報告書が本書である。

1.5 研究成果と実用化の関係

本研究によって構築される実験大規模広域分散環境とその環境上に開発される各種機能は異種性を前提とした計算機環境上での高度な情報処理環境が実現されるために、技術・研究・開発分野の情報交換ネットワークやその他の学術・技術分野での計算機環境に即座に応用が可能である。本研究成果の効率的な実用化を実現するために、各種関連標準化委員会、各種関連組織に対する研究成果の円滑な技術移転を行う。

1.6 研究の計画と方法

1.6.1 研究の分担

研究代表者は、各研究分担者及び協力者の研究進行のとりまとめを行うと同時に、計算機システムの異種性と大規模広域分散環境に関する研究開発を行う。通信技術担当者は、ネットワークプロトコルと経路制御に関する研究を行い、分散環境の基盤となる通信機

能を確立する。信頼性・安全性技術担当者は、耐故障性とセキュリティの面から広域分散環境の構造に関する研究を行い、環境全体の信頼性に関する技術を確立する。分散オペレーティングシステム技術担当者は、分散資源の名前管理に関する研究を各種人工言語との関連において行い、分散環境における資源管理の基盤を開発し、広域分散環境用オペレーティングシステムの研究と開発を担当する。分散処理技術担当者は広域分散環境上で有効な分散処理の技法に関する研究を行い、広域分散環境上での処理形態を確立する。管理技術担当者は、広域分散環境の管理面からの構造を研究し、その開発を行なう。

1.6.2 研究の計画

1988 年度 (実行済み)

広域分散環境の実験基盤を構築する。

1. 研究代表者と分担者の所属する各大学の実験基盤となるローカルエリアネットワークを相互に接続する。
2. 接続技術は異種通信経路における経路制御機構の実験のために、ダイヤルアップ回線、専用回線、ISDN、X.25 を用いた公衆パケット交換ネットワークのいずれも用いる。
3. 構築した基盤上で、経路制御機構、ネットワークプロトコル、ネットワーク信頼性に関する技術開発と実験を行う。

1989 年度 (実行済み)

構築された実験基盤の発展とその基盤上で上位技術の研究・開発を開始する。

1. 国際的な大規模広域分散環境基盤の確立。
2. 国内の実験基盤の拡張。
3. 大規模広域分散環境用ゲートウェイ機能の確立。
4. 広域分散環境用オペレーティングシステム技術の開発。
5. 分散処理技術の研究開発およびそれに基づく広域分散応用機能に関する研究と実験を行う。
6. 広域分散環境における管理運用面での研究を行う。

1990 年度と 1991 年度

構築された実験基盤技術の確立とその基盤上で各種技術の研究・開発の確立と発展。技術移転。

1. 国際的な大規模広域分散環境基盤の運用とその上での実験。

2. 国内の実験基盤の確立。
3. 大規模広域分散環境用ゲートウェイ機能の発展と実証。
4. 広域分散環境用オペレーティングシステム技術の確立。
5. セキュリティ、認証技術の確立。
6. ISDN の利用に関する研究。
7. ラップトップコンピュータの分散環境上での位置付けとそれに必要な各種技術の研究。
8. 広域分散環境上でのマルチメディアを含む利用者インターフェースとその支援機構の研究。
9. 広域分散環境における管理運用技術確立と技術移転。
10. コンピュータコミュニケーションの社会科学研究
11. マルチキャスト・ブロードキャストプロトコルと衛星通信
12. 大規模広域分散型ファイルシステム

1.6.3 研究経費

本研究に必要な研究環境では、組織間の広域接続の通信基盤を確立する必要がある。異種通信経路の実験基盤を構成するためにはダイヤルアップ接続を実現するための高速モデム、専用回線を利用するための接続機器、X.25 回線を接続するための接続機器、ISDN 回線を利用するための接続機器、実験を遂行するためのゲートウェイ用計算機及びソフトウェアが設備面で必要となる。これらにそれぞれの国内、国際回線の通信費が必要となる。これらによって、構築される研究環境が WIDE インターネットである。

また、通信事務、交通費、研究会開催費、印刷費、事務人件費などの諸費用も必要となる。

第 2 章

WIDE インターネット

WIDE 研究プロジェクト [4] の広域大規模分散環境の構築実験基盤である WIDE インターネットは、インターネットプロトコル体系 [5] を用いた研究ネットワークを構成している。本インターネットワーク上では、データリンク機能、ゲートウェイ機能、プロトコル、応用、ネットワーク管理などに関するコンピュータコミュニケーションとコンピュータシステムに関連する各種の研究実験活動が行なわれている [6]。WIDE インターネットは、1988 年 1 月に慶應義塾大学、東京大学、東京工業大学の 3 大学を接続することによって開始され、現在では、東京、藤沢、京都、大阪、福岡 に設置した、WIDE ネットワークオペレーションセンタ (WNOC) によって構成される WIDE バックボーンおよび、それらのいずれかに接続される 36 の研究参加各組織のノードによって構成されている。

