

# ALGを用いたマルチホーム環境における自組織宛メール配送の動的経路選択手法

金 勇<sup>†1</sup> 清家 巧<sup>†1</sup> 岡山 聖 彦<sup>†2</sup>  
中 村 素 典<sup>†3</sup> 山 井 成 良<sup>†2</sup>

近年のインターネットの普及に伴い、インターネットの最も基本的なサービスである電子メールの重要性が高まっている。電子メールシステムを安定に運用するための方法として、マルチホームネットワークがよく用いられる。しかし、従来のマルチホーム環境における電子メールシステムの運用手法では、静的に配送経路が決定されるため、動的なトラフィック分散や耐障害性などに問題があった。そこで本論文では、ALG(Application Level Gateway)とDNS(Domain Name System)の応答を用いた動的な経路選択手法を提案する。本手法では、自組織宛メールの配送においてネットワークの状況に応じた適切な経路を選択し、また経路に障害が発生した場合も自動的に障害回避が可能となる。

## A Dynamic Route Selection Method for Inbound E-mail Delivery on Multihomed Environment With ALG

YONG JIN,<sup>†1</sup> TAKUMI SEIKE,<sup>†1</sup> KIYOHICO OKAYAMA,<sup>†2</sup>  
MOTONORI NAKAMURA<sup>†3</sup> and NARIYOSHI YAMAI<sup>†2</sup>

With explosive spread of the Internet, e-mail as one of fundamental services is getting more important. To run e-mail system stably, multihomed networks are well used. However, in conventional operation scheme, issues about dynamic traffic balancing and fault-tolerance exist because of static route configurations. Consequently, in this paper, we propose a dynamic route selection scenario involves ALG(Application Level Gateway) and DNS(Domain Name System) response. In this scenario, the proper route can be used for inbound e-mail delivery based on network status, furthermore, the breakdown route can be avoided automatically.

### 1. はじめに

電子メールはWWWと同様にインターネットにおいて最も普及しているサービスの一つであり、社会的な活動を支える通信手段としてもはや必要不可欠な存在となっている。特に、近年のインターネットの普及と広帯域化に伴い、より重要な情報あるいは添付ファイルを含む大量なメッセージが頻繁に交換されており、電子メールシステムをより安定に稼働させることが重要である。このような安定性の観点から見て、インターネットへの接続点が1つしかないシングルホームネットワークでは、接続点の断絶によって電子メールの配送が停止するため脆弱である。そこで、電子メールシステムをより安定に運用するために、インター

ネットへの接続点を複数持つマルチホームネットワークが注目されている。マルチホームネットワークを利用することにより、物理的に異なる経路によって電子メールの配送が行えるため、サービスの耐障害性の向上やトラフィック分散などが期待できる。

ところが、単純にインターネットとの接続を複数にただけでは、マルチホームネットワークの利点は得られないため、複数の経路を利用するために適切な経路選択を行う必要がある。すなわち、利用可能な経路のうち、帯域が広い(以下、速い)、あるいは遅延時間が小さい(以下、近い)経路を選択し、通信時間の短縮やトラフィックの削減を図る必要がある。マルチホームネットワークにおける一般の通信に対する経路選択方法には、IPレベルの対応方法であるBGP(Border Gateway Protocol)<sup>1)</sup>を利用する方法とアプリケーションレベルの対応方法であるALG(Application Level Gateway)を利用する方法<sup>2)</sup>などがある。本論文ではこのうち導入・運用・管理を容易に行うことができる後者を用いて、特に電子メールサービスにおける組織外から

<sup>†1</sup> 岡山大学大学院自然科学研究科  
Graduate School of Natural Science and Technology,  
Okayama University  
<sup>†2</sup> 岡山大学総合情報基盤センター  
Information Technology Center, Okayama University  
<sup>†3</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics

組織内への配送について耐故障性の向上やトラフィック分散を行う方法について考える。なお、組織内から組織外への配送については、文献3)-5)に示す方法を適用できるため、本論文では対象としない。

ALGによるマルチホームネットワーク環境で電子メールシステムを運用する場合、ALGとしてはメールゲートウェイが該当し、組織外から組織内への電子メール配送に対して各バックボーンネットワークに応じた異なるIPアドレスで受信することになる。このとき送信者の位置に応じて適切な経路が異なるので、経路選択を行う必要がある。しかし、DNSラウンドロビン、TENBIN<sup>6)</sup>などの従来の手法では、必ずしも適切な経路が選択されなかったり、ネットワークの状態に応じた動的なトラフィック分散ができなかったりするなどの問題があった。

