

## ● 特集：生きたインターネット研究への取り組みと成果

### 4. 広域・大規模アプリケーションと実験活動

門林雄基／大阪大学

田中友英／北陸先端科学技術大学院大学

中村素典／京都大学

植原啓介／慶應義塾大学

佐野 晋／日本電気（株）

インターネット・アプリケーションに関する研究では、単純化されたクライアント・サーバモデルとは異なり、通信環境の多様性や、使用するシステムの多様性といった特性を取り扱うことが求められる。また、インターネットに代表される大規模な通信環境では、クライアント数の増加に対するシステム全体としてのスケーラビリティ、システムの一部に障害が発生した場合における可用性などの問題も解決しなければならない。本稿ではインターネット・アプリケーションについて WIDE プロジェクトが取り組んできた研究テーマのうち、特に大規模、広域という特性を取り扱ったものについて解説する。

#### はじめに

インターネットの大きな特徴として、そのアーキテクチャが許容する多様性が挙げられる。たとえば、インターネットの標準トランスポート層プロトコルである TCP は、専用線、携帯電話網、Ethernet、ATM などのさまざまなデータリンク層の上で動作する。このように、下位層において他のネットワークアーキテクチャにみられないような多様性を許容するしくみが提供されているため、アプリケーション層においても多様な環境下で通信を行うためのしくみが求められている。

多様な環境における通信の相互接続性 (Interoperability) という考え方は、インターネットアーキテクチャの根幹である。これを各層において実現していくことによってインターネットの実用性を高め、また、インターネット技術の適用範囲を広げていくことができる。

TCP/IP プロトコルを用いることで、パケット廃棄率、MTU といった通信環境の多様性を吸収すること

ができる。しかし、通信の遅延やアプリケーションを動作させる計算機の信頼性、あるいはアプリケーションが用いるプロトコルの多様性などの問題は上位層において解決しなければならない。

これらの問題は、特に大規模な通信環境において重要な意味を持つ。LAN 環境は規模が小さく、単一の運用主体を仮定することができるため、遅延やシステムの多様性といった問題を取り扱う必要はないが、遅延が大きく、複数の運用主体が関係するような大規模な通信環境では、これらの問題をアプリケーションにおいて取り扱うことが求められる。また、大規模な通信環境では、アプリケーションに対して設計時の予想を上回る負荷がかかった場合にサービスを継続できることが求められる。

WIDE プロジェクトでは、そのような大規模アプリケーションを多様なシステムの疎結合 (loosely coupled systems) によって構成するという基本的な考え方のもとで、さまざまなアプリケーションを題材として研究を行ってきた。

まず、インターネットにおける標準メールシステムである sendmail の改良と sendmail 構成ツール CF の開発を通じて、ユーザからの大規模な電子メール配送要求や多様なネットワーク構成を実現するメッセージング・アーキテクチャについて研究を行った。sendmail への改良としては、メーリングリストのような大量の電子メールを取り扱う場合における電子メール配送効率の改善を行った。また、メールシステム構成の柔軟性を損なうことなく、sendmail の設定情報を容易に生成するツール CF を開発した。

メッセージング・アーキテクチャをインターネット以外の領域へ広げる試みも継続して行われている。インターネット構築の初期において、インターネットの標準プロトコルだけでなく、UUCP や X.400 その他の電子メールシステムを相互接続することで、より広いユーザ間のメール交換を可能にした。現在、日常的に

用いられているパソコン通信とインターネット間の電子メール交換サービスも、国内では、WIDEプロジェクトが中心となって、国内の主要パソコン通信サービス会社との共同研究実験プロジェクトを行い、整備されたものである。

さらに、まったく異なったネットワークアーキテクチャを持ったシステムをインターネットを介して相互に接続することで、その広域性、多様性はさらに拡大する。WRW (WIDE Radio WAN) およびその後継であるLWPA (Light Weight Protocol Architecture) では、通信特性の異なるインターネットと無線ネットワークにおいて別のトランスポートプロトコルを用いることで、効率的な移動インターネット環境の確立を目指した。

これまで密結合を前提としていたアプリケーションに対しても、疎結合という観点から研究が行われた。WWFSは、分散ファイルシステムにおいて疎結合システムにおけるファイル同期、広域ネットワークにおける可用性を取り扱った研究である。WWFSでは、ローカルな密結合システムと広域ネットワークにまたがる疎結合システムの境界においてプロトコル変換を行うことで、密結合システムとして提供されてきた分散ファイルシステムに対して疎結合システムのスケラビリティ、多様性といった特性を付与できることを示した。また、個々のサーバによって提供される可用性は限られたものであるが、疎結合システムにおけるファイル同期制約のもとでサービスの複製を行い、動的なサーバ切り替えを行うことで可用性を改善できることを示した。