2.1 WIDE インターネットの背景と遷移

広域的に分散されているローカルエリアネットワークや計算機システムを接続し、そこに共通の環境を構築する実験は 1984 年から JUNET として行なわれ [2]、現在は 400 を越える組織が接続されている。この実験ネットワークはボランティアによって運用され、事実上、電子メールによる情報交換と世界学術「メタネットワーク」への参加をより多くの大学や研究組織に提供する役割を果たした。JUNET は、公衆電話回線を用いた UUCP プロトコルを利用して、分散環境を構築するための一般的なプロトコルによる接続は行なっていない。そこで、各研究組織のキャンパスネットワークを相互に接続し、今後の広域で大規模な分散環境の実証的な構築を実現するために、最も一般的に利用されている TCP/IP プロトコル体系を用いたインターネットの構築を開始した。これが WIDE インターネットである。

大学内のコンピュータ環境を相互に接続する汎用のコンピュータネットワーク基盤作りの試行は、WIDE 研究プロジェクトの他に、東京大学国際科学ネットワーク (TISN, Todai International Science Network)、科研費総合研究 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」(東北大学野口教授代表)(JAIN, Japan Academic Inter-university Network) などによって行なわれており、いずれも実際のネットワーク運用を開始し、さらに、相互接続と協調関係が確立している [7]。

WIDE インターネットの国際接続は、藤沢ネットワークオペレーションセンタとハワイ

大学との海底ケーブルを用いた 64Kbps の専用線接続によって実現されている。ハワイ大学は、現在、環太平洋コンピュータコミュニケーション基盤を形成する実験活動である PACCOM (Pacific Computer Communication Infrastructure) の中心的役割を果たしている。米国 連邦研究ネットワークの西海岸の交換拠点である FIX-WEST (Federal Internet Exchange - WEST) へ接続されている。なお、PACCOM には、日本からの WIDE、TISN を含む 4 つの接続の他に、米国、オーストラリア、ニュージーランド、韓国の各国の研究ネットワークが接続されている。

2.2 WIDE インターネットの概要

WIDE インターネットのバックボーン部の接続は、64Kbps と 192 Kbps の 高速デジタル専用回線を用いて実現されている。バックボーンノード (NOC) 間接続は専用ルータと UNIX ワークステーションを用いて行ない、各 NOC と参加組織の接続は次のいずれかの方法によって行なわれている：

1. 専用ルータによる 64Kbps 高速デジタル回線
2. UNIX ワークステーションによる 192Kbps 高速デジタル回線
3. UNIX ワークステーションによる 64Kbps 高速デジタル回線
4. UNIX ワークステーションによる 3.4KHz 音声専用回線
5. ターミナルサーバによる 3.4KHz 音声専用回線
6. NOC ノードへの Ethernet 接続 (NOC 担当組織)

上記、1 は、専用ルータの独自データリンクプロトコル上に IP データグラム通信が稼働していて、2、3 は、Xerox Synchronous Point-to-Point プロトコル [8] 上で IP データグラムを稼働する SUN 社 INR か、SONY 社独自のソフトウェアを使用している。4 と 5 においては、SLIP [9] または CSLIP [10] を用いた非同期回線上の IP 接続を用いている。WIDE インターネットの論理接続図を図 2.1 に示す。

2.3 ネットワーク相互接続の実現

前に示した TCP/IP 系のネットワーク、すなわち、WIDE, TISN, JAIN はそれぞれ、また、相互に協調的に学術・研究環境のためのコミュニケーションインフラストラクチャを構築するための実験活動を続けてきた。各種の通信基盤となる回線技術と異種の計算機機器を相互に接続して共通の環境を構築するためには、組織運営や管理方針などの社会的な側面が正しく機能しなくてはならない。そして、その重要な基盤は、実験に基づいた経験的で実証的な技術の蓄積と移転である。これまでの WIDE インターネットおよび相互接続実験において対応を行ってきた主な問題点は次のような項目である。

