

マルチホーム接続のための経路制御について
- 経路の不安定性に関する一考察 -

上水流 由香

NTT ソフトウェア研究所 広域コンピューティング研究部

一般に複数のプロバイダへ接続するマルチホーム接続では、1つのプロバイダに接続する場合に比較して、インターネット接続についての信頼性が増すと考えられている。しかし、マルチホーム接続では複数のプロバイダとの間の経路制御が必要となるために、プロバイダからの経路の状態によっては、逆に接続が不安定になる場合がある。本研究では、まず国内のプロバイダからの経路情報の変動について調査し、その特性についての考察を行った。この結果、経路の変動は増加傾向にあり、頻繁に変動する経路は全体の1%に満たないことが明らかになった。安定したマルチホーム接続を実現するためには、経路の監視により頻繁に変動する対象を特定し、経路の変動をローカルルータの経路表に反映しないことで影響を抑えることが可能になる。本稿では経路の変動を抑える方式の1つとして、経路スタビライザを提案する。

Routing Control for Multihomed ASs
- An Analysis of Route Flapping -

Yuka Kamizuru

NTT Software Laboratories, Global Computing Laboratory

Contrary to common belief, a multihomed AS is not necessarily more reliable than a singlehomed one. This is due in part to the instability of routing information in the internet.

This paper describe the instability of routing information in Japan. The number of route changes, called route flaps, is large and increasing. A small number of routes (less than one percent) flap severely. In order to improve stability for multihomed ASs, it is necessary to increase monitoring of route flapping, identify problem cases, and find ways to reduce flapping. We propose a technique, called Route Stabilizer, to reduce flapping.

1 はじめに

複数のインターネットサービスプロバイダ (Internet Service Provider : ISP) に接続するマルチホーム接続では、インターネットへの接続経路が複数存在するため、1つのプロバイダへのみ接続する場合よりもネットワークの接続性についての信頼性が増すと考えられている。しかし、マルチホーム接続では複数のISPからの経路情報に基づく経路制御が必要となるため、受けとる経路情報が不安定であるとインターネットへの経路制御が不安定になる。ここで経路制御の安定性とは、目的とするネットワークまでの経路が常に確保され、経由する経路の変動が稀であることを意味する。逆に不安定な経路制御とは、目的のネットワークまでの経路が存在しなかったり、経由する経路が常に変動することを意味する。

マルチホーム接続されたサブスクライバネットワーク (ISPを介してインターネットに接続されている1つの組織のネットワーク。以降サブスクライバと呼ぶ。) において、ISPから送られる経路情報が頻繁に変動すると外部へ向かう経路が複数のISPの間で切り替わり、安定した経路制御が実現できない。そこで我々は、マルチホーム接続において安定した経路制御を実現するために、ISPから受けとる経路の安定性についての調査を行った。

本稿では、まずマルチホーム接続の経路制御と、統一した方針に基づき経路制御を行う単位であるAS (Autonomous System) 及びAS間の経路制御に用いられるBGP (Border Gateway Protocol)[1]について説明し、経路不安定性の問題とそれがマルチホーム接続に与える影響について述べる。次に、国内の経路情報の変動を観測し分析した結果について示す。最後に安定した経路制御を実現する方法を提案する。

2 マルチホーム接続

ここではマルチホーム接続における経路制御とBGPについて述べる。

2.1 経路制御

最近ではISPの増加や利用方針の異なる様々なISPの登場により、マルチホーム接続を行う組織が増加している。マルチホーム接続に対比させて、1つのISPのみを介してインターネットへ接続することをシングルホーム接続と呼ぶ。

