

新米エンジニアのための

初歩の

# インターネット技術

《第3回 インターネットへの道》

浅羽 登志也  
asaba@ij.ad.jp  
株式会社インターネットイニシアティブ

前回発生した「No route to host」問題に踏み込みます。インターネットという複雑に接続されたネットワークで、なぜ世界中の特定のマシンと通信できるのか？ という本質的な問題へもいよいよ入門します。だんだん難しくなってきましたが、インターネットの一番面白いところでもあります。

はじめに

今回は名前サーバーの仕組みについて解説した。名前サーバーとは、簡単にいうと、人間にとって憶えやすいホストの識別子であるドメイン名を、計算機が処理しやすいIPアドレスに変換するための仕組みであった。たとえば読者がMosaicを使ってwww.impress.co.jpという名前のホストにアクセスしようとしたときには、Mosaicのソフトウェアが名前サーバーを利用してwww.impress.co.jpに対応するIPアドレスを調べ、そのIPアドレスに対してデータを送り出すのである。

では、実際にこのIPアドレスで指し示される相手ホストに対してどのようにデータが送り届けられるのであろうか？

今回はこのインターネット上でのデータ配送の仕組みについて解説し、前回未解決だった「No route to host問題」を解き明かしていきたいと思う。

インターネットへの「道」

しかし、インターネットというものは何かと英語を読まなきゃいけないものなのね、という感じである。不用意にMosaicなんぞ立ち上げた日にゃあ『Welcome to NCSA Mosaic...』なんていわれちゃうし、まあそれぐらいはわかるにしても、そこから先はあんまり読む気もおこらない。やっぱりいきなり裸の女の子の写真が出てくるとか、まあ10歩譲って招き猫が出てくるとかでもいいけれど、そういう楽しい思いだけしながら世の中渡って行くわけにはいかないものかしら。

「No route to host」なんていわれてしまうとまさにそんなブルーな気分させられてしまうのである。それでもまあ仕方がないので気が進まないけど辞書でも引いてみよう。

研究社新英和中辞典（第5版）電子ブック版によると、routeとは、

{ラテン語「切り開かれた道」の意から} - 名(C)1 道, 道筋; ルート; 航路: an air ~ 航空路 / the great circle ~ 大圏航路 / take one's ~ 進む, 行く. 2《米》(牛乳・新聞などの)配達区域. go the route 【野球】《口語》完投する - 動他1 + 目 + 前 + (代)名 貨物などを ...のルートで発送するby, through : ~ the goods through the Panama Canal パナマ運河のルートで品物を発送する.

とある。

すなわち『No route to host』の意味は「ホストへの道がない」ということになる。つまりftp.iij.ad.jpにftpをしようとして、『No route to host』といわれたということは、「ftp.iij.ad.jpというホストへの道がない」ということなのである。

なーんだ、そういうことか。道がないんじゃないアクセスできないのはしょうがないではないか。しかし困ったもんだなIJJさんも。ちゃんと道を作っといてくれないんだから、もう。

さてよ、でもたしか会社でIJJのインターネット接続サービスに加入したときには、髭づらで眼鏡をかけて髪の毛を後ろでまとめたちょっと小太りのニイちゃんがやってきて、NTTが設置していったDSUに線を

つなげて、その先にまたいくつか箱を繋げて最終的にイーサネットまで線を繋いでいったはずだ。これで物理的には「道」ができたことにはならないか？ それで端末叩いて何やらテストをして、「え～、あの～、え～、これで国内や海外のネットワークにつながりましたので、え～、こちらにサインもらえますかあ？」とってサインもらって帰って行ったから、ちゃんと物理的な「道」がデータの「道」として機能していたのではなかったのだろうか？

そうすると、机の上にあるこのホストからftp.iij.ad.jpというホスト宛てのデータは、イーサネットを通してIJJが置いていった「箱」(そうそう、「ルータ」というんだったな)を経由してさらにNTTの専用回線を通してIJJのネットワークにまで送り届けられてもいいはずだ。うーむ、おかしい。「道」はあるはずじゃないのか？