2.3.1 データリンク・ネットワーク層対応技術

組織間を接続する回線として、専用線を用いるとそこで用いられるデータリンク層プロトコルの整合性が問題となる。TCP/IP プロトコル体系で、慣習的に利用されているプロトコルには、XEROX 社の同期型ポイント間プロトコルがあり、SUN マイクロシステムズ社の INR (InterNet Router) に用いられている。その他のルータにはそれぞれ独自のプロトコルが用いられていてこれらは相互に接続することは不可能である。これに対して、Internet 技術者の共同体である IETF (Internet Engineering Task Force) では、共通に用いることのできるポイント間プロトコルの開発を行ない、現在は、PPP (Point to Point Protocol, RFC1134[11]) として、仕様が決めたので、試作と運用実験を開始した。

2.3.2 ネットワーク層モジュールの整合

これまでの TCP/IP プロトコル体系による相互接続実験で、最も障害が多く発生したのがネットワーク層モジュールにおける整合性である。基盤となる Internet Protocol, IP(RFC791)[12] の整合性は比較的高かったが、IP モジュールに実装を義務づけられている障害報告プロトコルの ICMP(RFC792[13]) の実装は、不完全なものが多かった。これは、接続が小規模に行なわれている際は実際の複雑な障害が発生する機会が少なく、実装が洗練される機会に乏しかったことに原因がある。大規模な実際的な接続実験が開始されると、障害診断プロトコルに依存する機会や応用技術が増加し、これらの障害の発見が行なわれた。この分野での実証的な研究活動の重要性が認識された項目のひとつである。

また、通信プロトコルのような開放型の技術では、発展する技術に対する対応の時期が問題となる場合が多い。IP では、そのアドレス長の限界と、経路制御情報の増大を防ぐ目的から、サブネットの概念 (RFC950[14]) が新しく導入されたが、その実装時期が異なるために実際の運用ではその対応に多大の努力を行なった。これにともなうローカルエリアネットワーク内でのブロードキャストデータグラム (RFC919[15],922[16]) の扱いも新たな技術が必要となり、その実装の問題点も指摘された。この問題は、応用プロトコルである、経路制御プロトコルの整合にも問題を生じた。

2.3.3 応用技術

ネットワーク層のアドレスに対応する名前は、RFC822[17] 形式を利用する JUNET や BITNET などの電子メールアドレスとの整合性を考慮し、次のような階層的なドメイン (RFC1034[18], 1035[19]) による分散管理を行なっている。

ac academics: 大学・学術関係組織

ad administrations: ネットワーク管理組織

co commercials: 企業

go governments: 政府組織

or organizations: (非営利)組織

名前に関する矛盾の無い機能を分散的かつ国際的に提供するためにはその実装と設定が全域的に正しく働く必要があり、このための技術が検討され採用されている。

2.4 WIDE インターネットの利用

バックボーンにおけるトランスポートのポート番号を調査し、そのポートを利用している応用機能別にある平日24時間の集計をした結果、通信量の10%は、トランスポートデータグラム通信となっている。これは、ドメイン名とアドレスの対応を行なう名前サービス(DOMAIN)、経路制御プロトコル(Routing Information Protocol)、ネットワーク時刻同期プロトコル(Network Time Protocol)と、障害報告プロトコル(ICMP)によるネットワーク制御用に用いられている通信である。

TCPによる通信は全通信量の90%を占めていて、約70%がファイル転送(ftp)に用いられている。電子メールと電子ニュースのメッセージ交換が約14%、遠隔ログインが約6%となっている。

また、各応用機能別の平均パケット長を調査し、実際に各応用機能別のWIDEインターネット利用率などから、WIDEインターネット上での平均パケット長を算出するとともに、SNMPを用いて各回線上のパケット流量を3カ月間調査した結果を以下に示す。

	平均パケット数 (packet/sec)	平均データ量 (KBit/sec)	利用率
From U.S.	6.445	12.533	19.58%
To U.S.	7.181	13.964	21.81%
SFC to TYO	10.4528	20.326	10.58%
TYO to SFC	11.0945	21.574	11.23%
TYO to KYO	3.7929	7.375	11.52%
KYO to TYO	4.4691	8.681	13.56%

WNOC-SFCとWNOC-TYO間は、192Kbpsの回線を利用しているので、まだ、ある程度余裕があるが、PACCOMとの間の回線は、平均で約20%ほど利用され、ピーク時には、回線が持っている容量すべてを使い切っている。

2.5 WIDE インターネットの現状

WIDEインターネットの実験運用は、本論文執筆時点で3年が経過した。共同研究を行なっているWIDEインターネット参加組織のうち、大学は、キャンパスネットワークとの直接接続を行なっている場合が多い。しかし、ほとんどの大学のキャンパスネット

ワークは、研究室の接続が中心で、学部の教育環境を含んでいる大学は少ない。企業の接続は例外なく研究開発部門の接続に限られ、多くの組織ではネットワークへのアクセスを制限している。このような状況で、国際回線を含めたバックボーンの 64Kbps の回線は既に過負荷の状態に近付いている。

