

# 技術文書に見る インターネット要素技術の動向

藤井 章博

## 概要

インターネット技術分野における RFC (Request for Comments) は、通信のための装置類に関する技術仕様やその運用方法などを定めた技術文書である。これを利用してインターネット関連技術のイノベーションに関する計量書誌学的考察を試みる。まず、RFC の年次採択数の変化を分析し、インターネット発達史上のイベントが採択数に反映していることを確認した。具体的に幾つかの要素技術を取り上げ、その要素技術の注目度合を文書の採択数により計測した。例えば、「OSI (開放型システム間相互接続)」や「ATM (非同期伝送モード)」など 80 年代から 90 年代にかけて注目を集めたにもかかわらずその後進展しなかった技術の推移が確認でき、議論の盛り上がりと収束が観察できる。また、最近の RFC の分析結果からは、セキュリティ分野の技術および通信トラフィック量の増大への対処技術に関する検討が増大している。現在でもイノベーションを生み出す努力が続けられていることがよく観察でき、特許や論文同様、インターネット技術に関する計量書誌学的分析の対象として有効であることが分かった。

**キーワード：**インターネット, RFC, 計量書誌学, 統計処理

## 1 はじめに

計量書誌学的な研究では、特許や論文など一定の形式に基づく記述がなされた文書をその計測単位として用いる。インターネット技術分野において、通信のための装置類に関する技術仕様やその運用方法などを定めた技術文書として RFC (Request for Comments) とよばれる文書 (以下「RFC」) がある。RFC の解析によって、インターネット関連技術分野の動向をある程度把握できる。そこで本稿では、RFC における要素技術を表現する用語の出現回数や引用関係、著者・作成者の所属等を調査することで、インターネットを構成する通信機器の構成、情報伝送や表示のための表現形式などに関する計量書誌学的分析にもとづくインターネットの技術動向の把握を試みる。

## 2 RFC の成り立ち

### 2-1 歴史的経緯

1960 年代の中盤、インターネット開発の黎明期にこの文書の策定と公開が始まった。米国国防総省は、後にインターネットの母体になる ARPANET 研究プロジェクトをいくつかの大学と開始した。そこで利用される通信機器の実装方法や運用形態に関して、プロジェクトに参加する研究者間で取り決めが必要になる。そこで、技術的な内容に関する事柄を公開し、「意見募集 (Request for Comments)」という形で公開した。これが、初期の RFC の起源である。その後、より洗練された手続きが確立され、インターネット関連技術全般に渡って各種要素技術の仕様を表す文書としての性格を持つに至った。

一連のRFCを策定するのは、IETF (Internet Engineering Task Force) と呼ばれる団体である。これは、インターネット技術の標準化を推進する任意団体である。インターネットの黎明期に非公式な形で設立され、1986年にインターネットの運営を司る団体によって、正式に設置された。IETFは、技術仕様の保存、公開をこのRFCによって行ってきた。特許や学术论文と比較すると内容や形式には特に制限はない。扱われる技術は、通信プロトコルやコンピュータでの蓄積や通信時におけるファイルフォーマットやその運用方法などが対象となる。

文書が正式な通番を得て採択されるまでには、注目する要素技術に関する仕様が草稿として提出された後、製品化や改良の観点から研究者・技術者が活発な議論を行う。一定の議論を経た後、参加したメンバーの投票により一定以上の承認を得たものが採択に至る。

## 2-2 文書の種別

RFCは、一つ一つが同じ重みをもって、新規要素技術の記述を行っているわけではなく、「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化過程』というプロセスで処理されているRFC、つまり『インターネット標準』を形成する文書群およびその候補