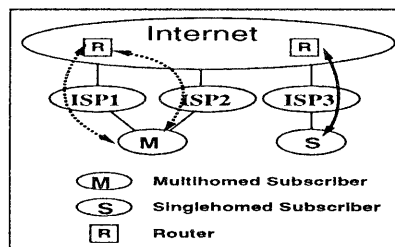


図1: マルチホーム接続とシングルホーム接続

シングルホーム接続における経路制御では、図1の右側に示すように、あるサブスクライバSはISP3への経路が1ヶ所である。そのためサブスクライバから外部へ向かうパケットの経路制御は、全てのパケットをISPに向けるデフォルト経路を設定することにより実現する。また外部から入ってくるパケットの経路制御は、1つのISPから経路情報をアナウンスすることにより行われる。このため、サブスクライバ側では直接インターネット全体の経路情報を用いた経路制御を行う必要がない。

一方、マルチホーム接続の場合には、図1の左側に示されるようにサブスクライバMは外部への経路が複数存在するため、ISP1,ISP2からの経路情報を元に経路制御を行う必要がある。また外部から入ってくるパケットの経路のためには、ISP1,ISP2から経路情報をアナウンスすることになる。

2.2 BGP

BGPは、接続ポリシーを反映した経路制御と、インターネット全体の経路情報の交換を実現するために考えられたAS間経路制御プロトコルである。BGPでは、各ASにそれぞれが一意に決まるAS番号が割り当てられる。経路情報にはその経路情報が通過したASの番号が属性として付加されるため、経路情報から経由するASパスを知ることができる。ASパスの属性を用いて経路制御や他のASへの経路情報のアナウンスを行うことにより、ポリシーを反映した経路制御を実現する。

BGPの経路情報を交換するルータは、BGPルータと呼ばれる。経路に変動のない間は隣接するBGPルータはコネクションの確認のために互いにキープライブパケットのみを送る。そして経路が更新さ

れた場合にのみ、更新部分の経路情報を転送する。

3 経路の不安定性

ここでは経路の不安定性についての問題と、それがマルチホーム接続に与える影響について示す。

3.1 経路の変動による影響

経路の変動が少ない場合、BGP ルータ間はキーブアライブのためのトラフィックしか流れない。しかし最近では、経路数の増加および AS 番号取得組織の増加により、BGP における経路の変動 - 経路のフラップ (route flap) - の増加が問題になっている [2]。ここで経路のフラップとは、BGP での経路の追加 (add)、削除 (delete) などの経路の状態の変動を意味する。

例えば、米国における ISP の相互接続ポイントである NAP (Network Access Point)[3]では、複数の ISP のルータが互いにインターネット全体の経路情報を交換するため、経路のフラップによるルータの負荷が問題となっている。

現在、国内においては経路のフラップはさほど問題視されていない。これは米国インターネットで扱われている経路数が 25,000¹であるのに比べて、国内で扱われる経路数はたかだか 2,500²と 1/10 程度であるため、経路のフラップが顕在化していないためである。しかし国内の経路は毎月 100 経路程度増加している。また BGP を用いて経路制御を行っている AS の数は 20 程度であるが、AS 番号取得組織の数は 30 以上あることから、今後国内で BGP を行う組織数はさらに増加すると考えられる。経路数および AS の増加により、今後は経路のフラップの影響が顕在化することが予想される。

3.2 マルチホーム接続と経路のフラップ

マルチホーム接続では ISP から受けとる経路情報に基づく経路制御を行うため、経路のフラップの影響を受ける。例えば 2 つの ISP から受けとる経路情報に、頻繁にフラップする経路情報が含まれる場合には、その経路情報に基づく経路は 2 つの ISP の間で頻繁に切り替わることになる。

¹1995 年 6 月現在。

²1995 年 6 月現在。ただし aggregate されていない。

頻繁な経路のフラップは、インターネットでの接続性の面からも問題である。あるネットワーク上のホストに接続できない場合、経路制御上の問題が原因か、経路上にあるリンクやルータのダウンが原因か、という判断が困難である。そのため、現時点では経路の不安定は潜在的な問題となっている。

経路の変動はマルチホーム接続の問題というよりも、インターネットの経路制御全般に関わる問題である。しかし、安定なマルチホーム接続の実現のためには、インターネットの経路のフラップの発生状況について調査し、それを抑制するべきと考えた。

