

## 第 2 部

# WIDE プロジェクト 概要



## 第 1 章

### はじめに

JUNET の実験を開始して 5 年間が経過した。この間に同ネットワークの参加組織は 330 にのぼり、それぞれの組織内のキャンパスネットワークやローカルエリアネットワークの環境の質も向上した。これらのネットワークを相互に接続し、より高度な学術・研究目的のコンピュータコミュニケーション基盤を構築する必要がある。このような計算機環境を構成する要素はパーソナル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、そのオペレーティングシステムも多様である。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、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。これらのあたらしい背景においては、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成果をふまえ、国際的な範囲を含む大規模広域分散環境の構築に関する技術の確立が必要である。

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エリアネットワークと、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統合的な環境を構築するための技術を確立する点にある。

一方、これらの視点で研究開発をすすめていくためには、計算機環境の現状、文化、法律などを含めた社会的背景に関する研究や分析も重要な課題である。電子メールや電子掲示版の利用技術やその情報に関する取り

扱い方法の明示的、暗示的な合意、さらに一般的な分散処理技術の発展にともなう計算機資源の相互利用に関する取り扱い、通信産業の提供する環境全般との関係、さまざまな次元でのわが国の国際的な位置付けといった項目がこの範疇に含まれる。このためには、実証的な実験に基き、試行錯誤を含めた経験としての技術の蓄積が不可欠である。

本論文は、大規模広域分散環境の研究を目的とした研究活動である WIDE の背景と方針、現状、今後の方針を報告するものである。

## 第 2 章

### WIDE プロジェクトの概要

WIDE (Widely Integrated Distributed Environment)[47] 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を開始した。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。

#### 2.1 研究期間

研究活動は当面 4 年間で予定している。この期間を 2 つのフェーズに分け、前半と後半をそれぞれ次のような方針で活動を行なっている。実際の活動は 1988 年 4 月から開始している。

##### フェーズ I(1988 年 4 月から 1990 年 3 月)

実験基盤の確立とゲートウェイ機能の開発、大規模分散型オペレーティングシステムの構造に関する設計、応用技術のプロトタイプの開発と実験などを目的とする。

##### フェーズ II(1990 年 4 月から 1992 年 3 月)

実験基盤の発展と運用の技術確立、大規模分散環境のためのオペレーティングシステム技術、ゲートウェイ技術、応用技術の開発と実験などを行ない、その技術移転を目的とする。

## 2.2 実験基盤の構築

実験基盤としてのネットワークを WIDE インターネットと呼び、運用を開始している。基盤技術としては一般的に利用されているインターネットプロトコル体系 (TCP/IP プロトコル体系) を用い、これに基づいたネットワーク管理や運用を行なうことから基盤構築を開始している。ここには、国際的な IP ベースのネットワーク接続を含み、地球全体を包含する大規模な分散環境の技術的な問題の実験と共に、応用的、社会的な視点でのさまざまな問題を議論する基盤にもなっている。

したがって、この基盤は WIDE プロジェクトで直接利用している専用の高速デジタル回線、音声回線、ISDN に加えて、学術情報センターの X.25 網を利用した大学間 IP 接続実験や、東京大学理学部による科学技術ネットワークの活動などと協調した国内の IP 系ネットワーク、さらに、JUNET を基盤とした情報交換ネットワークなどの諸活動との連携によって構成される。

さらに、NSF、ハワイ大学などの米国学術ネットワーク活動やオーストラリア学術研究ネットワーク活動 (AARN)、ヨーロッパ IP ネットワーク (EUnet や FUnet) などとの国際接続と連携、カリフォルニア大学バークレイ校とのオペレーティングシステム開発プロジェクトとの連携等を通じて、具体的な国際的研究環境の経験を実現する基盤を構築している。

## 第 3 章

### 背景

計算機環境を構成する要素はパーソナル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、そのオペレーティングシステムも多様である。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、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。これらのあたらしい背景においては、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成果をふまえ、国際的な範囲を含む大規模広域分散環境の構築に関する技術の確立が必要である。

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エリアネットワークと、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統合的な環境を構築するための技術を確立する点にある。

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 JUNET [45] によって実現され、270 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 [46]。また、ここでは RFC822 [16] に基づくメッセージ交換機能が全域的に実現され、さらに、米国、カナダ、ヨーロッパ各国の RFC822 と X400 の間のゲートウェイなど各種の変換ノードを介し