お、ひょっとして誰かほかの奴がインターネットと通信している最中なので、あの「道」が塞がってしまっているということなのかな？ 電話だって皆が使っていると話し中になって使えないことがあるじゃないか。あれと同じことに違いない！ それならちょっと待って「道」が空いたころ、またやってみればいいのかもかもしれない。

しかし、待てど暮らせど「No route to host」といわれ続けて、結局いつまで経っ

ても使えるようにはならないのである。インターネットへの「道」は意外に険しい。

**パケット通信ネットワーク**

図1に典型的なインターネット接続の形態を示す。

図ではLANとインターネットの間に1対のルータが対向で設置され、その間に専用回線が敷設されている。このルータと専用回線によって、LANとインターネットとを結ぶ道が作られるのである。通常はこのような道は1本だけであることが多く、LAN上の複数のホストがこの1本の道を共有しながらインターネットとの通信を行う。

この接続形態は、1つのビルの中の内線電話機と公衆電話網との接続形態に類似している。この場合は、図2のようにNTTやNCCなどの局内の交換機からビル内の交換機まで加入者電話回線が何本か敷設され、ビル内の交換機から構内配線によって各電話機が接続される。一般的には、複数の電話機が少ない数の加入者電話回線を共有しながら、外部との通信を行っている。

図1と図2を見比べると分かるように、ちょうど電話網での交換機がインターネットの場合のルータに対応し、電話機がLAN上のホストコンピュータに対応している。

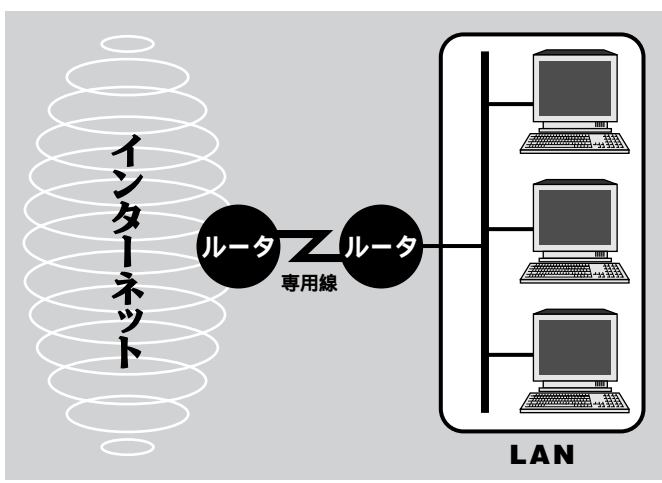


図1 インターネット接続の形態

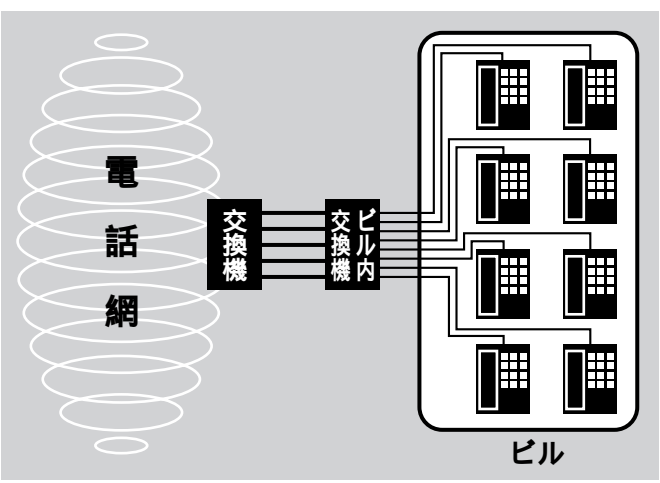


図2 電話の接続の形態

そしてどちらのネットワークも、ホストや電話機など複数の端末装置が限られた回線を共有しているという点で非常に類似している。

しかし、この2つのネットワークには大きな相違点がある。

電話網の場合には、加入者電話回線の数の電話機しか同時に外部との通信ができない。したがって、図2の場合には加入者電話回線は4本しか敷かれていないので、5台以上の電話機から同時に外部に電話をかけようとした場合には、5台目の電話機は話し中になって外に電話をかけることができない。これは外部と電話中の電話機が1台につき1本の加入者電話回線を占有してしまうためである。通話が終了するまでは、たとえ会話をしていないときでも、占有された経路上の回線や交換機内のこの通話のための経路設定にかかわっている設備を他の通話が共用することができないのである。