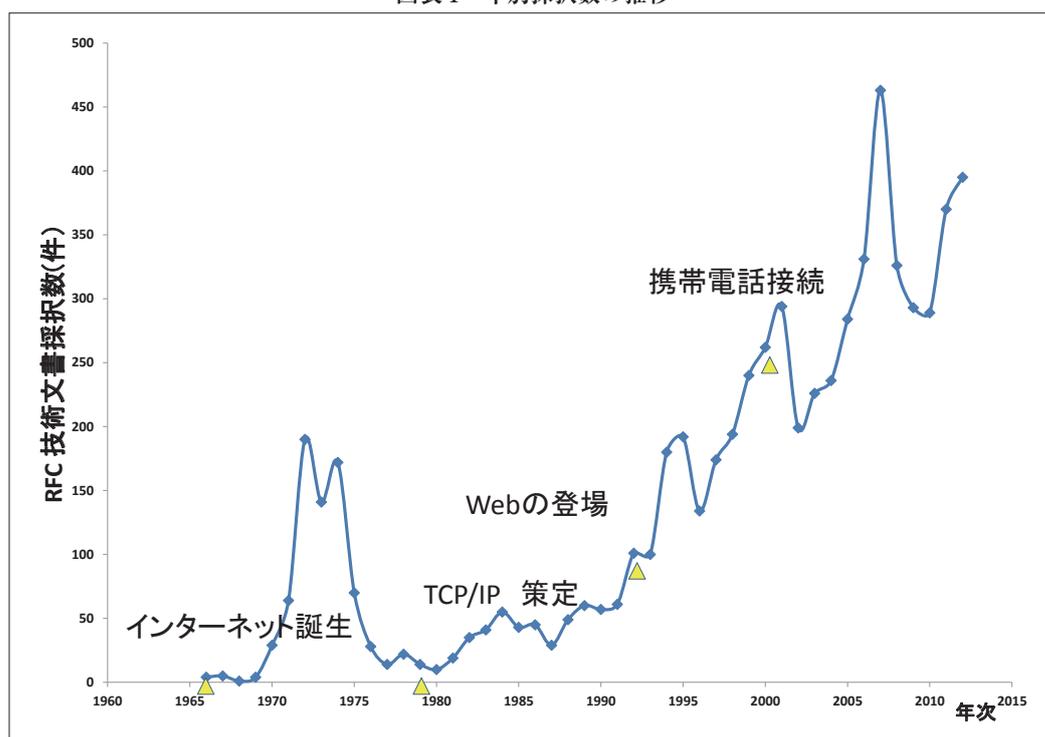
となる文書群を指す。この標準を定める文書はその標準化過程における段階に応じて3種類の文書が規定されている。標準化への提唱 (PS: Proposed Standard)、標準化への草稿 (DS: Draft Standard)、標準 (STD: Standard) の3つである。一方「その他の文書」に分類される文書標準化過程として処理されていないRFC全般が含まれている。これらを現状では、①情報 (Info: Informational)、②実験 (Exp: Experimental)、③歴史 (Hist.: Historical)、④現状 (BCP: Best Current Practice) の4種類に分類して管理している。

## 3 分析結果の全体像

イノベーションのダイナミクス (動態過程) を検証するための分析概念として、「ドミナント・デザイン (支配的・汎用的な製品設計)」と呼ばれるものがある<sup>6)</sup>。これを計測するための基本的な手法として、対象分野に参入する企業数を指標とし、時系列上で企業数が減少傾向を見せた時点で、対象分野の製品に関してドミナント・デザインが確立すると考えられる。

RFCとして通番が付与された形で公開されることを目指して、技術者のコミュニティに提出され、これに成功した文書は、一つ一つが何らかの要素技

図表1 年別採択数の推移



出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

術に関する記述がなされている。このことは、RFC が特許同様に、書誌学的な計測の単位として、インターネットに関する技術を俯瞰するための指標として有効であることを示していると考えられる。

(1) 年次別採択数による分析

RFC の統計的性質の全体的傾向を把握するため、図表 1 に採択文書の年次別の採択数の推移を示す。現在、採択総数は、7000 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。すなわち、RFC は、インターネット関連の要素技術の変遷をよく記録しているデータベースであるとみなすことができる。