Lifelineワーキンググループでは災害時における実用的なインフラストラクチャとしてインターネットを利用するため、さまざまな技術開発を行っている。災害時にはインターネットを構成する各システムに対して予想を上回る負荷がかかるため、大規模アプリケーションを構成するうえでのさまざまな問題点が明らかにされた。これらの問題点に対し、Lifelineワーキンググループが開発したIAA (I Am Alive) データベースでは、独立して動作するシステムを複数用意し、疎結合システムの強連結によるインフラストラクチャ構築を試みている。

## sendmail

電子メールは、ネットワークを用いてコミュニケーションを行う上で最も基本的かつ重要なサービスである。特に他のサービスと比較すると、電子メールはTCP/IPプロトコルで構築されたインターネットだけに閉じたものではなく、UUCPやBITNETのようなTCP/IPとは異なるプロトコルを利用するネットワークやパソコン通信サービスなどとも相互接続<sup>1), 2)</sup>を

持つことにより、世界的に見ても最も利用可能範囲の広い基本サービスである。このような特徴を持つ電子メールを正しく目的地にまで配送するには、TCP/IPプロトコルのような下位プロトコルに依存しない電子メール独自の経路制御方式が必要となる。

古くから電子メールの配送に利用されてきたMTA (Mail Transport Agent) の1つにsendmailがある。sendmailは電子メールの配送において、下位プロトコルに依存しないように実装されていたことから、さまざまなメールシステムを構築する多くの場面で利用されてきた。WIDEプロジェクトにおいても、IPネットワーク上の電子メールシステムの構築にsendmailを利用し、その際必要となる運用技術を研究してきた。特に、インターネットで用いられている計算機の名前に対応するアドレス解決のためのDNS (Domain Name System) と呼ばれる広域分散データベースが、インターネットにおける電子メールの経路制御にも利用されることから、DNSの運用管理およびsendmailとDNSとの関係のための技術研究が重要であった<sup>3), 4)</sup>。

sendmailはさまざまなバージョンのUNIXで動作し、ベンダが提供するOSに最初から搭載されていることもあって、最も広く利用されているMTAの1つとなっている。しかし、UC Berkeleyにおけるsendmailの開発が4.3BSD UNIXと共に配布されたsendmail R5を最後に停滞してしまったため、独自の拡張機能を持つsendmailがいくつも派生することとなった。WIDEプロジェクトにおいても、オリジナルのsendmailの不具合を修正するとともに、さまざまな機能拡張や国内ベンダが提供するUNIXをサポートしたWIDE版sendmailを配布し、国内の電子メール利用のための基盤整備に努力した<sup>3), 4)</sup>。

1993年になってUC Berkeleyにおけるsendmailの開発作業が再開されたが、この作業によってWIDE版を含むいくつもあった派生バージョンが1つに統合された。これによって、多くの人々か異なる派生バージョンに対して同様の機能拡張を行うという無駄な労力を払わずに済むことになった。現在の最新バージョンはsendmail R8.8であるが、IETFなどで決定される新しい規格への対応や、SPAMなどインターネットの普及に従って顕在化してきた問題への対策などのために継続して開発が続けられており、WIDEプロジェクトとしても引き続きバグフィックスや機能強化に協力している。

sendmailを利用するためには、その設定ファイルであるsendmail.cfを生成することがシステム管理者に課せられた重要な作業の1つとなっている。sendmailは非常に高機能で、sendmailの動作はすべてsendmail.cfによって制御することができるようになっている。しかし、そのような制御の柔軟性がsendmail.cfを複雑で難解なものにしてしまった。

WIDEプロジェクトでは、CFと呼ぶsendmail.cf生成ツールを1993年より配布している<sup>5)</sup>。CFは、オリジナルのsendmailに付属するm4によるツールと同様なsendmail.cf生成手段を提供するものであるが、m4を使わず大部分がシェル・スクリプトで記述されている。また、CFにはさまざまな形態のメールシステムを構築するための基本的な設定が網羅されているため、非常に特殊なメールシステムを構築する場合でない限り、たいていのsendmail.cfを生成することが可能である。現在、日本の多くのメールシステムにおいて、CFで生成されたsendmail.cfが利用されている。

電子メールは、ネットワーク上での情報交換や議論に広く利用されている。しかし、近年、ネットワークの利用率が高まり、高い確率でパケットロスが起こるような状況がみられるようになった。このような状況では、従来からのsendmailの配信方法では議論が困難になるほどメールの配信に遅延が発生する場合がある。

このような電子メールの即時性が次第に失われつつある状況を打開するために、1995年より高速配信技術の研究を開始した。初期に実装した方式は、DNSの検索やSMTPコネクションの確立処理を並列化することによって、電子メールの配送開始までにかかる余分な時間を極力減らすというものである<sup>6)</sup>。それらの方法に加え、さらにSMTPの通信を並列化することでさらなる高速化が可能であり、現在この方式をsmtpfeedと呼ぶsendmailから呼び出す外部メーラの形で実装し、評価を行っている。