そこで論文では、ALGを用いたマルチホームネットワークにおいて上記の問題を解決するため、自組織宛電子メールの動的経路選択手法を提案する。本手法では、送信者の位置やネットワークの状況に応じた適切な経路を選択し、また経路に障害が発生した場合も自動的に障害回避が可能となる。

## 2. マルチホームネットワークにおける自組織宛メール配送の経路選択手法とその問題点

本章では、まず準備として一般的な電子メール配送手順について述べる。その後ネットワーク冗長化手法としてのマルチホームネットワークについて述べ、従来のマルチホームネットワークにおける自組織宛メール配送の経路選択手法とその問題点について述べる。

### 2.1 一般的な電子メール配送手順

電子メールを受信するために、受信者側は受信するメールサーバをDNSサーバにMX(MaileXchange)レコードとして登録する手法<sup>5)</sup>が一般に用いられる。例として、図1のような構成での電子メールの配送手順について説明する。このシステムでは、受信するメールサーバを2つ設置し、受信者宛のメールはいずれかのメールサーバによって受信される。従って、宛先に対応するMXレコードが複数存在するが、この例では障害により優先度の高いメールサーバ(受信者側メールサーバ1)への配送が失敗し、次の優先度のメールサーバ(受信者側メールサーバ2)へフォールバックする動作を示す。以下に具体的な配送手順を示す(図中の数字と手順の番号は対応している)。

- 1 送信者側のメールサーバは、宛先メールアドレスのドメイン部に基づき、送信側のDNSサーバに対してMXレコードとそのMXレコードが示す

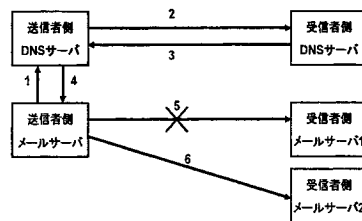


図1 電子メールシステムの例

ホストのIPアドレスを問い合わせる。

- 2 送信者側のDNSサーバは、そのドメインの管理権限を持つ受信者側のDNSサーバに対して同じ問合せをする。
- 3 受信者側のDNSサーバは、送信者側のDNSサーバに対して、MXレコードとそのMXレコードが示すホストのIPアドレスを応答する。
- 4 送信者側のDNSサーバは、送信者側のメールサーバに、受信者側のDNSサーバから受け取った応答を返す。
- 5 送信者側のメールサーバは複数のMXレコードを受け取る。そして、最初に優先度の高い受信者側メールサーバ1へメールの配送を試みる。しかし、障害によりメールの配送が失敗する。
- 6 送信者側のメールサーバは、次の優先度を持つMXレコードが示す受信者側メールサーバ2へフォールバックする。そして、受信者側のメールサーバ2はメールを受信する。

以上のような手順で送信者側から受信者側まで電子メールが配送される。

### 2.2 マルチホームネットワーク

マルチホームネットワークとは、複数のバックボーンによってインターネットに接続されるネットワーク(図2)のことである。通常、組織のネットワークは単一のバックボーンによってインターネットに接続される場合が多く、バックボーンが障害等により断絶すると、インターネットへ接続できなくなってしまう。そのため、マルチホームネットワークでは複数のバックボーンに接続することによって、インターネットへの接続を冗長化している。これによって、ネットワークの耐故障性の向上やトラフィック分散などが可能になる。

但し、これらの利点を発揮するためには、1章で述べたように複数の経路の中から適切なものを選択するといった経路選択を行う必要がある。

### 2.3 従来の自組織宛メール配送の経路選択手法とその問題点

マルチホームネットワークにおける電子メールシステムの運用においては、2つの経路制御手法が考えられる。1つはBGPを利用する手法である。BGPを利用することで、ネットワーク層においてマルチホームネットワークに対応できるので、上位層では特に経路制御に関与せず、個々のアプリケーションやホストの特別な設定を必要としないという利点がある。