この図から、インターネットは枯れた技術の体系ではなく、現在でも多くの技術者・研究者からの要素技術に関する提案を受け、それを採択するまで議論・検討を行うという努力が続けられていることが分かる。

次に、過去の年次別の採択数を見ると、1970 年代に採択数の最初のピークが表れる。これは、インターネットにおける通信規約（プロトコル）の基本である TCP/IP と呼ばれる一連の要素技術に関する取り決めがこの時期に集中して起こったことに起因する。この時期、TCP/IP 以外にも汎用の通信規約の候補が存在した。例えば、HDLC (High Level Data Link Control) はその代表であり、研究室レベルではそれを基礎として多様な発展系が研究されていた。しかし、1970 年代の前半に活発であった議論は、75 年ごろには一旦落ち着きを見せている。これは、いわゆる「ドミナント・デザイン」を形成

していると解釈できる。つまり、この時点で、広域情報ネットワークを実現するため通信規約に関して一定水準の体系—この場合は、TCP/IP プロトコル・スイートと呼ばれる体系—が確立したとみなすことができる。

また、1992 年ごろを境に採択数が急激に増加している。この年は、インターネットが学術利用目的に限定した状態から商用利用に開放された年である。また、このころインターネットを利用した「ホームページ」、WWW (World Wide Web) の利用が始まる。こうした要因によって、一旦落ち着いた採択数は増大してきた。

(2) 近年の採択文書タイトルの高頻度語彙

次に、ごく最近の RFC では、どのような技術について主に検討されているのか簡単に検証した。ここでは、TF (Term Frequency: 語彙の出現頻度) にもとづく簡便な分析結果を示す。統計ソフトとして「R」を、用語の解析のためのプラグインソフトとして「RMeCab」を利用した。

まず、6001 番 (2010 年 10 月採択) から 7084 番 (2013 年 11 月採択) を対象に、タイトルのみの TF 値の高い語彙の中から、技術動向を如実に表現していると考えられる語彙を筆者の判断に基づいて抽出し、図表 2 にまとめた。

ネットワークやサイトにおけるセキュリティのための要素技術、そしてネットワークの通信量が増大を続けていることから通信容量の大規模化への対応が目につく。例えば、Multi-Protocol Label Switching (MPLS) とは、IETF が標準化を進めて

図表 2 タイトル文中の TF の高い語句 (RFC6001-RFC7084)

No.	語彙	内容	頻度
1	MPLS	高速通信のための交換機技術	36
2	Security	安全性、セキュリティ	32
3	Authentication	認証	31
4	RTP	高速の転送プロトコル	31
5	Multicast	一対多通信	20
6	Cryptographic	暗号化	17
7	Mobile	モバイル	15
8	Congestion	輻輳	10
9	RTCP	高速の転送プロトコル	10
10	Certificate	認証	10
11	Elliptic	楕円 (楕円鍵暗号の名称の一部)	10
12	Kerberos	ケルベロス (認証方式の名称)	10
13	GMPLS	1 の「MPLS」の改良形	10
14	vCard	名刺アプリケーション	8

出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

いる、ラベルスイッチング方式を用いたパケット転送技術のことであり、フレームやパケットの前方にラベルと呼ばれる識別子を付加して転送を行うことにより、通信の高速化や機能の付加を図る技術である。現在インターネットで主流となっている、ルータを用いたパケットリレー式のデータ転送を、より高速・大容量化する技術である。

## 4 個別の要素技術に関する分析

### (1) OSI に関する分析

各 RCF 文書に対して用語の出現頻度を計測し、インターネット分野の具体的な技術の動向が明らかになるかどうかの検証をおこなった。OSI (Open Systems Interconnection: 開放型システム間相互接続) とは国際的に定められた通信規約の標準の体系を意味する用語である。OSI の取り組みは 1977 年に ISO で開始され、参照モデルが国際規格になったのは 1984 年 (ISO 7498-1984) である。OSI では、すべてのネットワーク機器に採用されることを目標として開発が進められたため、一時期は、相互接続ネットワークの protocols として勢力を広げていた TCP/IP と競合する関係にあった。RFC のなかに、OSI に関する議論の過程を見て取れる。