これに対してインターネットの場合には、たとえインターネットとの接続用に専用回線が1回線しか敷かれていなくても、LAN上の複数のホストから同時に外部と通信を行うことが可能なのである。

この違いは、インターネットがパケット通信ネットワークであることにより生じるものである。

インターネットでは、通信を行う2つのホスト間でやりとりされるデータは小さな断片に分けられ、それぞれの断片が独立して相手のホストまで配送される。一般的にこのデータの断片のことを通信の世界ではパケットと呼ぶ（TCP/IPの世界ではこのパケットのことをデータグラムと呼んでいる）。データグラムは、送り元のホストから送り先のホストまで至る経路上にあるルータにより、つぎつぎに転送されていく。

重要なポイントは、送り出すデータをデータグラムに分割してやることにより、特定のホスト間の通信が、途中の経路上の回線やルータ上の設備を占有してしまうことがなくなるということである。図3に示す

ように、LAN上の各ホストから送出されたデータグラムは、すべていったんインターネットへの道に至るルータに集められ、そこからさらにインターネット側へと転送されていく。ルータは受け取ったデータグラムをどのホストから来たものかによって区別することはせず、基本的にLAN側から届いた順につぎつぎと回線側へ転送していく。これによって、回線が特定のホストの通信が終わるまで占有されるということがなくなり、1本の回線を複数のホスト間でうまく共用することが可能になる。

多くのホストが同時に通信している場合でも、電話のネットワークのような話し中の状態は起こらない。したがって前節の、誰かほかの奴が占有しているから、という推論は的外れだったわけである。通常、ルータは内部にバッファを持っており、受け取ったデータグラムをいったんバッファにためてから回線側に送り出すので、一時的に回線の容量を超えるデータグラムを受け取った場合にもバッファの容量を超えない限りはデータを取りこぼすことなく転送することができる。しかしこの場合には、ルータが特定のホストから送り出されたデータ

グラムを受け取ってから回線側に送り出すまでに要する平均時間は増加し、ホストあたりの通信のスループットは減少する。またバッファがあふれるほどの大量のデータを受け取った場合には、バッファ容量を超えた分のデータグラムは破棄されてしまう。破棄されてしまったデータグラムは、データグラムを生成したホストが再転送などを行うことによって通信は続行される。このあたりの詳しい仕組みについては、もう少し回を重ねてから改めて話すことにする。

平均的に、同時に通信を行うホストの数が非常に多くなり、またそれらの通信に要求される通信容量の総和が著しく回線自体の容量を上回ってしまうような場合には、ルータ内のバッファが常にあふれてしまい、データグラムが破棄される確率が非常に高くなる。このような場合には、事実上通信は行えない。IIJの営業に電話をして、インターネット接続に用いている回線のアップグレードを相談するときである。)