て世界全域の国際アカデミックネットワークとの電子メールと電子ニュースの接続が可能となっている。

わが国の国立大学大型計算機センター群はスーパーコンピュータと大型計算機の共同利用を提供していて、それらを中心としたその他の大学計算機センター群を接続する N-1 ネットワークを用いて相互利用が可能となっている。遠隔 TSS アクセスや RJE などを中心とした資源共有型のネットワークであった N-1 ネットワークも、1989 年より X.400 を意識した電子メールの開発が行なわれ運用が開始された。N-1 ネットワークは運用開始当初から公衆パケット交換網を独自のプロトコルを用いて利用していたが、順次あとで述べる学術情報交換網を用いる方向に移行している。学術情報センターを含めた大型計算機センター群はこれらの組織の努力を中心に、OSI 指向のネットワーク開発と利用が発展していくことが予想される。

学術情報センターはデータベースのサービスを始めとした応用サービスの他に、X.25 プロトコルによるプライベートパケット交換網を文部省関係の組織に提供している。N-1 ネットワークの他に、高エネルギー関係や医学関係の実験や運用ネットワーク、さらに、キャンパスネットワークの相互接続のための研究実験のためにも提供している。

このほかに、分野別の研究目的のネットワークも多く、DECNET プロトコル体系を中心的に用いた高エネルギー関係の HEPNET、IBM RSCS プロトコルを用いた BITNET もそれぞれ国際専用線接続を利用し、活発なネットワーク環境を実現している。これらはいずれもメッセージ交換形式としては RFC822 を用いていて国内のゲートウェイを介して相互に通信が可能となっている。



## 第 4 章

### 大規模広域分散環境の構築

本研究の対象とする計算機環境の規模としての目標は大学・研究組織上での分散環境を想定しているため、その範囲としては世界全体を含むことになる。このような基盤を構築するための実験として当面の対象となるのはわが国の大学を中心とした計算機環境の統合的な確立に必要な技術の追求である。このような環境におけるネットワーク技術を実現するためには、画一的な技術を基盤にした単純なネットワーク構造を期待するのは不可能ばかりでなく、環境に応じた最適な技術の利用という視点では効率が悪い。柔軟な基礎技術への対応とそれに基づいた開放的なシステム構造を開発する必要がある。そのために、ここでは次のような項目に分類して研究活動を行なうことにした。実際の開発対象は SUN ワークステーション、SONY NEWS ワークステーション、OMRON LUNA ワークステーション、DEC マイクロ VAX などの BSD UNIX を基盤としたオペレーティングシステム環境を用いている。これは、より広い研究環境への実験基盤を構築するために入手が容易で一般的に使用されている環境を対象とするためである。

#### 4.1 異種通信技術の利用

実際の大規模分散環境を構築するためには使用可能な下位の通信技術が具体的な一定のプロトコル構造によって利用された時の性質を実証的に把握しておくことが重要である。したがって、本研究の一つの焦点は、対象として想定している環境の中で利用され得る異種通信技術を最も効率的に利用するための技術の確立である。この異種性は、動的なスループットの変化、動的な遅延時間の変化、コネクション確立に対するオーバヘッド、回線の課金システムなどに関する各特性として整理し、これらの積極的な制御機構の基盤を開発する。具体的には、公衆電話回線、アナログ専用回線、デジタル専用回線、公衆パケット交換網、プライベートパケット交換網、ISDN と、サテライト経由と海底ケーブル経由の国際回線をすべて同じ

上位プロトコルで利用できる環境を実験基盤として開発する。特に、ISDN のような回線交換型の通信技術や、X.25 プロトコルの汎用データグラムによる利用に関するネットワーク技術、オペレーティング技術は確立されていない。このような回線の接続と切断とデータグラムの到着の関係を明確に定義することが困難であり、そのような回線を含んだ経路情報の取り扱い技術も確立していないからである。WIDE ではこの問題を解決するための開発と実験を行なっている。

## 4.2 信頼性のあるバックボーン構造

大規模で広域に渡る分散環境の基盤を考えると、中継ノードやそれらを接続する回線の障害などに起因するネットワークの分断問題に対する技術確立する必要がある。この問題は経路制御手順を用いた冗長経路の利用として一般に解決されるが、WIDE ではこの問題を前項で得られる各種通信技術の特性の評価を利用して、これに基づいたネットワーク構造の強じん化を行なっている。特に、回線交換式の課金システムに基づいた公衆回線や ISDN の接続とパケット交換式の通信技術を用いた接続はネットワーク間接続のバックアップ回線として効果がある。これによって、速やかな障害の検出、その伝搬、効率的なバックアップ回線の利用、それに対応する経路制御、最終的なオペレータ介入の復帰、といった一連の体系を確立することができる。この技術はバックボーン構造として実現している。

