

○藤井章博（文科省・科学技術政策研），玄場公規（東大工学）

1. はじめに

我々は、これまで文献[4]で、インターネット技術の技術変化を、RFCを利用して計量的に分析することを試みた。TCP/IPと呼ばれるインターネットの核となる通信プロトコルについては、技術変化の初期の段階でいわゆる「ドミナント・デザイン」の形成に対応する様相が見られた。また、インターネット利用が進展し、接続ホスト数が増大する状況の中では、利用技術が技術変化を駆動してきたことがデータの上から明らかになった。本稿では、要素技術としてルーティングを取り上げ、その技術軌道について分析を試みる。

Dosiは、「技術軌道(Technological Trajectories)」を「ある技術上の概念を核として形成される技術進化の道筋」と規定し、この概念により技術変化の方向を分析する方法論を提唱した。^[1]一方、インターネット関連技術は、今後も絶えざる技術変化が予測され、これまでの技術軌道に関する分析は科学技術政策上の重要な課題であると考えられる。

インターネットの発達に関する先行研究としては、文献[2][3]などがあげられるが、技術内容に踏み込んだ動学的分析は少ない。本研究では、インターネットを構成する様々な要素技術の中から、通信プロトコルの主要な要素技術に着目し、技術軌道の観点から分析を試みる。

通信プロトコルの研究は、パケット通信方式が提唱された60年代から研究開発が始まり、現在でもデバイス技術の変化に伴い新たな方式に関する議論が続いている。その中核となるのは、TCP/IPと呼ばれる通信プロトコルであり、周辺に多くの関連技術を擁する。本稿では、個別の要素技術として、ルーティングとトラフィック制御に関して着目し考察を行う。

2. RFCデータベース

RFC(Request for Comments)とは、インターネットにおける通信プロトコルの仕様を検討し、デファクト標準を形成するための文書である。現在その採択数は3000件を越えインターネット上によく整備された形で公開されている。^[5]

技術変化を分析する場合は、特許や学術論文を利用するのが一般的である。そこで、まず、本研究でRFCを技術変化に利用することの是非を検討してみる。RFCは、一定水準の技術仕様を30年以上にわたって、ほぼ一貫した基準によって採択、蓄積してきた点から、データの一般性・一貫性の観点から妥当といえる。次に、RFC文書の個数を技術変化の相対的

な定量比較に利用する観点からは、ひとつのRFC文書は、何らかの特定の要素技術に関してまとめられた検討結果を表していることから、個別の文書で対象となっている要素技術の独立性と重要性を表している。さらに、特許や学術論文同様に、RFCとして技術仕様は採択されるということは、研究者、技術者にとって、当該技術分野における創造的な活動の成果の表明であり、このことが採択に向けた貢献へのインセンティブを与えてきたといえる。また、RFCは、インターネットにおける通信プロトコル全体を取り扱い、システム全体の仕様策定が対象であった。このことは、通信プロトコルの技術変化の全体像を網羅していることを意味していると考えられる。これらの点を考慮すると、RFCを技術変化の計測に利用することは妥当であると考えられる。

RFCの内容は、「インターネット標準に関する文書」と「その他の文書」に大別できる。前者は『インターネット標準』を形成する文書群およびその候補となる文書群となる。本稿では、主にこの分類に属する文書を分析の対象とする。

3. 通信プロトコル技術の学習過程に関する考察

インターネットの発達の要因は様々な観点から検討されている。ここでは、結果的に「オープン」な標準化過程を執ってきたインターネットコミュニティが、技術変化に資する多くのイノベーションを生み出してきた点に着目し、「学習過程」の観点から、RFC策定のプロセスが有効に機能した事実を検討する。

RFC策定に基づく通信プロトコル技術変化をインターネットコミュニティによる学習とイノベーションの創出というプロセスとみなして分析を試みる。一般に「学習」による経験は、体化(embodied)されるものと体化されない(disembodied)2種類の異なる技術知識を創出するとされている。さらに、学習モードの観点からは、「協調(Collaboration)」や「外部化(externalization)」、学習システムの観点からは、「分割化(Decomposing)」「相互交換(reciprocating)」が学習過程の解釈に有効な分析概念であろう。これらの観点から、RFCの策定の過程における学習過程を検討する。

協調という観点では、大学などの研究機関の者と通信機器ベンダーの技術者が共同作業を実現してきた。また、技術文書を公開することは、インターネットの相互接続を円滑に実現するために必要不可欠であり、文書の策定に携った関係者

