

## 論文の内容の要旨

論文題目「Global Routing Information Management for Internet System」

(和訳 インターネットシステムにおけるグローバルなルーティング情報管理に関する研究)

氏名: 長橋 賢吾

インターネットにおけるルーティングの役割とは、送信元から宛先までパケットを転送することである。転送するにあたって必要なことは各ルータにおいて同じ転送先データベースを共有するという点であり、これは本質的には分散データベースの一つであるということができる。

これにもとづき、われわれはインターネットにおけるルーティングを分散データベースという観点から整理した。整理にあたって次のタイプを定義した。(1)static か dynamic であるか、(2)source が inbound か outbound か、(3)Client Server か Peer to Peer 形式か、タイプに続いて評価指標となるメトリックを以下のように定義した。(a)scalability, (b)convergence, (c)consistency, (4)redundancy.これらのタイプとメトリックを基にして、われわれは、現在インターネットにおいて広く利用されているルーティングプロトコルである、static, RIP, OSPF, BGP についてその比較・評価をおこなった。

この評価を通じて OSPF (Open Short Path First)がもっともルーティングプロトコルとしてパフォーマンスに優れていることがわかった。その一方、ドメイン間経路制御ルーティングプロトコルとして事実上の標準となっている BGP (Border Gateway Protocol)は、convergence および consistency において OSPF に劣っている。そこで、われわれは、(a)なぜ BGP は convergence および consistency が弱いのか、これを克服するアプローチはあるのか、という点に焦点を絞り議論した。

BGP は、パスベクター型ルーティングプロトコルであり、その挙動を有向グラフ  $G=(V,E)$   $V$  は、AS(自律システム)の集合、 $E$  はそれぞれの AS のピア関係として表現することができる。それぞれのピア AS は、BGP Update として差分情報を近隣 AS と交換する。その Update には AS-PATH(経由した AS のリスト), next-hop(次の宛先), local preference(優先度)そしてプレフィックスが含まれている。BGP のオペレーションもである、この AS-PATH  $r1.as\_path(Va,Vb...Vn)$  に対して、経路を生成する AS(オリジン AS)である  $Va$  が同一であることが仮定されている。BGP のプロトコル仕様が策定されたのは 1980 年代であり、この時代ではすべてのユーザがお互いの信頼を保証していたため、 $Va$  が同一であることを仮定することは当然のことであった。しかしながら、インターネットの発展は、様々なステークホルダーの登場などもありユーザが多様化してきた。セキュリティホールをついた攻

撃もこの多様化したユーザの一つの例であり、BGP もすべてのオリジン AS が同一であるという仮定が機能しなくなっているといえる。

オリジン AS が同一であるとの仮定を崩す明らかな例としてブラックホール問題がある。これは、本来プレフィックスを生成すべき AS ではなく、他の AS がそのプレフィックスを広告してしまう現象であり、最終的にはパケットが到達できなくなってしまう。では、どうしたらこの問題を解決できるのか。そのアプローチとしてわれわれは第 3 者によるプレフィックス認証が必要であると考えた。

第 3 者によるプレフィックス認証として、(a) IRR (Internet Routing Registry), (b) S-BGP (Secure BGP), (c) NLRI DNS の 3 種類が候補としてあげることができる。プレフィックス認証は、BGP とともに動作すべきものである。BGP とともに動作するためには、前述した routing requirement を満たす必要がある。これらの 3 つの候補を routing requirements によって評価した結果、IRR が普及しやすさということがもっとも考慮されており、われわれは IRR を用いたプレフィックス認証について検討した。

IRR を用いたプレフィックス認証を検討するにあたって、問題点となるのが(1)スケーラビリティの確保、(2)IRR の登録率の問題である。(1)に関しては、IRR は中央サーバによって管理されているためにそのスケーラビリティは考慮されていない。これに関しては、DNS のような IANA を頂点とした階層構造を導入することによってスケーラブルなアーキテクチャーを提案した。(2)に関しては、IRR には実際の経路情報が登録されていないという指摘がある、ではどれくらい登録されているのか、どの程度登録されていないのかについて定量的に評価した。

これらを通じて、本研究において、(1)分散データベースの観点によるルーチングプロトコルの体系化、(2)BGP における Consistency を改善する手段としてプレフィックス認証メカニズムの提案、(3)IRR によるプレフィックス認証機能の実現、の 3 点に焦点をあてた。これによりインターネットにおけるグローバルなルーチング情報の管理が可能になる。