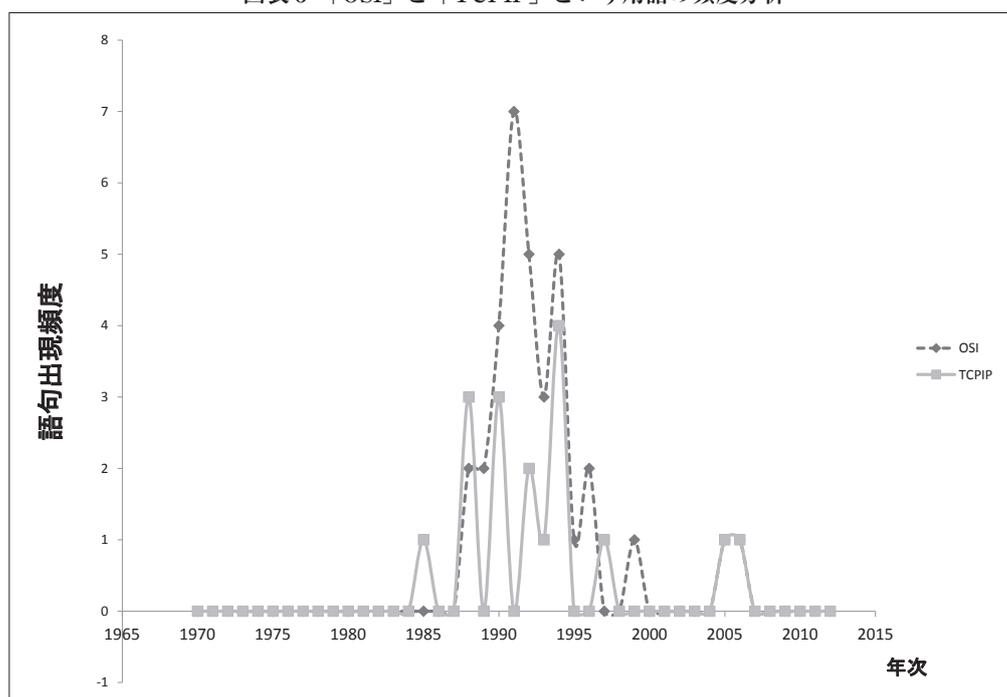
図表 3 は、技術文書中に出現する「OSI」という

用語と「TCPIP」という用語の比較を行っている。「OSI」が通信規約の体系であるのに対して、TCP と IP はそれぞれ個別の通信規約の名称である。そこで、「TCPIP」という形で二語を連続させた語句は、OSI に対して「TCP と IP を核とする通信規約の体系」を意味している。なお、「TCPIP」は、一般的な表記である「TCP/IP」という通常の見出しから「/」を除いて統計処理を施した。

図表 3 から、「OSI」と「TCPIP」を文書中に含む RFC の数が 80 年代の後半から上昇し、90 年代前半にともにピークを向かえ、2000 年ごろには、落ち着いている。このことから、80 年代後半から 90 年代にかけて、これらの 2 つ通信規約の体系についての検討が盛んに行われてきたことがわかる。結果的には、OSI は国際標準として広く普及するには至っておらず、1980 年ごろ RFC に採択された TCP/IP の体系が、インターネットの標準プロトコルとして広く普及し、実質的な業界標準となっている。

ISO が国際ネットワークの protocols を目指し、各国の正式な代表が集まって協議するのに対し、IETF は国際ボランティア団体でインターネット技術者のルーズ集団である。技術標準化の特徴も ISO がトップダウンに対し、IETF はボトムアップに規格が決められる。つまり ISO が国やメーカーの意見を重要視している一方で、IETF は実際に作っている技術者サイドが中心になっている。利便性や機能性を求めると、技術者サイドの規格に合わせた方が、効率が良くなる。これらの事柄が、