しかし、BGPは宛先に到達するまでに経由するネットワークの数や、静的に設定された優先度に基づいた経路制御を行っているので、輻輳などその時々ネットワークの状態を考慮した経路制御が行われず、選択された経路が必ずしも適切であるとは限らないといった問題がある。また、BGPの経路情報を交換するために、自組織のルータを交換相手のルータと接続する必要がある(以下、ピアリングと呼ぶ)。ピアリングを行うためには、ピアリング相手との交渉を行う必要があり、また相手のポリシー次第でピアリングを断られる可能性もあり、BGPの運用は自組織の問題だけではなく、他組織との連携が重要となってくる。また、BGPを運用するためには、大量の情報を扱う必要があり、ある程度のバックボーンの帯域を消費し、さらに高性能なルータが必要になる。加えて、BGPの運用には経路制御技術についての深い知識が必要になり、一般の組織では運用が重荷になるなど、運用に関するコストが高いという問題がある。

そこで、BGPを利用せずマルチホームネットワークを活用する方法として、アプリケーションゲートウェイを用いた経路選択手法が考えられる。これは各バックボーン接続点にアプリケーションゲートウェイを配置し、組織の境界を跨る全ての通信はアプリケーションゲートウェイを介して行い、送信元ホストにアプリケーションゲートウェイを選択させることによって通信経路を選択させる手法である。電子メールシステムにおいては、各バックボーン接続点にメールゲートウェイを配置し、それらのメールゲートウェイを介してメールの配送を行うことになる。

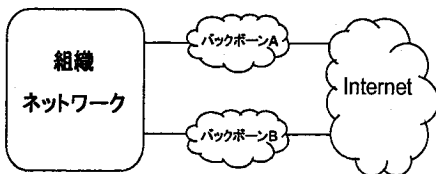


図2 マルチホームネットワーク

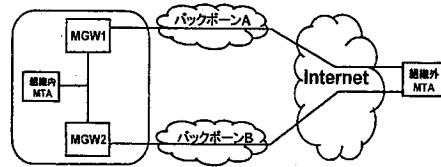


図3 メールゲートウェイを用いた電子メールシステムの構成

メールゲートウェイを用いた電子メール配送の経路選択について簡単に説明する。例えば、2つのバックボーンによってインターネットに接続するマルチホームネットワークにおいて、メールゲートウェイを用いて電子メールシステムを運用する場合、図3のような構成になる。各バックボーンの接続点にメールゲートウェイが設置され、それぞれが異なるバックボーンを利用してメールの配送を行うことになる。

組織外 MTA から組織内 MTA へ配送されるメールを受信するには、メールを一旦組織内のいずれかのメールゲートウェイ (MGW1 または MGW2) で受け取る。その後、メールを受け取ったメールゲートウェイが組織内 MTA へそのメールを配送する。この例の場合、組織外 MTA からのメールを組織内のメールゲートウェイで受け取るために、2つのメールゲートウェイ MGW1 と MGW2 を自組織ドメインの MX レコードとして設定する必要がある。そして、組織外 MTA が組織内 MTA にメールを配送する場合、2.1 節の一般的な電子メールの配送手順で述べたように、最寄りの DNS サーバに対して宛先メールアドレスのドメイン部に基づく MX レコード問合せを行う。問合せは組織内宛の DNS サーバに到達し、組織内の DNS サーバは自組織宛のメールを受け取る MTA として2つのメールゲートウェイのホスト名と IP アドレスを応答する。組織外 MTA は最初に優先度の高いメールゲートウェイに配送を試み、失敗した場合は次の優先度のメールゲートウェイに配送を試みる。優先度が同じであった場合には最初にどれを選択してもよいので、ゲートウェイの選択は送信者の設定に依存する。このように、メールゲートウェイを冗長化するだけで、BGP に対して比較的低コストでマルチホームネットワークにおける電子メールシステムの経路選択が可能になる。

ところが、この手法には問題がある。自組織宛の電子メールを受け取る際、メールゲートウェイの選択は DNS の MX レコードの設定に依存する。そのため、組織外 MTA の選択経路が MX レコードの優先度に固定されてしまい、優先度を高く設定したメールゲート

ウェイにメールが集中し、優先度の低いメールゲートウェイには初回の送信に失敗したメールしか配送されないため、マルチホームネットワークの利点であるトラフィック分散が実現できないという問題がある。また、MX レコードによる優先度の設定と適切な経路が異なる場合でも静的に経路を選択してしまい、ネットワークの状況に応じた動的な経路選択ができないという問題がある。