## データグラム配送の仕組み

### 1. IP ヘッダ

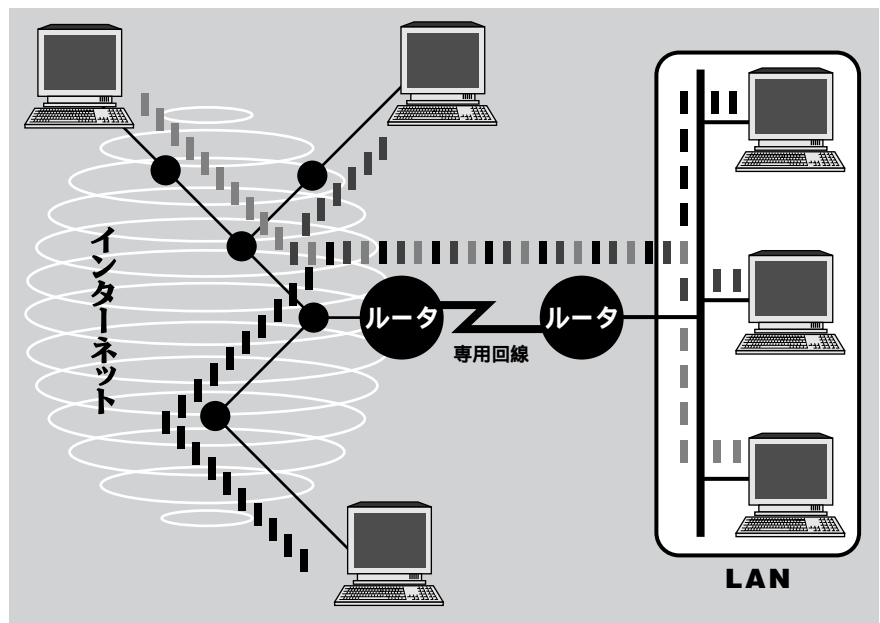


図3 データグラムの配送

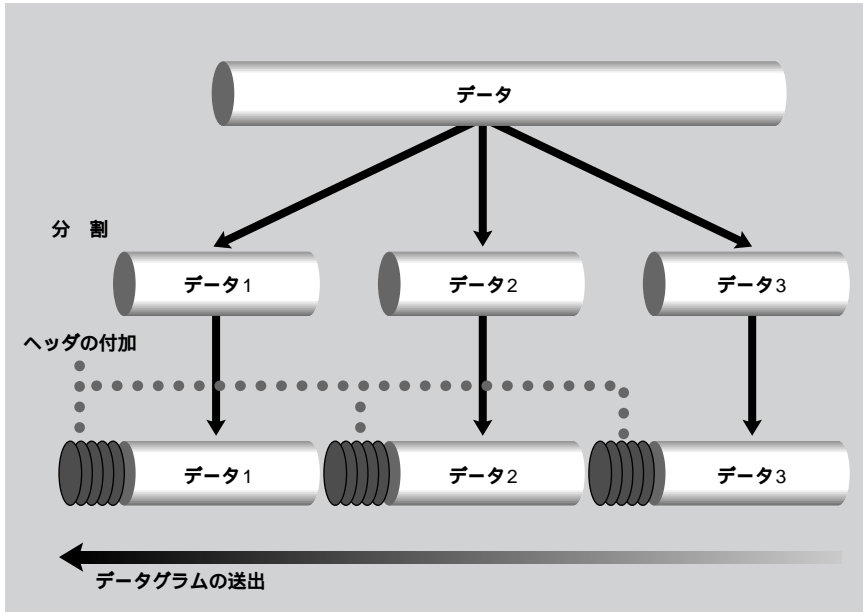


図4 IPデータグラムの送出手

IPデータグラムは、それぞれが独立に配送される。独立に配送されるためにはそれぞれのデータグラムがどのホスト宛てであるかや、またどのホストから発信されたものであるかなど、配送に必要な情報を各データグラムに付加して送る必要がある。また、アプリケーションが大きなデータを送ろうとした場合には、そのひとまとまりのデータをいくつかのデータグラムに分割して送ったり、また途中のルータで、受け取ったものよりもさらに細かくデータグラムを分割しなければならないような場合もある。このような場合には、受け取り側のホストで、いくつかのデータグラムをまとめてもとのデータを再現した上でアプリケーションに渡す必要があるが、そのためには、データグラムのどれとどれをまとめればもとのデータが再現できるのかを示す情報が必要である。このようなデータグラム配送に必要ないくつかの情報は、決められたフォーマットでまとめられ、データグラムの先頭に付加される。この付加された部分をヘッダという。

データグラムの送信元のホストや送信先のホストは、ヘッダの中ではそれぞれのホストのIPアドレスにより指定される。送信

元ホストのIPアドレスをソースアドレス（Source Address）、送信先ホストのIPアドレスのことをデスティネーションアドレス（Destination Address）と呼ぶ。送信元ホストから送信先ホストに至るまでの経路上のルータは、IPデータグラムのヘッダに指定されているデスティネーションアドレスをもとに、順次データグラムを転送していく。