が、積極的にアイデアを公開した事実がある。研究者や技術者が、学会論文よりも未完成の段階でイノベーションを発表した。また、通信プロトコルは、機能が階層化され、ルーティング、アドレッシング、トラヒックマネージメント等、独立した技術分野がそれぞれの専門家達によって議論されていた。これらの観点から、インターネットのオープンな標準化の過程は、技術変化を積極的に促進し、新しいイノベーションの源泉の役割を演じてきたことが分かる。

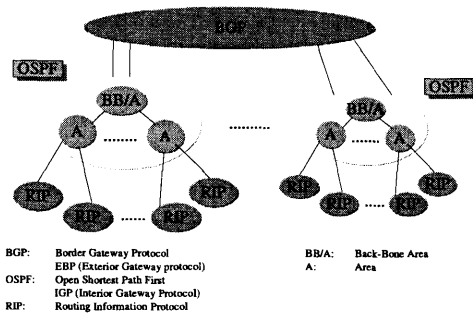
4. 要素技術毎の分析

本研究では、上述した観点から、インターネットにおける技術変化を分析する。一例として、個別の要素技術として、ルーティング技術に関して述べる。

ルーティングプロトコル

インターネットは、「自律分散」の原則のもとで運用されている。すなわち、通信プロトコルの観点からは、隣接する組織の窓口となる通信機（ルータ）との間で、自システムに所属するホストや経路情報等を相互交換しなければならない。ルーティングはこの機能を提供する。

ルーティング概念図



インターネット・ルーティング体系概念図

RFC の参照関係から読み取れるルーティングプロトコルの変遷を示す。ルーティングプロトコルは、ルーティング情報を交換する RIP 方式から、OSPF 方式が登場し、その一方で、RIP の新しい方式が考案された。あわせて、広域におけるルーティング情報管理が、異なるサービスプロバイダ間で実施する必要性が生じ、BGP など EBP 外部ゲートウエーとの接続を実現するためのルーティング方式が誕生した。現在のインターネットにおけるルーティング体系の概念図を示す。

次に、ルーティングプロトコルのうち、OSPF と呼ばれる方式に着目して、RFC の参照関係見ると、次のような技術的変遷が見られる。OSPF は、ルーティングプロトコルの内 IGP に位置する。IGP とは、単一の管理機構内で動作するゲートウェイプロトコルに属する。OSPF は、SPF (最小生成木構成) アルゴリズムに基づくリンク状態プロトコルである。

RFC 番号 : 1131 (' 89) → 1247 (' 91) → 1583 (' 94)
→ 2178 (' 97) → 2328 (' 98)

これらの一連の文書の著者は、J. Moy 氏で、彼は一貫して IETF (Internet Engineering Task Force, RFC 策定の母体) におけるルーティング方式の検討委員会メンバーであった。所属は、Proteon 社、Cascade 社、Ascend 社と変遷しており、このことは、インターネット通信機器であるルータの設計と製作において、活発なベンチャー企業の関与と企業の再編成等が生じたことを裏付ける。

RFC1131 で OSPF 方式がはじめて登場した背景には、LAN (構内情報ネットワーク) の規模が拡大し、擁するホスト数が増大したことが挙げられる。ルーティングに生成木を利用することは、技術的なブレイクスルーであった。RFC1247 では、ルーティング先の状況をより細かく規定する内容となっている。また、RFC1583 では、仮想的な回線である Virtual Link に関する問題点を解決している。これにより遠隔地にあるホストコンピュータを同一 LAN 内に存在しているようにみならず機能であり、企業ユーザの利便性増大に寄与した。RFC2178 では、画像の放送型の配信など「マルチメディア」アプリケーション配信機能であるマルチキャスト機能を追加した。これは、放送のデジタル化の基でのデジタル動画像 (MPEG1 など) の放送型配信を想定している。RFC2328 では、ルーティング情報のセキュリティに関する規定が加わった。

5. むすび

RFC を利用してインターネットの通信プロトコル技術に関する技術軌道を分析している。技術内容に踏み込んだ分析を行うことで、情報通信技術の技術変化に関して、より詳細な分析が行えることを期待している。

謝辞

ひごろご指導を賜ります東京大学名誉教授、芝浦工業大学工学マネジメント研究科長、児玉文雄先生に感謝申し上げます。

文献

- [1] G. Dosi, "Technological paradigms and technological trajectories", Research Policy 11(1982)147-162
- [2] Janet Abbate, "Inventing the Internet", MIT Press, 1999
- [3] David C. Mowery (2002). "Is the Internet a US Invention? - an Economic and Technological History of Computer Networking", Research Policy, 31(2002), 1369-1387.
- [4] 藤井章博、玄場公規「ネットワークデファクトスタンダード」宮城大学紀要、2001年
- [5] <http://www.rfc-editor.org/rfc.html>