## WRWとLWP

移動環境下でのインターネットへのアクセスという問題は、従来からWIDEプロジェクトの主要な研究課題であり、VIP、PHONE-SHELL、携帯パーソナルコンピュータ上のOS整備、移動体環境での分散ファイルの研究といった種々の研究活動を行ってきた。

WRW (WIDE Radio WAN) およびその後継であるLWPA (Light Weight Protocol Architecture) は、広域無線通信メディアに適した専用のトランスポートプロトコルを用意し、ゲートウェイを介してインターネットと接続することにより、効率的でシームレスな移動体インターネット通信基盤を提供しようとするものである。

### 広域無線通信メディアの特性

モバイル通信で利用される、携帯電話やPHSなどのセルラ方式のネットワークや、MCA (マルチチャネルアクセス) といった広域無線通信メディアは、一般に低速、高遅延である。また、移動中は通信断が頻繁に起き、データ誤りやデータロスが多い。また、チャネルの確保や低レベルでの誤り制御機構が原因で、

遅延の揺らぎが大きいのも特徴である。今後、W-CDMAなど高速化によって、低速、高遅延といった特性は改善される可能性はあるが、無線の不安定さに起因するその他の特性は、今後も改善はあまり期待できない。

### TCP/IPとの相性

このような特性を持った広域無線メディアで、通常のTCP/IPによるインターネット接続を行った場合、次のような問題が起きる。

#### • プロトコルヘッダのオーバヘッド

低速通信メディアにおいて、プロトコルヘッダのオーバヘッドは無視できない。転送単位を大きくすることで、オーバヘッドを軽減させることができるが、パケットロスおよび誤り時の再送量が増え、全体のスループットを下げるとなる。

#### • データリンクレベルでの誤り制御

多くの広域無線通信メディアではデータリンク層での誤り制御を行っている。これにより無線の不安定さが、スループットや遅延の大きな揺らぎを発生させる。また、TCPでの誤り制御と2重に誤り制御が行われており、全体として、非効率である。

#### • TCPの挙動

無線メディアでは、その状況によって一時的なパケットロスが発生し、それにより突発的な高遅延が発生する。その挙動はインターネットでの輻輳によるパケットロスとは異なった特性を持つ。多くの場合、無線メディアでのパケットロスと高遅延は一時的なもので、普通は、速やかに解決する。TCPでは、パケットロスが発生すると、ネットワークの輻輳の発生と判断し、送出するデータの転送量を大幅に抑える。これにより、全体のスループットは悪くなる (図-1)。

たとえば、ダイヤルアップPPPで接続されたPPP回線において、3秒の切断が発生すると、TCPはその回復に約40秒を必要とすることが分かっている。

### LWPA - Light Weight Protocol Architecture

以上のように、直接TCP/IPを用いるといろいろな不具合が発生する。これは、TCPの制御機構が低速で切断や瞬断が多発するリンクを想定していないのと、TCPがエンド・エンドでエラーや遅延を観測しながら網の状況を推測するため、まったく異なった特性のネットワークが組み合わさったネットワークでは、その機構がうまく動かないからである。

そこで、我々は無線部分に専用のトランスポートプロトコルLWPを導入した。無線部分とインターネットとの接点にTCP/IP-LWP相互変換ゲートウェイを設置し、ユーザからはLWPがシームレスとなるようなアーキテクチャとしている。LWPでは無線区間を1対1の接続に限定することにより、プロトコルの簡