4 経路のフラップの観測

本研究では国内の経路のフラップについてののみ調査を行った。現在、日本では国内の ISP 間のみで経路情報の交換を行っている。国内のみの経路数は約 2,500 であり、経路表に現れる AS の数は 23 である³。観測は図 2 で示すように、NTT の研究所のネットワークの 1 つである COREnet と WIDE インターネットの接続部分のルータ (図 2 右側の BGP ルータ)で行った。

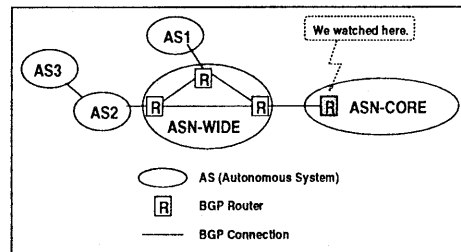


図 2: 経路のフラップの観測

ASN-CORE は ASN-WIDE を経由して国内で交換されている BGP の経路情報を受けとる。ここで観測された経路の変動は、あくまでも 1ヶ所からのものであり、経路情報が送られる途中に問題があれば、その影響を受けることになる。例えば AS3 からの経路情報は、AS2、ASN-WIDE を経由する間の障害などの影響を受ける。経路のフラップの記録は、BGP とルーティングテーブルに関するデバック情報をルータから得て、計算機上のファイルに記録することにより行った。

³1995 年 5 月現在

5 経路のフラップの特性

ここでは経路のフラップの解析結果を発生パターンや変動傾向に分けて示す。

5.1 フラップの発生状況

フラップの発生状況は経路によって異なるが、非常に頻繁にフラップを繰り返す経路が存在する。図3、図4は、それぞれ1つの経路の1日の変動状況を視覚的に示したものである。経路表から経路が削除された状態(down)と、追加された状態(up)を、それぞれY軸の0と1で表し、X軸は1日の時刻を示している。黒い縦の線は、経路の状態がupからdownまたはdownからupに変動したことを示している。経路が追加された状態は灰色で示される。

図3は、0時から16時付近まで経路が頻繁に変化しており、1日に経路が削除された回数は約130回であった。つまり1日に130回の削除と追加を繰り返している。

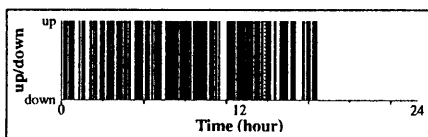


図3: 1日の経路変動の例(1)

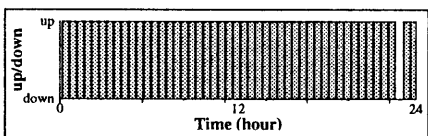


図4: 1日の経路変動の例(2)

図4は1日に67回のフラップが発生した例である。この経路の場合、定期的に短時間の経路のダウンが発生している。このように、経路のフラップの発生パターンとして様々なものが観測される。

以降では、経路が削除された回数をフラップの回数とする。また経路表から経路が削除されたことを経路のダウン、経路表に追加されたことを経路のアップと呼ぶ。

表1: フラップの回数と経路数

Flap数	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
101 -	4	9	9	2	2	3
51-100	6	4	1	16	2	1
11- 50	105	35	117	186	169	86
1- 10	819	975	1066	1548	830	453

5.2 フラップの長期的発生傾向

長期的に見たフラップの発生傾向について示す。図5は、4～6月上旬について1日のうちの経路のアップとダウンの回数を示している。

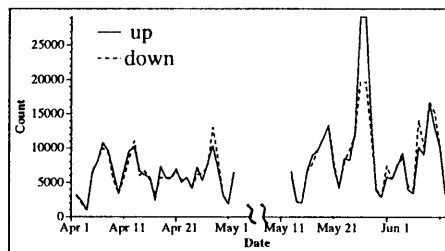


図5: 4月から6月の国内経路の1日の変動数

図5より全体として経路のフラップ数が増加傾向にあることがわかる。5月下旬に変動数が異常に多くなっているが、これはWIDEのバックボーンのリンクの一部の予定された停止による影響を受けたものである。この期間はリンクの過負荷によりバックボーン上の1つのルータのインタフェースが頻繁にダウンした。この影響を受け、観測しているルータの経路表が1日に何度もクリアされた。