一方、応用別の通信量は、そのほとんどがファイル転送に用いられていることがわかっている。資源共有環境が十分な効果を発揮すればファイルの複製を作成する必要がない場合が多い。広域で大規模な分散環境の応用がファイル転送に限定されている現状は、提供されているネットワーク環境およびその利用文化が未成熟であることを示している。また、WIDE インターネットはその構築当初から、IP アドレスのサブネット化の推進とデフォルト経路の利用を行ってきた。これは、ネットワーク数に比較した小さな RIP の通信量として効果を認識することができる。

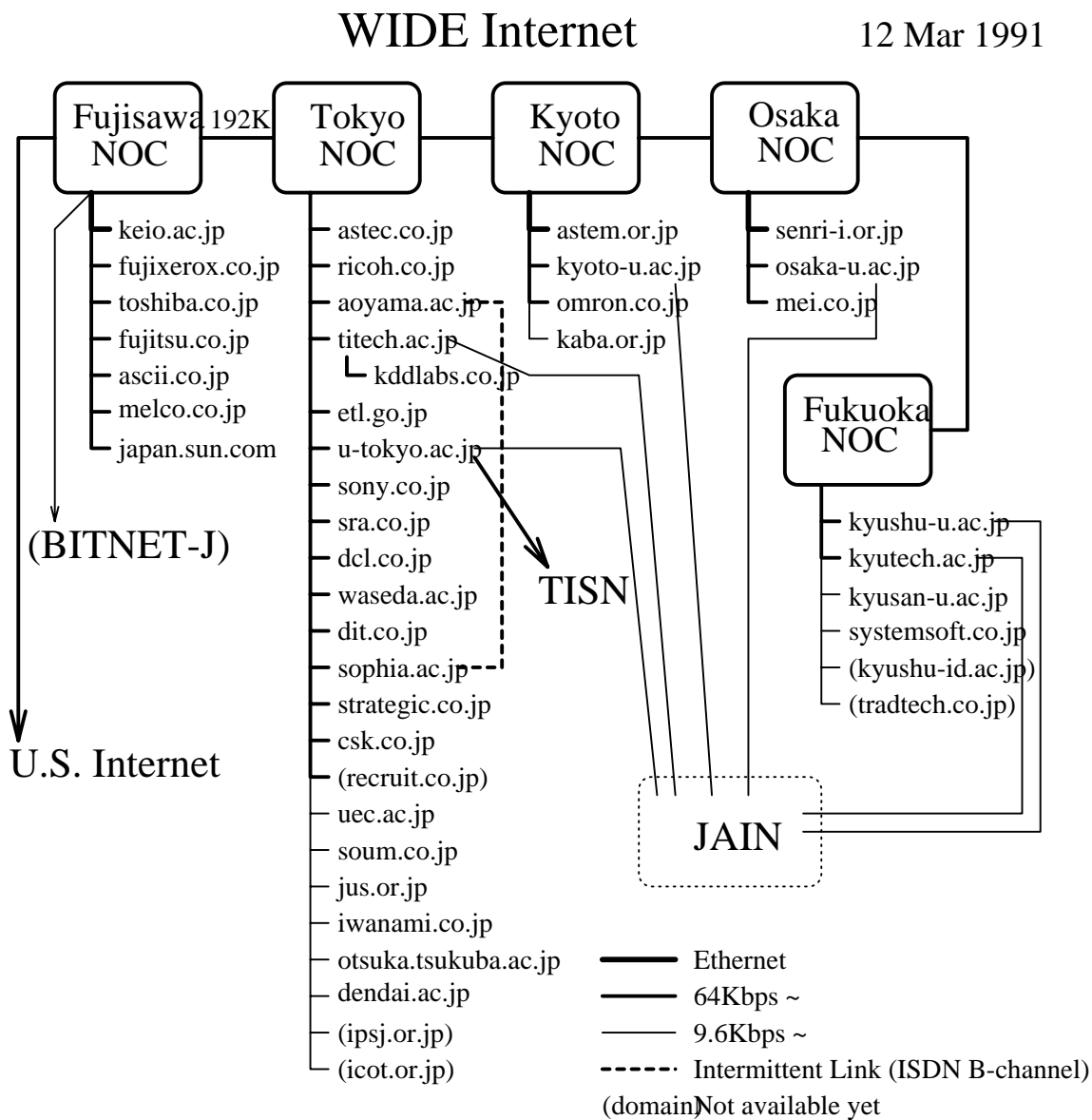


図 2.1: WIDE インターネット論理接続図