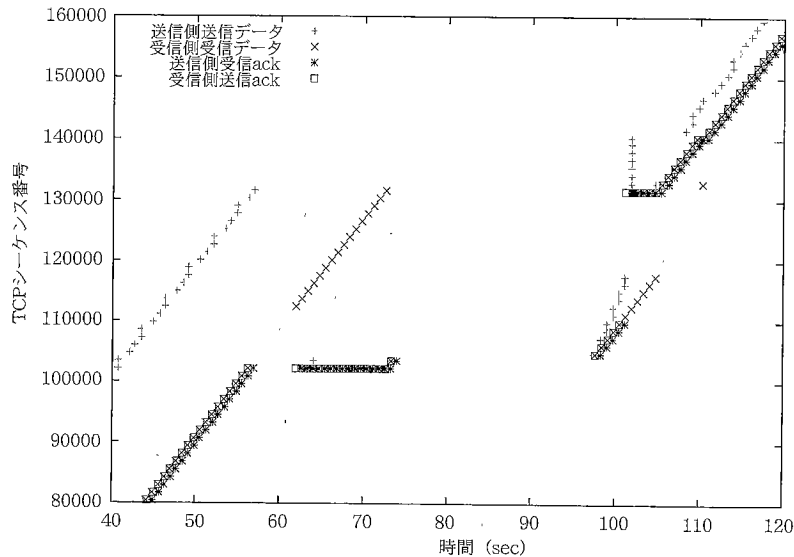


図-1 ハンドオーバー発生時のTCPシーケンスの推移

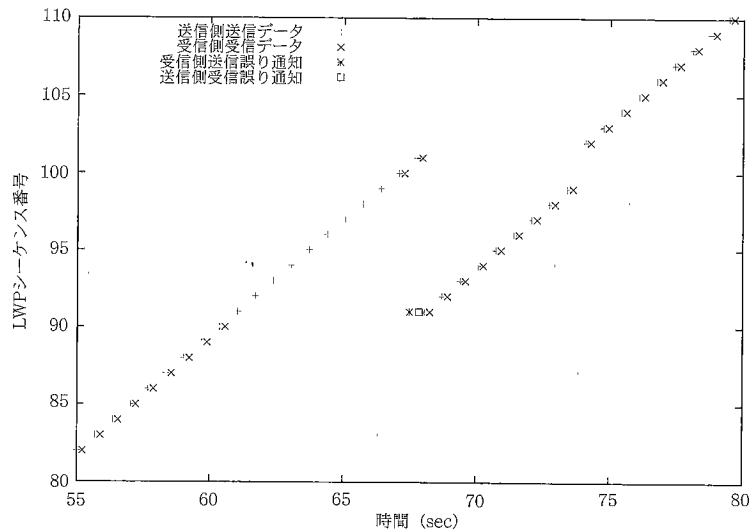


図-2 ハンドオーバー発生時のLWPシーケンスの推移

略化を行っている。さらに、無線固有の問題、たとえば、回線切断時の再接続処理機構を加えることにより、アプリケーションに無線の問題を隠蔽した。また、TCP/IP-LWP相互変換ゲートウェイではバッファを持つことにより、TCPへの無線網の特性の影響を軽減している。以下にその特徴を簡単に説明する。プロトコルの詳細は文献7)を参照されたい。

• 階層独立の弊害の解消

OSIの7階層参照モデルにおけるデータリンク層からトランスポート層までを1つにまとめることにより、網の状態の把握や層間でのデータ受渡しに伴うオーバーヘッドの解消を簡単にする。さらに、無駄なフィールドを省略することにより、ヘッダのオーバーヘッドを最小限にとどめる。

• プロトコルオーバーヘッドの軽減

データリンクをシリアル回線に限定することにより、シリアル通信の性質を利用した誤り検出を行う。また、確認応答を省略することにより、プロトコル自

体の制御用の通信量を少なく保つ。

• 回線切断やスループット、遅延の揺れへの対応

無線部分が一時的に切断しても、一定時間後に再接続を行い、アプリケーションには切断を意識させない。また、瞬断後の再接続でも、速やかにスループットが回復する。

実装および評価

現在、クライアントはUNIXが動くPCノート上で動作する。アプリケーションインタフェースはソケットを用いており、普通のインターネット・アプリケーションをほぼそのまま動かすことができる。無線ネットワークとして、当初はMCA方式を採用する広域無線データネットワークである日本シティメディアのネットワークを利用していた。現在はPHSや携帯電話を用いて、評価を行っている。

PHS上では、安定したリンク上でも、5.5%程度、不安定なリンクでは状況によっては17%以上の性能

が改善されている。また、回線切断時にも自動的に再接続が行われるため、比較的大きなファイル転送や、大きな画面イメージを持つWEBページのアクセスも、再接続時にすでに送られたデータを再転送することなく送られ、その有効性が確かめられている(図-2)。

## WWFS

分散ファイルシステムは、ネットワーク上の計算機に分散された情報を統一的に扱うための有効な手段の1つである。しかしながら、分散ファイルシステムではファイルの一貫性を保つために計算機間で密なやりとりを行うため、広域ネットワークへの拡張が難しいとされてきた。

特に、異なる運用主体が関係するインターネットのような環境においてファイルを共有しようとするとき、システムの多様性や通信環境の多様性を許容しつつファイルを共有する必要が生じる。WIDEプロジェクトでは、多様でかつ広域にひろがる通信環境に適した分散ファイルシステムについて研究を行ってきた。

そのためのアプローチの1つとして、WWFSでは、密結合を前提とした既存の分散ファイルシステムに対して広域ネットワークへの拡張性を付与するというところを行った。既存の分散ファイルシステムとのインタフェースの連続性を保ったまま広域ネットワークに適したプロトコルへの変換を行うことで、ローカルな分散ファイルシステムで得られた利便性を損なうことなく広域ネットワークにおけるシステムの多様性や通信環境の多様性を許容することを目標とした<sup>8), 9)</sup>。

### 密結合システムのための設計

NFSなどの分散ファイルシステムでは、ファイル共有のために粒度の細かいプロトコルが用いられる。これは、ネットワークの帯域幅や遅延を主なオーバーヘッドとして考慮せずにOSにおけるopen, readなどのファイルの基本操作をそのままネットワークプロトコルとして定義したためである。これによって分散ファイルシステムの実装が簡単になり、また、厳しいファイル一貫性制約のもとでのプロトコル・オーバーヘッドを削減することができる。