5月中旬のフラップの多い日を例にとると、1日のフラップの回数は約13,000回である。平均すると1分間に9回程度のフラップが発生したことになる。

5.3 フラップの発生頻度

フラップの発生頻度と経路数の関係を示す。表1は経路ごとの1日のフラップ回数の分布について、ある1週間分を示したものである。

表1に示されるように、1日にフラップが101回以上の経路は数ヶ所程度、11～100回の経路が200ヶ所未満、1～10回の経路が400ヶ所以上になって

いる。1日に50回以上フラップする経路の割合は、全体のうちの1%に満たない。つまりフラップの回数が多い経路は、全体の経路のごく一部分である事が明らかになった。

5.4 マルチホーム接続のフラップ発生頻度

マルチホーム接続と経路の不安定性の関連について分析を行った。1ヶ月間の経路ごとのASパスの記録により、ASパスの種類が複数の場合にはマルチホーム接続されている経路とみなした⁴。その結果、ASパスの種類が3種類のものが28ヶ所、2種類のものが137ヶ所であった。残りの約2,300ヶ所は、ASパスが常に変化しないシングルホーム接続された経路である。経路を以上のような3つのカテゴリに分け、1日の経路あたりのフラップの回数の平均を示したものが図6である。

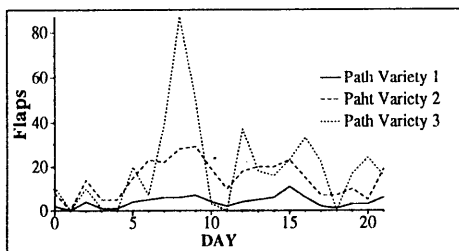


図6: マルチホーム接続での経路変動

図6に示される2種類の点線がマルチホーム接続された経路、実線がシングルホーム接続された経路である。図6に示される期間のなかでそれぞれの平均フラップ回数の最大値は、ASパスの種類が3種類の経路は89回、2種類の経路は29回、シングルホーム接続された経路は11回となっている。それぞれのフラップ数の最大値を比較した場合に、ASパスの種類が2種類ものはシングルホーム接続された経路の約3倍、ASパスの種類が3種類のものは約8倍になっている。これより、マルチホーム接続されている経路はシングルホーム接続された経路に比べてフラップが多いという傾向が明らかになった。

⁴マルチホーム接続と見做した経路の中には、オペレーションのミスにより誤ったASパスがアナウンスされた経路も含まれている可能性がある。

表2: 経路のダウン時間(15秒おき)

Time(sec)	0-15	16-30	31-45	46-60
Percentage	0.3%	10.0%	24.9%	2.7%
Time(sec)	61-75	76-90	91-105	106-120
Percentage	13.1%	0.1%	7.0%	0.7%

5.5 経路のダウン時間

フラップの多い経路について、経路の状態が変化する時間間隔について分析を行った。その結果、経路がダウンしている時間はある時間間隔に集中していることが明らかになった。図2は、1ヶ月間で経路のフラップ回数が多い上位200経路について、経路のダウン時間の15秒単位の分布を示したものである。

表2に示されるように、ダウン時間は16～45秒、61～75秒、91～105秒の時間帯に集中する傾向がある。このような30秒おきの時間帯への集中は、30秒おきに経路情報を更新するRIP[4]などの影響が考えられる。また、フラップの回数が多い200経路のダウン時間を調査したところ、全体の85%程度のダウンは10分以内であることが分かった。このことにより、頻繁にフラップする経路の場合、そのダウン時間はおおむね10分以内と考えることができる。

6 経路の安定化機構

経路のフラップについての解析により、以下のことが明らかになった。

1. フラップが頻発する経路は全体の1%に満たない
2. マルチホーム接続された経路は不安定な傾向がある
3. 頻繁にフラップする経路のダウン時間には30秒おきにピークがあり、またそのダウン時間は10分以内のものが多い