図表 3 「OSI」と「TCPIP」という用語の頻度分析



出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

業界標準が OSI から TCP/IP へ移行した理由である。OSI を世界標準の通信規約として成立させようという努力が、このような結果になった点に関しては、すでに多くの論考が存在する。かいつまんで述べれば、OSI の開発に時間がかかりすぎたことや、できあがった仕様が複雑であったことなどが原因にある。ISO には世界中の標準化組織がメンバーとして参加しており、そのメンバー全員の同意を得るには、OSI の完璧な仕様を作成しなければならないうえに、(各メーカーや団体間の) 政治的なかけひきや利害関係なども絡み合い、その作業には多くの時間が必要であったからである。TCP/IP は、標準化作業によって上から制定された OSI 参照モデルに対して、デファクト・スタンダード(事実上の標準)であると言える。

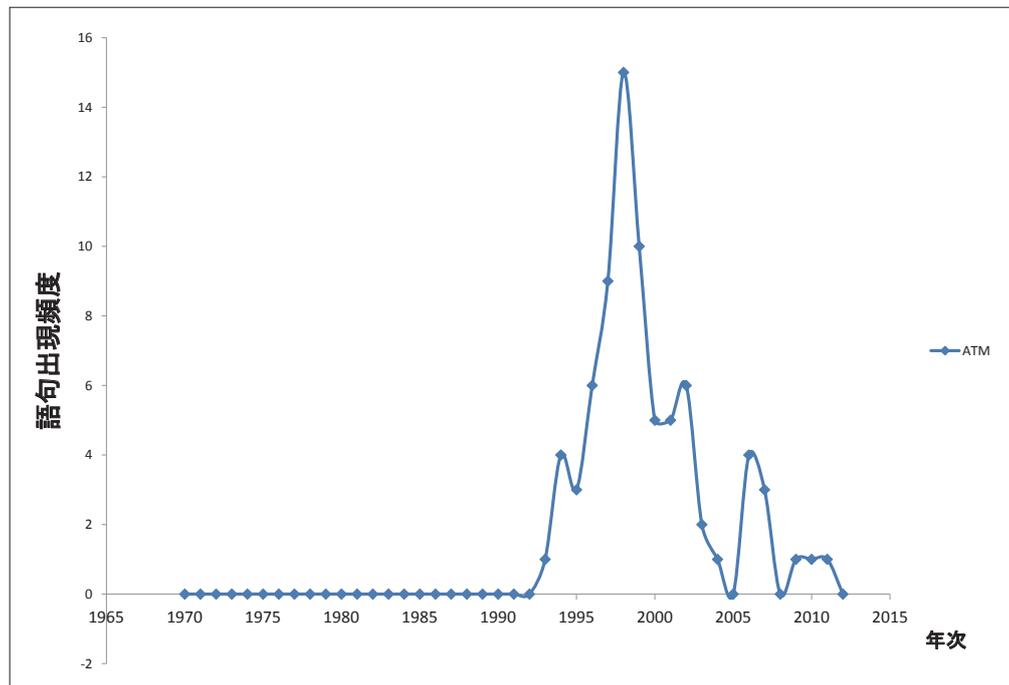
## (2) ATM に関する分析

次に、パケット交換方式として 90 年代前半に盛んに検討された ATM 方式 (Asynchronous Transmission Mode: 非同期伝送方式) は、その後のやってくるマルチメディア通信を実現するため