しかしながら、このことが帯域幅、遅延、パケット廃棄率などについてまったく異なる特性を持つ広域ネットワークにおいて問題となる。広域ネットワークにおいてファイル共有を行い、かつ、実用的な性能を達成しようとするならば、プロトコル・オーバーヘッドを削減しなければならない。

### 疎結合システムへの適応

WWFSでは、広域ネットワークにおけるファイル共有では必ずしもローカルなファイル共有と同様の厳

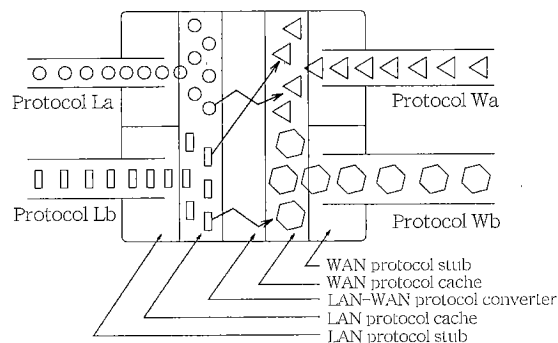


図-3 密結合/疎結合システムの境界における、粒度の異なるプロトコルの変換

しい一貫性制約が必要ではない、という点に注目し、ゆるやかな一貫性制約のもとで広域ネットワークとのファイル共有を行うためのアクセス装置を設計・実装した。アクセス装置は、広域ネットワークとローカルな密結合システムの境界においてプロトコル変換を行うものである(図-3)。

システムの多様性や通信環境の多様性を前提としているため、広域ネットワークへのアクセスにはFTPを用いた。WWFSの実装では、AFS, Echoのような広域ネットワークにおける一貫性制御は取り扱わなかった。WWFSではさまざまなシステムや多様な通信環境のもとでの実用的な広域分散ファイルシステムを実現することを目指したため、インターネットの標準ファイル転送プロトコルを用いることとした。FTPは粒度の大きいプロトコルであるため、ファイル転送やファイル一覧取得などの基本操作において遅延の影響を最小化することができ、広域ネットワークにおけるファイル共有に適している。

ローカルな分散ファイルシステムとのインタフェースとしてはNFSを用いた。NFSとFTPは粒度が大きく異なるプロトコルであるため、それら間の変換には若干の工夫が必要となる。粒度の異なるプロトコル間の変換では、ファイル属性、コネクションの状態など、さまざまな状態を保持する必要がある。

アクセス装置においてさらにさまざまな状態を保持することで、疎結合システムにおいて密結合システムと同様のアクセスをある程度、許容することができる。まず、キャッシュによってアクセス時間を短縮することができる。次に、サーバの状態を把握しておくことでプロトコル変換時に障害を回避でき、代替サーバを自動選択することができる。また、簡単な名前から詳細な位置情報への変換情報を持つことで、サーバの位置情報を隠蔽することができる。

### 今後の展望

WWFSは、多様な環境のもとで、ゆるやかなファイル共有を行うために作られた。このため機能が限定されており、ファイルの書き込み時における一貫性制

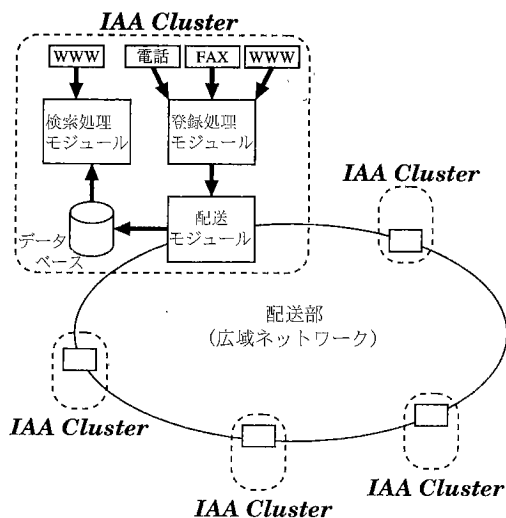


図-4 IAAデータベースの全体像

御の問題などが取り扱われていない。

これは、インターネットの帯域幅が現在より格段に限られていたという開発時の時代背景を反映したものである。現在、インターネットを用いた国際的協調研究を行ううえで、インターネット環境において実用に耐えうる分散ファイルシステムが求められている。今後、長距離のギガビットネットワークにおいて性能を発揮できるような分散ファイルシステムが求められることになるであろう。

### IAAデータベース

阪神・淡路大震災のような大規模災害が発生すると被災地域への安否確認の呼が集中する。この結果、救援などに必要となる通信チャネルの確保が困難になる。このような通信チャネルの不足は、生存者情報をデータベース化し、被災地の外部に効率よく発信するシステムを構築することで改善することができる。