## 2. ルーティング

ルータは図5に示すように、一般的に複数のネットワークインターフェイスをもっており、それぞれのインターフェイスはLANに接続されていたり、専用回線等を用いて離れた場所にあるルータに接続されていたりする。ルータの役割を一言でいえば、これらのインターフェイス間を転送されるデータグラムの交通整理のようなものである。ルータは、インターフェイスから受け取ったデータグラムのデスティネーションアドレスを調べ、それをもとに次に送り出すべきインターフェイスを決め、そのインターフェイスからデータグラムを送り出す。このようなルータの動作は、データグラムがたどっていく道を決めるものであり、『ルーテ

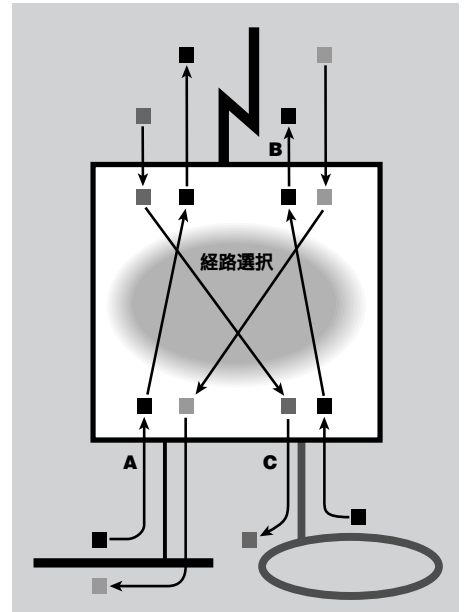


図5 ルーティング

ィング（routing）」と呼ばれる動作である。

図5に示すルータは、A、B、Cの3つのネットワークインターフェイスをもっており、それぞれイーサネット、専用回線、FDDIの物理ネットワークに接続されている。図中の四角はデータグラムを表し、矢印は転送される方向を表している。同じパターンをもった四角は、同じインターフェイスから送出されることに注意してほしい。

データグラムを送り出すインターフェイスは、データグラムヘッダに示されるデスティネーションアドレスをもつホストに、より近づくようなインターフェイスが選ばれる。したがって、ルータは、それぞれのデスティネーションアドレスをもつホストが、自分のもっているインターフェイスのうちどのインターフェイス経由で到達できるのかをあらかじめ知っていればよいことになる。

もう少し厳密に考えれば、イーサネットのような媒体の場合には、1つのインターフェイスに接続されている物理ネットワーク上に複数のルータがある場合がある。このような場合には、インターフェイスだけでは不十分で、その先の複数のルータのうち



どのルータに届けばいいのかも分かっていなければいけない。この次にデータグラムを転送すべきルータのことをネクストホップ (Next Hop) と呼ぶこともある。

さらに、配送先のホストに至る経路が複数存在する場合には、複数のインターフェイスのうちどのインターフェイスに送り出しても、特定のデスティネーションアドレスをもつホストに到達できることも考えられる。したがって、それらの複数の経路間でもより近い経路を選ぶためのパラメータも必要になる。このパラメータのことを経路のメトリック (Metric) という。

しかし、ちょっと待てよ。現在インターネット上にはいったい何台のホストがあるのだろうか？ たしか何百万台というオーダーだったはずだ。本当にそれらすべてのホストがどっちにあるかなどという情報を、すべてのルータが知っているのだろうか？ 単にそれだけの情報を保持しているということだけでも結構気が遠くなるのに、世界中に広がっているインターネット上でどうやってそんな情報をやりとりしているのだろうか？

ここで、連載第1回目のIPアドレスの話の思い出してほしい。各組織には1つもしくは複数のネットワークアドレスが割り当てられており、それらをサブネットに分割したりとか、サブネット内でホストにアドレスを割り当てたりとかは、基本的には組織の中のネットワークで閉じているはずである。したがってインターネット側から見れば、とにかく配送したいデータグラムのデスティネーションアドレスのネットワーク

部のみに着目して、そのネットワーク部を割り当てられている組織の入り口まで運んでやればよいのである。組織内で最終的な配送先のホストまでデータグラムを運ぶのは、その組織に任せてしまえばいいのだ。つまりインターネット上のルータは、ネットワークアドレスのみの情報さえもてばいいことになる。これで、もつべき情報は数百万のオーダーから数万のオーダーまで下げられる。