### 3. ネットワークの状況を考慮した自組織宛メール配送の動的経路選択手法

2章で述べたように、マルチホームネットワークにおける従来の自組織宛メール配送の経路選択手法には問題があった。そこで、本章では、その問題を解決するネットワークの状況を考慮した動的な経路選択手法を提案する。

#### 3.1 自組織宛メール配送の経路選択

2.3 節で述べたように、自組織宛メールの配送経路は自組織のドメインに設定している MX レコードとその優先度によって決定される。組織外から組織内への電子メール配送において、従来の手法で問題が生じる原因は、送信者が電子メールを送る際、受信した DNS 応答の MX レコードの内容が静的に決まっていることにあると考えられる。従って、送信者のシステムに変更を加えることなく動的に適切な経路を選択させるには、経路の状況に応じて素早く配送できるメールゲートウェイを選ぶように MX レコードの優先度、すなわち優先経路が動的に変化するような仕組みが必要となる。

#### 3.2 優先経路の動的選択

ネットワークの状況に応じて優先経路を動的に選択させるには、DNS サーバにおいて、クライアントの問合せに対して応答する際にネットワークの状態を調査し、その都度 MX レコードの優先度を変化させるといった方法が考えられる。しかし、そういった動作を行うには既存の DNS サーバプログラムに変更を加える必要がある。加えて、ネットワークの状態の調査方法も厳密に検討する必要がある、どちらも容易な作業ではない。

そこで、上記の作業を必要としない方法を提案する。DNS の仕組みとして、通常1つの問合せに対しては1つの応答を返すようになっており、問合せと応答は1対1に対応している。従って、一般的な DNS クライアントにおいて、1つの要求に対する応答が複数到着した場合、先に到着した応答が有効になり、遅れて到着した他の応答は破棄するといった動作が期待できる。

そこで、提案法では1つの DNS 問合せに対して、各バックボーンからそれぞれ DNS 応答を返すようにする。但し、各応答の内容は同一の内容ではなく、それぞれの応答が経由するバックボーン、すなわち応答が送出される接続点のメールゲートウェイを優先経路に設定しておく。この場合、送信者のクライアントは複数の DNS 応答を受信するが、各応答はそれぞれのバックボーンを経由する過程でバックボーンの影響を受けるので、DNS 応答の到着時間に差が生じると考えられる。従って、最も応答の早いバックボーンから到着した DNS 応答が有効になる。つまり、それぞれの DNS 応答が経由してきた経路のメールゲートウェイを優先するように MX レコードを設定すれば、組織外 MTA から電子メールが配送される際、最も応答の速い経路、すなわち最適な経路を選択させることが期待できる。また、バックボーンに障害が発生すれば障害が発生したバックボーン経由の DNS 応答が届かず、利用可能な経路を優先した DNS 応答を利用するので、障害経路の自動回避も期待できる。このように DNS の応答パケット自体が、ネットワーク調査の役割を持つので、ネットワーク調査のための特別な処理も必要ない。また、DNS クライアントに特別な変更を行うことなく、クライアントに適切な経路選択を行わせることができる。但し、一般的な DNS サーバには、1つの問合せに対して2つの経路から複数の応答を返す機能はないので、新たにそのような動作を行うシステムを構築する必要がある。

#### 3.3 提案手法のシステム構成

前節で述べたように、優先経路を動的に選択させるためには、図4のようなシステム構成が考えられる。各バックボーンの接続点にそれぞれ DNS サーバ (DNS1 及び DNS2) とメールゲートウェイ (MGW1 及び MGW2) を設置し、さらにクライアントからの DNS 問合せを受け付けて、その問合せを複製して各 DNS サーバに送信する DNS プロキシを設置する。つまり、クライアントからの DNS 問合せは DNS プロキシで受け付けて、DNS 応答は各 DNS サーバから返送する。また、各 DNS サーバには、その DNS サーバと同一バックボーンの接続点に設置されたメールゲートウェイの優先度が高くなるように、自組織ドメインの MX レコードをあらかじめ設定しておく。以下に、図4を用いて提案システムにおける組織外 MTA から組織内 MTA へメールを配送する場合の MX レコード問合せの流れについて説明する (図中の数字と手順の番号は対応している)。