インターネットは、一部のバックボーンに断線などの障害が発生しても、代替経路を自動的に決定し、可能な限り情報を伝達する。このような自律的な大規模ネットワークは、災害時には非常に有用な情報伝達媒体である。

しかしながら、このような伝達媒体を利用して動作するアプリケーションが、非常事態時には期待されるサービスを継続できないことがある。たとえば、現在のインターネットで普及しているWorld Wide Web (WWW) を利用し、単純な生存者情報データベースを構築した場合、災害時特有の過度の要求に対する考慮がなされていないことや、経路の分断によるWWWサーバの孤立などによって、信頼性のあるサービスを行うことは不可能となる。

Lifelineワーキンググループ<sup>10)</sup>では、その活動の一環として、災害発生時に生存者情報をデータベース化し、情報を検索するための信頼性の高いシステムを構

築することを提案してきた。この生存者情報データベースをIAA (I Am Alive) データベースと呼ぶ。ここでは、IAAデータベースの設計における考え方やその構造について述べる。

### 疎結合システムとその頑健性

IAAデータベースを設計にするにあたり、解決しなければならない多くの問題が指摘された。なかでも、システムの頑健性が重大な問題となった。

この問題に対し、IAAデータベースでは、複数のデータベースを広域に分散配置し、それぞれを独立して稼働させ、データベース間の同期を可能な限り行うという方針により解決した。以下に、この形態での利点を述べる。

- 各データベースを疎結合にすることで、データベース間の経路が一時的に損なわれた状態に陥ったとしても、IAAデータベースシステムとしてサービスが停止するなどといった致命的な損傷を回避することができる。
- 被災地から到達可能なデータベースが1つでもあれば、経路回復後にデータベース間で登録情報を交換し、一定時間経過後には、すべてのデータベースで、情報の同期をとることができる。
- いくつかの機材が被災し、それらが稼働できない状況に陥ったとしても、各データベース間が疎結合であるという特性上、システムとしては稼働しつづけることができる。すなわち、暫時縮退性という高信頼性のための特性を持つといえる。また、新規機材の追加も容易に行うことができる。
- データベースへの検索やネットワークに対する負荷の集中を回避することができる。

結果として、広域分散したデータベースを疎に結合させ、複数のデータベースで1つのシステムを構築することで、データベースとしての頑健性と情報保持に対する信頼性を大幅に向上した。

### IAAデータベースの構造

IAAデータベースの概略を図-4に示す。IAAデータベースは、広域分散したクラスタ群により形成される。各クラスタは、構成要素として、登録処理部、配送部 (トランスポート)、データベース部、検索処理部を持つ。また、各クラスタはすべての構成要素を持っている必要はなく、登録処理部を持たない検索専用クラスタ、検索処理部とデータベース部を持たない登録専用クラスタも構築可能である。特に、後者は災害時の特設クラスタとして有用である。

各種モジュールは、通常クラスタ内の伝達先モジュールに対して情報を伝達する。しかし、障害などにより伝達先を失った場合には、他のクラスタの同じ機能を持つモジュールに対して情報伝達を行う。

順に各部の概要について述べる。

#### 登録処理部

災害が発生した場合、被災地がどのような状況に陥るのかを予測することは困難である。したがって、可能な限り多くの登録インタフェースを準備しておくことは非常に重要なことであるといえる。現在、生存者情報の登録には、WWW、MS-Windows用IAA専用クライアント、FAX、DTMFをもちいた電話登録が利用できる。特にFAXや電話は、コンピュータに不慣れた利用者や、視覚障害者や聴覚障害者にとって、非常に有効な登録手段であるといえる。

これらの形態の異なるインタフェースから登録された生存者情報は、統一された内部形式に変換され、情報の正規化を行い、配送部へと渡される。

#### 配送部

各クラスは疎結合システムでありながら、データベースとしては強連結という特性を実現するためのインフラストラクチャとなる部分である。

配送モジュールは、登録処理モジュールから生存者情報を受けるとモジュール自身が持つスプールにその情報を蓄積する。同時に、ネットワーク上に広域分散されている他の配送モジュールに対し、生存者情報を配布する。経路の分断が発生し、他の配送モジュールに到達できない場合には、経路の回復後に再度配送を試みる。

また、配送部での同期を可能な限り迅速に行うための試みとして、情報の配布に衛星をもちいる方法についても検討し、実験を行っている。

#### データベース部

データベース部は、配送部モジュールから生存者情報を受け取り、整理、蓄積する。高速な検索を行うため、蓄積された情報のインデックスを作成する。

#### 検索処理部

現在、本システムではWWWをもちいた情報検索が可能である。検索モジュールは、検索要求を受けると、データベースから検索を行い、その結果を利用者に返す。

#### 今後の展望

本システムは、災害によってネットワーク障害が発生したとしても、生存者データベースとしての頑健性と情報伝達の信頼性を保証することが可能である。しかし、現在の方式では配送モジュールが増加するにしたがい、配送が非効率的になるという問題が残されている。特に、障害時は定常時と比べ帯域が狭くなっている可能性も高く、効率的な配送は重要な問題となる。今後、配送部のさらなる改良について考慮していく予定である。