## 4.3 ゲートウェイ機能

ネットワーク間接続の概念は [81] でその基盤が提案されたように、ネットワーク毎に異なる技術と運用方針をその境界であるゲートウェイノードで吸収する必要がある。大規模で複雑なネットワーク間接続を実現するためには現実的な規模を想定して、それに適応する新しい経路制御技術の開発しなければならない。WIDE では、ある自治ネットワークにおける内部アドレスと外部アドレスへの対応付け、アドレスの書き換え、経路決定アルゴリズムなどに関する多様な実験を行なうことによってこの問題を実証的に追求する。また、WIDE の環境では中継ノードや回線の故障によるバックアップ回線の動的な利用や、その大規模性に起因して全体のネットワーク間接続のトポロジが動的に変化することになる。これに対応するゲートウェイ間プロトコルの開発も急務である。

また、サービスの型に依存した最も有効なデータリンクエンティティの選択もゲートウェイ機能として実現する。実際の自治ネットワークでは、

外部に公開するアドレス、ゲートウェイの通過を可能にするアドレスの集合、データリンクのアクセス権などに関する独自のポリシーを行使する要求がある。このような要求もゲートウェイプロトコルをはじめとするゲートウェイ機能として実現する。

#### 4.4 プロセス間通信インターフェース

WIDE の環境における共通の応用技術を開発する基盤として、共通のプロセス間通信インターフェースを提供する。ここでは、サービスのアクセス点とその名前表現、接続の性能状態に対する要求、データの表現形式、認証とセキュリティ機能の各技術に関する複数の副階層のプロセス間通信インターフェースとして設計している。また、サービスの決定に通信状態の情報を利用することにより、複数候補のサービスの選択などが実現できるようになる。

#### 4.5 資源管理機能

WIDE の環境では共通のサービスを資源の実体として定義し、それに名前を付ける。各資源の名前は名前サーバの機能により階層的な構造を用いて表現できるので、現在使用されている名前管理機構 [27] との整合性を保つことができる。資源のアクセス権はここで定義される所有権により実現される。

#### 4.6 応用技術

WIDE の応用技術は上記の資源管理機構とプロセス間通信インターフェースを利用して作成される。現在は、既存のインターネットプロトコルの応用技術と、対話型の会議システム、大規模な処理を伴う応用技術の環境上での共有に関する実験、マルチメディア通信の実験などが行なわれている。

#### 4.7 ネットワーク管理運用技術

大規模なネットワークの運用には、ネットワーク管理や診断のプロトコルの開発やそれに基づいた管理運用技術を確立する必要がある。このような技術は SNMP (Simple Network Management Protocol)[8] のようなネットワークマネジメントのプロトコルとして実現されているが、WIDE

ではこのような情報を分散システムの構築に有効に利用できるようなオペレーティングシステムの機能の開発を行なっている。また、セキュリティやアクセス権などのポリシー行使の制御、日常のネットワーク維持、故障時の対策などを技術的に体系付け、ガイドラインや応用技術として実現する。このような、WIDE のシステム構造を Figure 4.1に示す。

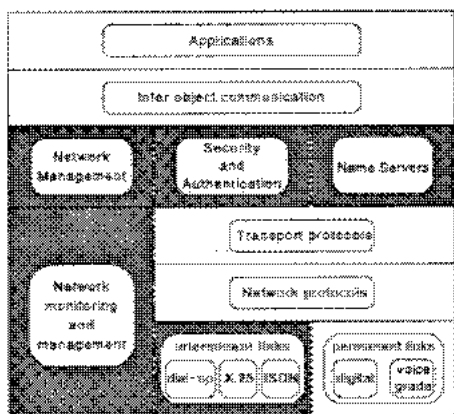


図 4.1: WIDE のシステム構造

## 第 5 章

# WIDE インターネットの構築と運用

広域大規模分散環境の実証的な研究を実行するためには実験基盤が必要となる。そのために、WIDE インターネットを構築する。WIDE インターネットは次のような条件を考慮して構築している。

- 汎用プロトコルによる大規模な分散環境の構築が可能なこと。
- わが国で利用できるデータリンクを有効に利用すること。
- 将来の研究開発ネットワークの構築に有効な実験成果を生み出すこと。
- 国際的な規模での環境を実験できること。