1 組織外 MTA は組織内 MTA へ電子メールを送信

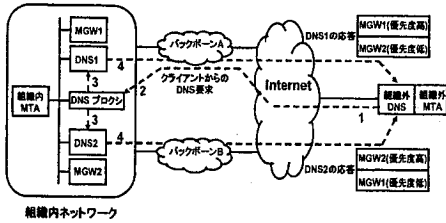


図4 提案法のシステム構成

する際、組織外DNSに宛先ドメインのMXレコード問合せを行い、組織外DNSは組織内のDNSプロキシにそのMXレコードの問合せを行う。

- 2 MXレコード問合せはDNSプロキシによって受信される。
- 3 DNSプロキシは受信したMXレコード問合せを2つに複製し、各バックボーンに接続したDNSサーバへ送信する。
- 4 各DNSサーバによって問合せが受信され、それぞれDNS応答を各バックボーンから組織外DNSへ送信する。

このように、上記の動作を行うDNSプロキシと組み合わせることで、既存のDNSサーバプログラムを変更すること無く、提案法の動作が実現可能となる。

提案法の他の利点としては、既存のネットワークへの導入が容易である点が上げられる。すなわち、本提案法は既存のメールゲートウェイをそのまま利用できるため、一箇所あるいは複数箇所において複数のバックボーンが接続されるいずれのマルチホーム環境<sup>5)</sup>でも適用可能である。また本論文では、電子メールシステムでの対策であるが、一般的なアプリケーションサービス(WWW, FTPなど)にも対応できる。

#### 4. システム実装と動作確認

本章では、提案法に基づいた試作システムの実装と、試作システムを用いた動作確認実験について述べる。

##### 4.1 実装

試作システムに必要な、以下の2つのプログラムを作成した。

##### ● DNSプロキシ

3章で述べた動作を行うDNSプロキシをC言語を用いて作成した。具体的には、以下の手順で動作する。

- 1 DNS要求パケットを受信
- 2 受け付けたDNS要求パケットを2つ複製
- 3 複製したパケットの宛先アドレスをそれぞれ

のDNSサーバのIPアドレスに変更

- 4 DNSパケットのUDPチェックサムを再計算してUDPヘッダに設定
- 5 複製したDNS要求パケットをそれぞれのDNSサーバへ送信

- DNS応答パケットの送信元IPアドレス偽装処理  
DNSクライアントは、DNS要求の宛先IPアドレス以外からその要求に対する応答が返された場合、その応答を破棄してしまう<sup>7)</sup>。つまり、DNSプロキシに対して送信された要求に、他のホストで応答するとその応答は有効にならない。そのため、DNSサーバのホスト上で動作し、DNSサーバの応答をDNSプロキシの応答として偽装するプログラムをC言語を用いて作成した。偽装処理は、FreeBSDのipfw<sup>8)</sup>とdivert<sup>9)</sup>機能を利用して、DNSサーバから送信されるパケットの送信元IPアドレスをDNSプロキシのものに書き換えることで実現した。

##### 4.2 動作確認実験と結果

提案法が正しく動作するかを確認する動作確認実験を行った。実験ネットワークの構成を図5に示す。実験は、図中の点線左側を組織内ネットワーク、右側を組織外ネットワークとみなして行った。マルチホームネットワークを構成するため、図5左側のホスト(以下、自組織サーバ)に2つのNIC(Network Interface Card)を付け、それぞれ異なるネットワークに接続するように設定した。自組織サーバには、メールゲートウェイ(MGW1及びMGW2)とDNSサーバ(DNS1及びDNS2)をそれぞれ2つ稼働させ、それぞれのメールゲートウェイとDNSサーバがそれぞれ異なるNICを介して通信を行うように設定した。また、DNSプロキシと組織内MTAも稼働させ、これらはいずれかのNICを介して通信を行えるように設定した。以上は全て自組織サーバの中で、デーモンプログラムとして稼働するようにした。また、DNSにはBIND<sup>10)</sup>、MTAにはSendmail<sup>11)</sup>、SMTPトラフィックの生成