本システムを実用的なものとするため、これまで多くのユーザに実験に参加していただきながら、三度に

わたって公開実験を行ってきた。そして、現在、多岐にわたる問題を解析、改善してきた結果、実用に耐えうるシステムになりつつある。我々は、「日常的に利用しているものでなければ、非常事態では使えない」という基本理念を持っており、生存者データベースは、いつ起こるか分からない災害に備え、常に運用しておく必要があると考えている。今後、定常運用のための準備についても、取り組んでいく予定である。

最後に、より詳細にIAAデータベースの構成について書かれた文献を紹介しておく。文献11)～文献15)。

#### おわりに

インターネット・アプリケーションの研究には、論文だけでは評価できない側面が多くあると考えられる。ここで紹介したインターネット・アプリケーションのうち、sendmail、WWFSはソフトウェアとして公開しており、IAAデータベース、WRWは公開実験を通じてシステムの有効性を実証している。

インターネットの急激な拡大によって、広域・大規模な通信環境で動作するアプリケーションという研究テーマは非常に興味深く、かつ実用性を伴うものとなった。今後より多くの研究者がこのような実証研究に興味を持ち、我々と行動をとることを期待したい。

#### 参考文献

- 1) 中村素典: パソコン通信との相互接続実験, WIDEプロジェクト報告書, 第5章 (1992).
- 2) 中村素典: パソコン通信との相互接続実験, WIDEプロジェクト報告書, 第15章 (1993).
- 3) 中村素典: ネットワーク運用技術, WIDEプロジェクト報告書, 第14章 (1990).
- 4) 中村素典: ネットワーク運用技術, WIDEプロジェクト報告書, 第12章 (1991).
- 5) sendmailに関する情報,  
<URL: <http://www.wide.ad.jp/sendmail/html>>.
- 6) 中村素典: メーリングリストの配送の高速化, 第25回JUS UNIXシンポジウム論文集, pp.21-31 (1995).
- 7) 西村 篤, 歌代和正, 村井 純: WWW-広域無線ネットワークにおけるアプリケーションアーキテクチャ, 情報処理学会第49回全国大会 (1994).
- 8) 門林雄基, 山口 英, 宮原秀夫: Internetにおける資源アクセス装置の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.5 (May 1996).
- 9) 門林雄基, 山口 英, 宮原秀夫: インターネットにおける可用性改善のための代替サーバ利用技術, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.2 (Feb. 1997).
- 10) Lifelineワーキンググループに関する情報,  
<URL: <http://www.wide.ad.jp/wg/lifeline>>.
- 11) IAAプロジェクトに関する情報,  
<URL: <http://www.iaa.wide.ad.jp/>>.
- 12) Shinoda, Y., Baba, T., Tada, N. and Kato, A.: Experiences from the 1st Internet Disaster Support Drill, in Proceedings of the Internet Conference 1996, <URL: [http://info.isoc.org/isoc/whatis/conferences/inet/96/proceedings/h2/h2\\_1.htm](http://info.isoc.org/isoc/whatis/conferences/inet/96/proceedings/h2/h2_1.htm)> (1996).
- 13) 馬場始三, 篠田陽一: 第1回インターネット防災訓練と生存者情報データベース, インターネットコンファレンス '96予稿集, <URL: <http://www.iaa.wide.ad.jp/report96/jinet96iaa/>> (1996).
- 14) Izawa, Y., Ishii, S., Tada, N. and Nakayama, M.: Implementation and Evaluation of Widely Distributed Database System using Satellite based Multicast and NetNews System for the Transport Mechanism, in Proceedings of the Internet Workshop '98, pp.75-83 (1998).
- 15) WIDEプロジェクト: 第2部ライブラインとしてのインターネットに関する考察, 研究報告書, 1996年度WIDEプロジェクト研究報告書, <URL: <http://www.iaa.wide.ad.jp/report97/>> (1996).