そこで、定期的な経路の変動を監視し、フラップが頻発する経路は、ローカルルータの経路表への反映を遅延することで、経路制御を安定化させることが可能になる。そこで経路を安定化する以下の方式を提案する。

1. 経路のフラップを監視し、定期的なフラップを繰り返す経路を特定する
2. 経路のフラップが定期的な多いものは、BGPのhold down timerを延長することにより、経路のフラップをローカルルータの経路表へ反映させるまでの時間を遅延させる

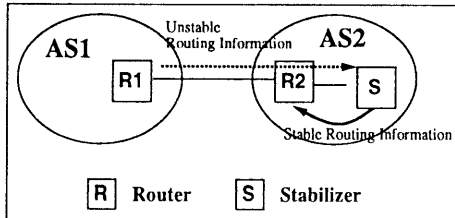


図 7: 経路スタビライザ

このような機能を実現するシステムを、経路スタビライザ(図7)と呼ぶ。スタビライザSはAS1からの経路情報を受けとり、その変動を監視する。そして頻繁にフラップする経路の条件にあてはまる経路については、経路のフラップをローカルルータR2の経路表に反映させない。R2における経路制御は、スタビライザによって生成された安定な経路表に従う。フラップする経路を特定するパラメータとしては、経路のフラップの頻度やマルチホームであるかの種別などが挙げられる。また、不安定な経路のダウン時間は数分程度のものがほとんどであることから、不安定と特定された経路を普通の経路に戻す契機として、統計的に観測された経路のダウン時間を利用できる。以上のような経路スタビライザを実現することにより、頻繁に変動する経路情報を削減し、パケットをフォワードするルータでは安定した経路制御が可能になる。

経路スタビライザを、5月中旬のフラップ回数が比較的多かった1日について適用してみる。経路スタビライザの適用範囲を1日に40回以上フラップした経路を対象とすると、全体のフラップ10,811回のうち5,773回、つまり最大53%のフラップが削減可能になる。このことから経路スタビライザが有効に機能すると考えられる。

7 おわりに

本研究では、マルチホーム接続を行う前段階として、国内経路におけるフラップの発生を観測し、分析を行った。これより1)全体としてのフラップの発生は増加傾向にあること、2)頻繁にフラップする経路は全体の経路のごく一部であること、3)マルチホーム接続された経路は不安定な傾向があること、4)フラップの多い経路のダウン時間は10分以内の短いものが多く、ダウン時間は30秒おきにピークがあることを明らかにした。

安定した経路制御を行うためには、頻繁にフラップする経路による経路情報の変動を抑える機構が必要である。そのため、監視によって頻繁にフラップする経路を特定し、パケットのフォワードを行うルータの経路表に反映させない経路スタビライザを提案した。この経路スタビライザを、変動回数が多いある1日の中で40回以上フラップした経路について適用すると、全体のフラップ回数は最大53%削減可能になる。今後は、本研究での経路のフラップの監視手法と、経路スタビライザの実装のための検討を行っていく。

謝辞

本研究の機会を与えて頂いたソフトウェア研究所広域コンピューティング研究部の後藤滋樹部長ならびに御指導をいただいた村上健一郎グループリーダー、Paul Francis主任研究員に深く感謝します。また、本研究を進めるに当り協力を頂いた、ヒューマンインタフェース研究所丸山充主任研究員およびCOREnetグループの関係各位に感謝します。

参考文献

- [1] Y. Rekhter, T. Li, "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", RFC1771, March, 1995.
- [2] Curtis Cillamizar, "Controlling BGP/IDRP Routing Traffic Overhead", ANS, October 1993.
- [3] NSFNET Transition/New NSF Architecture, <http://www.merit.edu/routing.arbitrator/NSFNET/NSF.transition.html>
- [4] C. Hedrick, "Routing Information Protocol", RFC 1058, Jun, 1988.