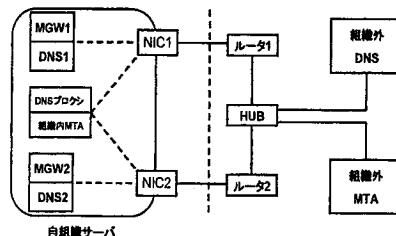


図5 実験ネットワーク

には smtp-source<sup>12)</sup> を利用した。各 DNS サーバの応答パケットに対する遅延の付加には、FreeBSD の Dummynet<sup>13)</sup> を用いた。組織外 MTA の利用する組織外 DNS サーバは宛先アドレスに基づいて DNS プロキシに MX レコード問合せを送出するように設定し、DNS プロキシは問合せを DNS1 と DNS2 に送信するように設定した。そして、DNS1 は MX レコードに MGW1 と MGW2 を設定し、MGW1 の優先度を高く設定した。DNS2 も同様に MX レコードに MGW1 と MGW2 を設定したが、こちらは MGW2 の優先度を高く設定した。また MX レコードがキャッシュに残ることを防ぐため、各 MX レコードの TTL は 0 に設定した。

この環境において、組織外 MTA から組織内 MTA に対して電子メールを配送し、提案法の DNS 応答の同時返送により経路選択が正常に動作するかを確認する実験を行った。この実験は、組織外 MTA から組織内 MTA に対して、1 秒間隔で 100 通の電子メール配送し、組織内 MTA の受信する電子メールがどのメールゲートウェイを経由してきたかを、通常の状態と、各経路に Dummynet を用いて遅延を付加した場合、また各経路に FTP トラフィックを発生させた場合について確認した。その結果を表 1 に示す。この表か

表 1 実験結果

条件	ゲートウェイ1経由	ゲートウェイ2経由
なし	49通	51通
ゲートウェイ1側の経路に往復共に2msの遅延を付加	0通	100通
ゲートウェイ2側の経路に往復共に2msの遅延を付加	100通	0通
ゲートウェイ1側の経路に7MBps程度のFTPトラフィックを発生	10通	90通
ゲートウェイ2側の経路に7MBps程度のFTPトラフィックを発生	92通	8通

ら、条件なしでは各経路共に同じ割合で利用されるが、各経路の遅延が異なる状態では、より遅延の小さい経路が優先的に利用されることがわかる。また、各経路に FTP トラフィックを発生した場合は、多くの場合よりトラフィックの少ない経路が優先的に利用されることがわかる。従って、自組織宛メール配送について提案法は正しく動作していると言える。

#### 4.3 実ネットワーク環境での機能確認実験と結果

次に、提案システムを実ネットワーク環境で応用するための準備として、岡山大学三朝キャンパス（以下、三朝地区と呼ぶ）において行った機能確認実験について述べる。

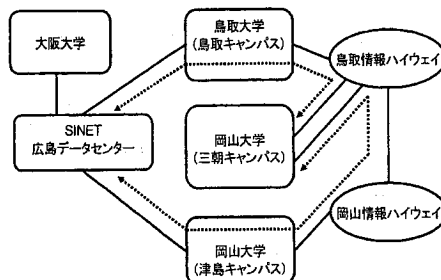


図 6 実ネットワーク環境

実ネットワーク環境は図 6 に示すように、三朝地区では鳥取情報ハイウェイと岡山情報ハイウェイ（以下、OKIX と呼ぶ）を経由して SINET (Science Information Network) に接続され、マルチホームネットワークを構成している。三朝地区と外部のインターネット（図 6 に示しているネットワーク以外）との全ての通信は SINET 広島データセンター（以下、広島 DC と呼ぶ）を介して行われる。そこで今回は、提案システムのサーバを三朝地区に設置し、2 つの NIC によってインターネットとの通信を行うように設定した。すなわち 1 つは外部から広島 DC、鳥取大学を経由し、もう 1 つは外部から広島 DC、岡山大学津島キャンパス（以下、津島地区と呼ぶ）と OKIX を経由してインターネットとの通信を行うように設定した。簡単のため本論文では統一して、前者を鳥取大経由と呼び、後者を OKIX 経由と呼ぶ。インターネットからの MX 問合せに対しては、鳥取大経由と OKIX 経由によって内容の異なる応答が同時に返され、最初に到着した応答が有効になる。またインターネットからの電子メールは鳥取大経由あるいは OKIX 経由によって受信される。