さらに、最近では組織に対して複数のネットワークアドレスを割り当てる際には、CIDRの方式で割り当てられているので、複数のネットワークアドレスをひとまとめに表現できるはずである。たとえば、192.244.180.0、192.244.181.0、192.244.182.0、192.244.183.0の4つのクラスCのネットワークアドレスを、共通部分である192.244.180.0と、どこまでが共通部分を示すネットマスク255.255.252.0 (もしくは、先頭から共通なビット数を用いて、192.244.180.0/22とも表現できる) との組によってひとまとめにすることができるのである (これはサブネットと逆の発想であることからスーパーネットとも呼ばれる)。

したがって、各ルータでデータグラムをインターフェイス間でうまく振り分けるためには、図6に示すような表をもっていなければならないことになる。このような表のことを、ルーティングを行うための表であることからルーティングテーブルと呼ぶ。

ルータはデータグラムを受け取ると、次のようなステップでデータグラムの行く道を決定する。

1. データグラムのヘッダ部分からデスティネーションアドレスを取り出す。
2. 次にデスティネーションアドレスとルーティングテーブルの各エントリのMaskフィールドの値とビットごとにAND演算を行い、その結果とDestinationフィールドの値とを比べていく。
3. マッチングが取れたもののうち、もっとも長いマスクをもつものを選び出す。
4. 選ばれたもののうちメトリックが最も小さいエントリを選ぶ。
5. 選んだエントリのNext Hopフィールドに示されたアドレスに対して、データグラムを転送する。

### 3. デフォルト

さて、先程、インターネット側から見れば、ある組織のネットワークに関しては、その入り口までデータグラムを配送すれば、そこから先は組織の中で何とかすればいいという話をした。これとは逆の発想で考えると、じゃあ、組織の中では、組織の中の経路だけ考えて、組織外のホスト向けのデータグラムに関しては、組織からの出口まで配送して、そこから先はインターネット側に任せてしまえばいいことにならないか？

この発想で導入されたのがデフォルト (default) の考え方である。また英語だよ...などと顔をしかめないでほしい。それほど難しい考え方ではない。一般的には組織内のネットワークとインターネットとの接続は1か所で行われることが多い。このような場合、組織内のルータではインターネット上のすべてのネットワークに対する経路をもっている必要はなく、組織内のネットワークの経路に関する情報と、それ以外は、とにかく組織の外部になるわけなので、インターネットへの出口に至るための経路情報のみもっていればよい。たとえばクラスCのアドレスを1つだけ割り当てを受け、それをサブネットしてネットワークを運用しているような組織では、そのサブネットに関する経路情報と、それ以外のデスティネ

Destination	Mask	Next Hop	Metric	Interface
199.29.218.0	255.255.255.0	192.244.176.210	5	B
192.244.180.0	255.255.252.0	192.244.191.10	3	A
202.26.208.0	255.255.240.0	192.244.176.210	7	B
192.244.181.0	255.255.255.0	192.244.190.4	2	C

図6 ルーティングテーブル

ーションに到達するためにデフォルトの経路として外部に出るための経路のみをもってはいけいことになる。

図7に示すネットワークでは、192.244.177.0というクラスCのネットワークをサブネットして運用しており、外部への経路はデフォルト経路を用いているとする。すると、R2というルータが持っているルーティングテーブルは図7のようになる。

自分自身が直接つながっているネットワークに対する経路のNext Hopは、そのネットワークに接続しているインターフェイスにつけられたアドレスになる。自分自身が直接つながっているネットワーク上にあるホストに対しては、もはや他のルータに頼る必要がなく、自分自身で、直接そのホストに対して送り出せばいい。この仕組みについては、次回にゆずることにする。

R2のルーティングテーブルでは、クラスCのネットワーク192.244.177.0のサブネット以外のデスティネーションに関しては、すべて外部に接続しているR1に対してデフォルト経路を用いて転送を行うような設定になっている。このようにデフォルト経路を用いることによって、何万という数のネットワークに対する経路の情報をもつことなく、しかもインターネット上のすべてのホストと通信を行うことが可能になる。しかし、これは大前提として、R1から一歩インターネット側に出たところにあるルータで、目的のデスティネーションに至る経路の情報をもっているという条件つきである。もちろん、その、インターネット側に一歩出た所でも同様にデフォルト経路を用いることもできる。これに関しては次回にもう少し詳しく解説する。