### 5.1 異種通信技術の利用

広域大規模分散環境にあたっての要求の一つとして、多様な異種通信技術を IP 等の共通のプロトコル体系の中で柔軟に、かつ、効率的に利用するための技術がある。このためには、単一的な専用回線やサブネットワークの利用に比べて、異種通信技術の並列利用には経済的にも、性能的にも有利である可能性がある。

特に、わが国には、DDX, Venus-P, INS ネット 64 といったパケット交換サービスの充実、学術情報センターの提供するプライベートパケット交換網といった背景環境がある。WIDE では、このような X.25 パケット交換網の効率的な利用を実験開発した [21]。また、INS ネット-64 の B チャンネルや公衆電話回線を専用回線や X.25 パケット交換網と同じ上位プロトコルで利用するための技術も、経済・技術の両面から広域大規模分散環境の構築に重要な技術でありこれを積極的に利用している。

### 5.2 プロトコル

WIDE インターネットの初期プロトコルとして、TCP/IP を中心と

した、DARPA プロトコル体系を用いる。これによって、活発な利用、効率的な開発、国際接続などに有効な構築を行なうことができる。データリンクのプロトコルとして、PPP [53]、X.25、SLIP などを試作し、運用している。

### 5.3 バックボーン構造

WIDE インターネットでは、管理運用の技術を集約するためにバックボーン構造をとることにする。すなわち、バックボーンとそれに接続される各ネットワークという2階層の構造によって全体のネットワーク間接続を実現する。バックボーンには 64Kbps の高速デジタル回線を基本とし、ISDN を用いたバックアップ機構を備えることにした。また、バックボーンからの他のネットワークへの接続は高速デジタル回線や 3.4KHz 音声回線による SLIP などを利用して行なう。バックボーンノードの構造の例を Figure 5.1 に示す。バックボーン上は現在一日 100M バイト程度のトラフィックがあり、その利用状況は Figure 5.2 のようになっている。

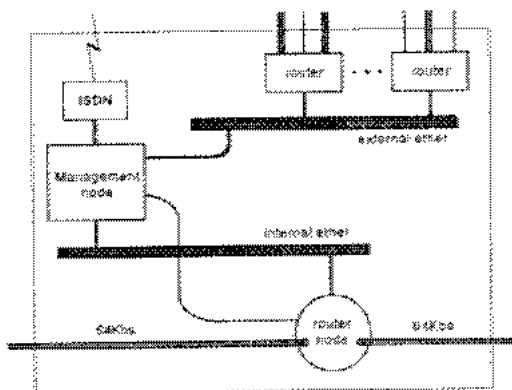


図 5.1: WIDE バックボーンノードの構造例

実際のバックボーンは慶應義塾大学、WIDE 東京ネットワークオペレーションセンター (WNOC-TOKYO)、WIDE 京都ネットワークオペレーションセンター (WNOC-KYOTO) があり、大阪地区のバックボーンノードも計画されている。全体のバックボーン構造を Figure 5.3 に示す。現在、各実験ノードはいずれかのバックボーンノードに接続されるように再構成を行っており、Figure 5.4 のようなトポロジとなっている。

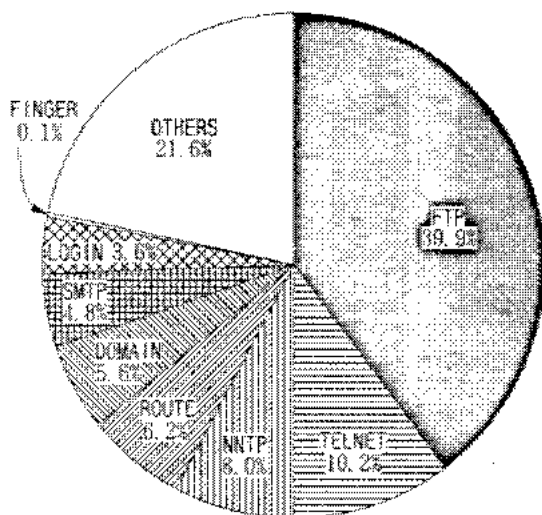


図 5.2: WIDE バックボーンのプロトコル別利用状況

## 5.4 国際接続

JUNET の国際接続は KDD 研究所の UUCP 接続と、東京大学から NSF への学術情報センターのサテライト回線を用い IP 接続で行なわれている。WIDE インターネットの国際接続は、太平洋の海底ケーブルである TPC-3 と HAW-4 などを用いた回線により実現されている。この接続は PACCOM[50] プロジェクトとの共同研究により実現している。同プロジェクトは、1988 年 6 月より開始した環太平洋の研究用計算機環境を構築する試みで、現在米国、日本、ニュージーランド、オーストラリアが接続されていて、韓国が近く接続される予定になっている。