この環境において、津島地区及び大阪大学を送信元にして、提案システムの機能確認実験を行った。この実験では、津島地区と大阪大学からそれぞれ、1 秒間隔で 100 通を電子メールを配送し、三朝地区に設置した提案システムのサーバがどの経路を経由して電子メールを受信したかを確認した。この時通常の状態に加えて、他の通信による影響を調べるため、鳥取大経由及び OKIX 経由で大量の電子メールを三朝地区に向けて送付した場合についても同様に確認した。その結果を表 2 に示す。

表 2 から、津島地区からの電子メールを受信する場合、通常の状態では OKIX 経由が近いので、全てが OKIX 経由で受信されたことがわかる。それに対して大阪大学からの電子メールを受信する場合、通常の状態

表 2 実ネットワークでの実験結果

条件	送信元	鳥取大学を経由	岡山大学を経由
なし	津島地区	0通	100通
なし	大阪大学	100通	0通
OKIX経由にトラフィックを発生	津島地区	5通	95通
鳥取経由にトラフィックを発生	大阪大学	97通	3通

態では鳥取大経由が近い場合全てが鳥取大経由で受信されたことがわかる。またそれぞれの経路にトラフィックを発生させた場合は、一部の実験用の電子メールが分散されて別の経路によって受信されたことがわかる。今回の実験では一般の通信が混在していたため利用可能帯域などネットワークの状態が不明であるが、一部の通信はトラフィックを発生させた経路を迂回しているため、提案システムがある程度のトラフィック分散機能を有すると言える。

## 5. むすび

本論文では、マルチホームネットワークにおいて電子メールシステムを安定に運用するために、従来の経路選択手法の問題点を考察し、これを解決するための自組織宛電子メール配送における動的な経路選択手法を提案した。また提案システムの動作確認実験を行った上で、実ネットワーク環境での機能確認実験を行った。

今後の課題として、三朝地区での実運用を通じた性能評価と他のアプリケーションサービス (WWW, FTP など) での検討が上げられる、また送信元 IP アドレスの詐称が許可されないネットワークにおいては、提案手法は適用できないので、そのようなネットワークへの対策を検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) Rekhter, Y. and Li, T.: "A Border Gateway Protocol 4", RFC1771, IETF(1995).
- 2) 中川郁夫, 上谷一, 鍋島公章, 樋地正浩, 今野幸典: "マルチホーム環境におけるアプリケーションルーティング技術の提案", 情報処理学会分散システム/インターネット運用技術研究会研究報告, 98-DSM-12-7, pp.37-42, 平成 10 年 11 月.
- 3) 岡山聖彦, 山井成良, 島本裕志, 宮下卓也, 岡本卓爾: "マルチホームネットワークにおける透過的な動的トラフィック分散", 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.12, pp.3255-3264, 平成 12 年 12 月.
- 4) 岡山聖彦, 山井成良, 久保武志, 宮下卓也: "マルチホームネットワークにおけるアプリケーションプロトコルの性質を考慮した動的トラフィック分散", 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.4, pp.1007-1016, 平成 17 年 4 月.
- 5) 山井成良, 土居正行, 岡山聖彦, 中村素典: "マルチホームネットワークにおける電子メールシステムの高信頼化運用手法", FIT2007, LL-004(2007).
- 6) 下川俊彦, 木場雄一, 中川郁夫, 山本文治, 吉田紀彦: "広域分散環境における DNS と経路情報を利用したサーバ選択機構", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J86-B, No.8, pp.1454-1462, 平成 15 年 8 月.
- 7) R. Elz, R. Bush: "Clarifications to the DNS Specification", RFC 2181, July 1997.
- 8) Ugen J. S. Antsilevich, Poul-Henning Kamp, Alex Nash, Archie Cobbs, Luigi Rizzo: "ipfw - IP firewall and traffic shaper control program", FreeBSD System Manager's Manual, January 16 2006.
- 9) A. Cobbs: "divert - kernel packet diversion mechanism", FreeBSD Kernel Interface Manual, December 17 2004.
- 10) Internet Systems Consortium, Inc.: "ISC BIND", <http://www.isc.org/index.pl?sw/bind>.
- 11) Sendmail Inc.: "Sendmail Home", <http://www.sendmail.org>.
- 12) "The Postfix Home Page", <http://www.postfix.org>.
- 13) "dummynet - traffic shaper, bandwidth manager and delay emulator", FreeBSD Kernel Interface Manual, October 28 2002.