(平成10年3月24日受付)

▼BBS (Bulletin Board System)

電子掲示板ともいうが、要するにニフティサーブのようなパソコン通信システム。インターネット・サービスと統合されつつある。

▼BGP-3&4 (Border Gateway Protocol 3および4)

インターネットのバックボーン上で自律システムを相互につなぐのに使われる経路制御プロトコル。IGPと対比される。現在は3版から4版へ移りつつある。

▼BITNET (Because It's Time Network)

1980年代後半に使われたIBM機を相互につないだ独自方式のアカデミック・ネットワーク。日本では東京理科大学を中心に私立大をつないだが、今ではインターネットに吸収されている。

▼BSD (Berkeley Software Distribution)

インターネットで広く使われているUNIX。もともとカリフォルニア大学で開発されたのでこの名がある。現在では、ソース・コード付きで、無料で使えるFreeBSDがよく使われている。

▼Classless

IPアドレスは、32ビット (4バイト) で、当初、左側の1あるいは3バイトでネットワークの識別を行うクラスA、クラスB、クラスCに分けられていたが、現在はネットワーク部分が可変ビット長になり、クラスA、B、Cの区別の代わりに、このビット数でネットワークの識別を行う方式。CIDR (Classless Inter-Domain Routing) 方式の基礎となっている。

▼IGP (Interior Gateway Protocol)

1つの管理組織内にある自律システム (autonomous system) 内で、経路情報を伝達するのに使われるプロトコル。RIPやOSPFはその例。

▼IMnet (Inter-Ministry network)

日本の省庁の研究機関をつなぐインターネット

▼IP masquerade

イントラネット内のプライベートなIPアドレスおよびポート番号 (TCPレベル) とのペアを広域インターネット用のIPアドレスと相互に変換すること。マスカレードは仮面のこと。

▼IPv6 (Internet Protocol version 6)

次世代インターネットプロトコル。IPアドレスは現行 (v4) の32ビットから128ビットになる。v5は実験用IPプロトコルにすでに割り当てられているので、v4の次はv6となる。

▼ISP (Internet Service Provider)

インターネット接続サービス提供会社。普通プロバイダという。郵政省に届け出さえ出せば誰でもできるため、NTTから1人会社まで大小含めると、我が国ですでに2500社を越えている。

▼JAIN (Japan Academic Inter-university Network)

インターネットの初期の研究者の集まり。それ自身のネットワークは持っていなかった。1997年に学術振興会のインターネット技術研究委員会 (ITRC) に吸収された。

▼JUNET (Japanese University/UNIX Network)

1984年から94年に至る10年間存在した草の根のアカデミック・ネットワーク。回線は電話線で、モデムは1200bpsのものを用い、UUCP (Unix-to-Unix CoPy) 方式でメールやファイルを転送した。TCP/IP方式のインターネットではなかったが、この実験がベースとなってWIDEが生まれた。

▼Mbone (virtual Multicast Backbone On the interNET)

インターネット上でライブ (中継用) の音声やビデオ信号をマルチキャスト方式で実時間に配信する方式。パケットを受信者ごとに複製することなく、同じ経路上はグループごとに1個ずつしか送らないので伝送効率が高いが、専用のソフトウェアが必要で、配信を行うグループに加入する必要がある。

▼Mobile IP

端末を移動させたときに、IPアドレスの変更など環境をいちいち変えなくてもインターネットが使えるようにする方式。実際のIPアドレスと仮想IPアドレスとの変換を行うようになっている。ソニーのVirtual Internet Protocol (VIP) はその一例。

▼NACSIS (National Academic Center for Science Information System)

文部省直属の学術情報センター。1992年より、全国の大学をつなぐSINETというアカデミック・インターネットを運用している。

▼NAT (Network Address Translation)

ネットワーク・アドレス変換。イントラネット内のプライベートなIPアドレスと広域インターネット用のIPアドレスとを相互に変換すること。たとえば、イントラネットに100台のコンピュータがあっても、同時には最大10台しか、インターネットにアクセスしないというときには、NATを使えば、IPアドレスは10個だけ用意すればよいことになる。

▼NSPIXP (Network Service Provider Internet eXchange Points)

WIDEで運用しているISP相互接続点。1995年に開始し、東京に2カ所、大阪に1カ所ある。1998年には、商用のIXPも2社出現している。

▼OSPF (Open Shortest Path First) プロトコル

RIPに代わる高度な経路制御プロトコルで、IGPの一種。サービス型や負荷分散の考え方が取り入れられている。

▼RIP (Routing Information Protocol)

初期のルーターなどで主に使われた単純な経路制御方式。

▼SRI-NIC (Stanford Research Institute-Network Information Center)

初期にはここでインターネットのIPアドレスやドメイン名の割り当てをしていた。

▼TISN (Tokyo International Science Network)

1989年に、東大理学部を中心にスタートしたアカデミックインターネット。今ではNACSISのSINETやWIDEなどに吸収されている。

▼UUCP (Unix-to-Unix CoPy)

電話回線を使って、UNIXシステム間でファイルをコピーする方式。初期のインターネットでファイルやメールの転送に使われた。

▼VSAT (Very Small Aperture Terminal)

通信衛星用のパラボラアンテナ付きの小型地上局。インターネットでも使われている。

▼XNS (Xerox Network System)

ゼロックス社で開発されたネットワーク方式で、ノベル社のNetWareの基礎となっている。

[編集長：石田晴久]