ハワイ大学は 海底光ケーブル、HAW-4 を用いて本土との間に 512Kbps の接続を持っている。オーストラリアとの 56Kbps のサテライト (64Kbps の海底ケーブルに変更される予定) は、メルボルン大学と接続され、オーストラリア学術研究ネットワーク (AARN) との相互接続が実現されている。ニュージーランドのワイカト大学とハワイ大学の接続は現在 19.2Kbps の海底ケーブルを用いている。

WIDE プロジェクトの接続は慶應義塾大学に設置してある `jp-gate.wide.ad.jp(133.4.1.1)` によって 64Kbps の接続を用いて行なっている。わが国の PACCOM 接続はこの他にも東京大学理学部 (TISN) によって実現されていて、物理関係の組織の科学情報の交換を目的とした活動を行なっている。ヨーロッパ諸

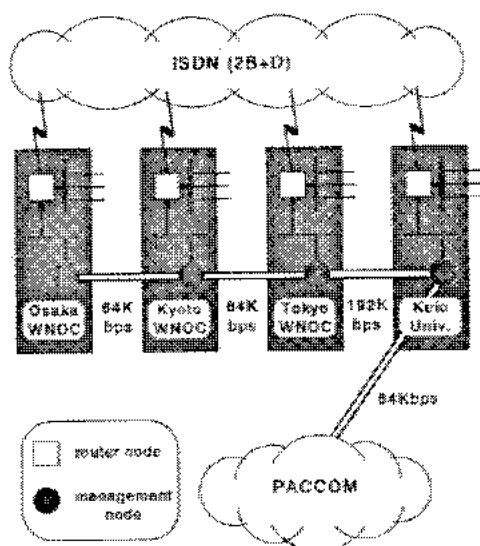


図 5.3: WIDE バックボーン構成

国は米国を介した接続で実現されている。

WIDE に関連した国際接続を Figure 5.5 に示す。

## 5.5 運用

実際の WIDE インターネットの運用は、他の IP を基盤としたのネットワークとの協調関係によっておこなわれている。実際に相互接続を実現している IP ネットワークは次の 3 者である。

- i) WIDE インターネット
- ii) TISN
- iii) 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)

i) は WIDE プロジェクトの国内接続と、全般的な国際接続の責任を負い、ii) は科学コミュニティの TISN プロジェクトの国内接続と同プロジェクトの国際接続の責任を負い、iii) は学術情報センターが自主運営している X.25 パケット交換網を利用した大学間の IP 接続の実験の責任を負っている。これらは、いずれも東京大学をゲートウェイとして相互に接続されていて協調的な管理運用が行なわれている [48]。



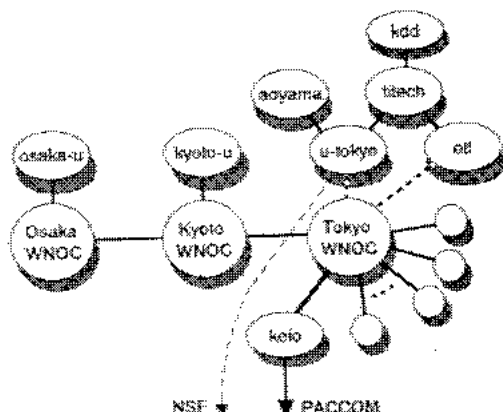


図 5.4: WIDE バックボーンとその接続

### 5.5.1 アドレス

WIDE のアドレスと名前管理は当面 IP コミュニティの一部としての役割を果たしていくことにしている。アドレスの割り当ては、日本の「インターネットアドレス調整委員会」ip-alloc@u-tokyo.ac.jp と米国 SRI-NIC により一意的に管理されている。経路制御情報の情報量の問題からクラス B をサブネットすることが強く望まれている。