**おわりに**

で、「No route to host」問題はどうかかって？ おっと、1つ重要なことを忘れていた。すべてのホストもルータと同様に、ルーティングテーブルをもっていないと通信

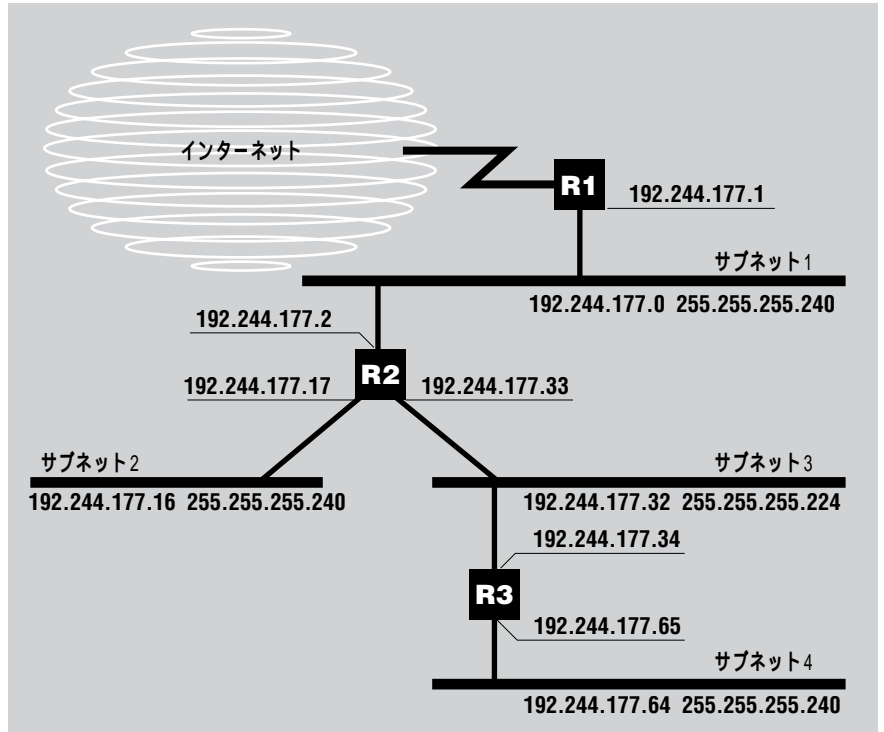


図7. 組織内の経路とデフォルト

Destination	Mask	Next Hop	Metric	Interface
192.244.177.0	255.255.255.240	192.244.177.2	0	E1
192.244.177.16	255.255.255.240	192.244.177.17	0	E2
192.244.177.32	255.255.255.224	192.244.177.33	0	E3
192.244.177.64	255.255.255.240	192.244.177.34	1	E3
default		192.244.177.1	2	E1

図8 R2のルーティングテーブル

できないのである。ホストがデータグラムを送り出すときにもルータがデータグラムを転送するときと同様に、ルーティングテーブルをもっていなければ、どのルータにデータグラムを渡せば目的のホストまでそれを運んでもらえるのか分からないのである。つまり、この問題の答えは、そのホストがftp.iij.ad.jpというホストのもつIPアドレスに関する経路情報をもっていないということだったのだ。

ホストの場合には、他人のデータグラム

を責任をもって目的地に向かって転送しなければいけないという状況は通常あまり起こらないので、とりあえずは、どこか最寄りのルータをデフォルト経路として指定してしまえばいい。実際、PC上のTCP/IPソフトでは、デフォルト経路しか指定できないようなものも結構ある。じゃあ、その設定の仕方に関して書けて？ うーむ、とりあえずインターネットマガジンのバックナンバーをデフォルト経路として採用することにしよう。)



## [インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

**株式会社インプレスR&D**

All-in-One INTERNET magazine 編集部

[im-info@impress.co.jp](mailto:im-info@impress.co.jp)