の要の技術ということで期待された通信方式である。

インターネット上の通信を支える交換機器は、呼び方は様々であるが、大別すると、通信網の基幹を成す大規模なバックボーンルータとその周辺のエッジルータという 2 種類に分類できる<sup>7)</sup>。ATM 方式は、エッジルータの技術としては普及しなかったが、バックボーンルータの技術としては普及している。図表 4 を見ると、「ATM」という用語は、90 年代初頭から 10 年間の間に議論の対象となった。92 年にインターネット商用接続が開始され、同時期に WWW の利用が始まった。そのため、急速にインターネットを利用する通信量が拡大した。その過程で、バックボーンルータの技術革新は重要であり、90 年代から 2000 年代初頭のピークは、そうした状況を反映した検討の跡であると考えられる。バックボーンルータは、大規模な通信網設備を運営する通信キャリアなどに特化した技術分野であるため、2000 年代の初頭以降は、IETF への参加メンバーが議論する RFC の対象から外れていったと考えられる。

図表 4 「ATM」という用語の頻度分析



出典：法政大学理工学部ネットワーク応用研究室にて作成

# 5 まとめと提言

## 5-1 分析のまとめ

通信規約の技術者・研究者の間では、本稿で取り

上げた、「OSI」と「ATM」は、ある種のイノベーションでありながら様々な要因によって登場以後成長しなかった要素技術、と位置づけられている。本稿では、これらの要素技術を取り上げて、関連する RFC の採択数という基本的なデータをもとに検証を試みた。これらの要素技術は一定の期間後に、インターネット技術者のコミュニティにおける興味が

失われていることは明確である。その理由にまで立ち入ると、個別の要素技術には独自の背景が様々な存在しており、単純に文書数だけで議論することは危険である。しかし、本稿で説明した語彙の頻度分析に基づく計量書誌学的手法が、イノベーションのダイナミクスに対する第1次の近接を与えてくれることには異論がないだろう。

や論文に加えてRFCのような技術文書が有効な指標を与えると考えられることから、今回の定量的な分析結果をもとに、より詳細な検討が必要である。そして得られた結果は、専門家が技術動向を検討する際の有用な情報となる。

また、「R」などオープンソースの統計解析ソフトウェアが普及し、計量分析のためのツールが充実しており、Twitterなどのソーシャルネットワーク上での人々の言動を解析することも可能になっていることから、本稿で述べたような分析手法とその結果は、科学技術予測など技術動向の検討に際して、有効であると考えられえらる。

## 5-2 科学技術政策上の提言

科学技術政策における技術動向の調査には、特許

## 参考文献

- 1) RFC データベース : <http://tools.ietf.org/rfc/>
- 2) 山田英夫 (1997) デファクトスタンダード, 日本経済新聞社
- 3) 児玉文雄編, 「技術潮流の変化を読む」日経 BP 社, 2008 年
- 4) L. ライデスドルフ, 「科学計量学の挑戦」玉川大学出版部, 2001 年
- 5) Janet Abbate, "Inventing the Internet", MIT Press, 1999
- 6) J. M. Utterback, Mastering the Dynamics of Innovation, HBS Press, 1994
- 7) 藤井章博, 「インターネットルータの技術動向」, 科学技術動向 2003 年 12 月号

### 用語集

ATM : Asynchronous Transfer Mode 非同期伝送方式、高速に大量の通信を行うための一方式。  
 IETF : Internet Engineering Task Force インターネット技術の標準化を推進する任意団体  
 ISO : International Organization for Standardization 国際標準化機構  
 MPLS : Multi Protocol Label Switching ルータによるパケット転送処理の高速化を実現する技術  
 OSI : Open Systems Interconnection 開放型システム間相互接続、ISO が定めた通信規約の体系  
 R : 統計処理用プログラミング言語  
 TCP / IP : IETF が RFC によって定めた TCP と IP を核とする通信規約の体系

## 執筆者プロフィール



### 藤井 章博

法政大学理工学部応用情報工学科 准教授

工学博士。分散コンピューティングと通信プロトコルの研究に従事した後、電子商取引システムの構築プロジェクトを実施。現在、情報通信技術のイノベーションが経営や政策に与える影響に興味を持つ。