### 5.5.2 名前

ISO3166 [24] 国識別コードによる地域名称を第一ドメインにすることが、国際的には了解されている。これによるとわが国は「.jp」である。歴史的な理由でこれに従っていない国は米国と英国である。米国は .edu .com .mil .org .net といった組織の種別を示す論理名称を第一ドメインに使用しているのが大半である (ISO3166 である .us を用いているドメインも増えてきた)。英国は janet での慣習により .uk を用いているが、ISO3166 では .gb が正しい。

各アカデミックネットワークはこの名前方式に対する移行体制を提供している。bitnet はドメインでの登録を既に開始している。csnet は既に移行を完了した。bitnet と csnet によって構成される Onenet はこの方式を用いることが決まっている。junet は移行を完了した。

わが国では、junet と日本 bitnet との合意により 第 2 ドメインに論理組織種別名、組織名を第 3 ドメインに用いることにした。第 2 ドメインは 大学を .ac、政府関係を .go、企業を .co、ネットワーク管理組織を .ad、非営利組織を .or とすることにした。第 3 ドメインに関する一意性は junet

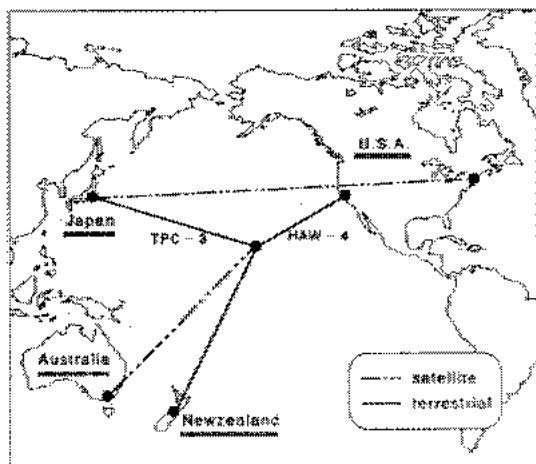


図 5.5: WIDE 関連の国際 IP 接続

と bitnet の両方で調整していくことに合意した。上記 ii) と iii) のグループもこの名前管理方式がとられている。

.jp の名前情報の提供は BIND ネームサーバによって行なわれていて、.jp は jp-gate.wide.ad.jp をはじめとして、acrux.s.u-tokyo.ac.jp や 数箇所の主な米国内のホストとオーストラリアの国際ゲートウェイによって運営されている。Figure 5.6 に WIDE 及び関連するわが国の IP ネットワーク接続の現状を示す。ここでは、左上の破線で囲まれた部分が学術情報センターを用いた科研費による実験接続、右の一点破線で囲まれた場部分が東京大学理学部による TISN による接続、下部が直接の国際接続、その他が WIDE による接続となる。

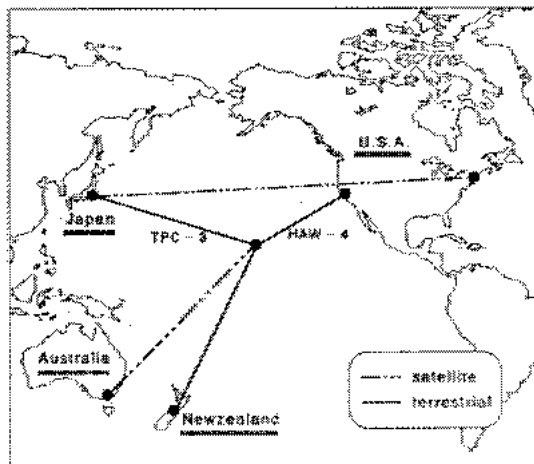


図 5.6: WIDE に関連した IP 接続の現状

## 第 6 章

### まとめ

広域大規模分散環境の構築に関する研究計画である WIDE の概要とその実験基盤の構築に関して報告した。ここでは、初期プロトコルとしてインターネットプロトコル (TCP/IP) を利用し、異種回線技術の開発を行っている。その大規模性のために、経路制御のためのアドレスや名前、資源の名前に関連する技術の確立が基盤となり、組織間のネットワーク間接続を実現するために各ネットワークの自治性を尊重するための技術とともに、ゲートウェイの技術が実験開発の焦点となる。初期研究計画は 2ヶ年で、1988 年度と 1989 年度で国際接続を含めた基盤環境の開発に重点をおいた。

構築された基盤技術を用いると、学術情報センターの X.25 や ISDN などわが国の研究環境における広域大規模分散環境としての研究や実験を国際的な関係の中で行なうことができる。これを利用した幅広い研究とその成果の蓄積が今後の研究関係のコンピュータコミュニケーション環境を形成する上で重要な課題である。