# GLOCOM Review

Volume 5, Number 12 December 2000

今号の内容

レポート:光ネットワーク構築へのカナダ・モデル ...... 土屋 大洋、山田 肇、アダム・ピーク

2000 年 12 月 1 日発行 (第 5 巻第 12 号通巻 59 号 )発行人 公文俊平 編集人 土屋大洋発行 国際大学グローバル・コミュニケーション・センター<br/>Copyright (C) 2000 Center for Global Communications

GLOCOM Review は、国際大学グローバル・コミュニケーション・センター(GLOCOM)がその著作権を有するものであり、著作権法上の例外を除き許可なく全文またはその一部を複写・複製・転載することは法律で禁じられています。

# レポート:光ネットワーク構築への カナダ・モデル

土屋 大洋、山田 肇、アダム・ピーク

#### 目次

- 1. 次世代インターネットの先祖がえり
- 2. 「カオの法則」
- 3. カナダの挑戦
- 4. カナダ・モデルの適用

#### 要旨

光ファイバの伝送容量に関する「カオの法則」によれば、波長毎のデータ伝送速度を小さくし、代わりに多重数を上げたほうが有利であるという。これに従えば、次世代ネットワークの伝送容量はほぼ無制限といっていいくらいに確保されることになる。カナダの非営利会社 CANARIE はそうしたほぼ無制限の伝送容量の時代が来ることを前提に、ユーザが共同で光ファイバを管理するという「コンドミニアム・ファイバ」の概念を打ち出し、新しいアプローチで次世代の光ネットワーク構築を目指している。CANARIE のイニシアチブは、国家レベルの研究教育用バックボーンである CA\*net 3 や州レベル、コミュニティ・レベルのネットワークにも採用され、大きな成果を上げつつあり、カナダ・モデルというべき姿を提示している。

# 1. 次世代インターネットの先祖がえり

21世紀初めの数年におけるインターネットの姿がおぼろげながら見えてきている。IT戦略会議は2005年までに米国を追い抜かすネットワークを日本に構築するという「e ジャパン構想」を打ち出した。しかし、おぼろげながら見えてきた次世代インターネットが本当に IT戦略会議が描いたビジョンのとおりになるかどうかは疑ってかからなければならない。あまりにも速くインターネットの世界は動いており、2005年のことを2000年に予測するのはきわめて困難であり、現実味を欠いたものにならざるを得ないからである。

我々が不確かながらも予想できるのは 2001 年のうちに何が起こるかということであろう。「2001 年はブロードバンド元年になる」、「2001 年は光ネットワーク元年になる」といった声が 2000 年末になって聞かれるようになってきた。「ブロードバンド元年」というのは、ISDN を上回るスピードの ADSL (非対称加入者線)サービスやケーブルテレビのネットワークを使ったケーブル・モデムによるインターネット・アクセスが現実のサービスとして次々とロールアウトしてきたことに由来している。そうしたサービスの多くは6千円から7千円程度の定額で、都心部を中心に展開されるようになってきた。また、NTTと有線ブロードネットワークスがそろって 2001 年春から FTTH (ファイバ・トゥー・ザー・ホーム)サービスを提供すると発表し、いよいよ家庭のユーザが光ファイバにアクセスできるようになる見通しとなったために「光ネットワーク元年」という言葉が使われるようになってきている。

こうしたサービスには、一般的には大きな需要があると期待されているが、いまだ未知数であることも否めない。NTTのサービスが「実験」となっているのは、技術的な問題もさることながら、サービスとしてペイするかどうかという点に疑問が残るからでもある。

本レポートでは、次世代の光ネットワークの可能性を示唆する「カオの法則」と、カナダの CANARIE が取り組むネットワークの光化を紹介する。カナダの取り組みは、「透明な、見通しのいい」インターネットへの回帰、ピア・トゥー・ピアへの「先祖がえり」といえるだろう。つまり、もともとピア・トゥー・ピア思想で作られたインターネットが、いったんその商業化に伴って複雑なネットワークへ進化したが、その多様化から一転して光化への収束を開始するという先祖がえりが見られるのである。

# 2. 「カオの法則」

# 2.1「カオの法則」

半導体チップの世界で有名な法則(経験則)として、新しく開発されるチップの能力が、18~24カ月毎に、それ以前の最新チップの約2倍になるという

「ムーアの法則」がある。これに対し、今後光ファイバの世界で知られるようになるかもしれないのが「カオの法則(Cao's Law)」である¹。「カオの法則」がはじめて登場したのは、『ギルダー技術レポート(Gilder Technology Report)』というレポートの中であった²。このレポートは、ジョージ・ギルダー(George Gilder)が社長を務めるハイテク関連の投資顧問会社、ギルダー技術グループ(Gilder Technology Group)が有料で発行しているレポートである。

「カオの法則」を主張しているのは、米国のアヴァネックス(Avanex)社でCTO(Chief Technology Officer)を務めるサイモン・カオ(Simon Cao)である。この会社は、波長多重方式の光伝送に使用する装置類を製造・販売している。

波長多重方式の光伝送技術とは、一本の光ファイバの中に異なる波長を持つ複数の光信号を伝送させることで伝送容量を大きくする技術であって、近年、米国を中心に実用に供されるようになった。この技術では、波長毎のデータ伝送速度(ビット/秒)に、何波長を利用しているかという多重度をかければ、光ファイバー本当たりの伝送容量が求められる。

この伝送容量を大きくするために通常試みられてきたのは、波長毎のデータ伝送速度を大きくするという方法であった。例えば、シスコ・システムズ(Cisco Systems)は10ギガビット/秒の128多重を製品化済みであるが、対抗するノーテル(Nortel Networks)は80ギガビット/秒で80多重というシステムを試作したという3。

これに対して、カオは「波長毎のデータ伝送速度を小さくし、代わりに多重数を上げたほうが有利である」と主張している。この主張を、ギルダーらがレポートの中で「カオの法則」として取り上げたのである。

(データ伝送速度)×(多重度)という式では、第一項を大きくするかわりに第二項を小さくしても、その逆をしても、積の値は変わらないように思える。ではなぜ、カオは、第一項を小さくすることを主張したのだろうか。

それには、光非線形効果が関係している。光伝送技術の歴史は、データ伝送速度向上の歴史であった。データ伝送速度は過去20年間にわたって向上してきたが、すでに限界に達しつつある。それは、半導体レーザーや受光器といった電気部品は、これ以上の高速動作がむずかしくなってきたからである。

しかし、それでも、半導体レーザーを強い電力で強引に高速変調して、高出力 光を光ファイバに投入し、感度の下がった受光器で信号を検出するという構成が できないわけではない。実際、10 ギガビット/秒前後では、そのようにしてき た。けれども、これ以上の高速化では、高出力光を使うことで発生する光非線形 効果が無視できなくなる。

光非線形効果は光強度の二乗に比例し、光ファイバの場合、入力した光よりも周波数が低い、すなわち波長の長いストークス光を発生する誘導ラマン散乱という効果が有名である<sup>4</sup>。この現象が発生すると、波長多重方式の場合には、短い波長の光で送信したデータが長い波長の側にノイズとして出て、伝送効率を低下させる。そこで、むしろ光非線形効果がでないような低いデータ伝送速度を利用し、その代わりに多重度を上げる構成にする方がよいというのが、カオの主張の根拠である。

#### 2.2 逆に動いていた理由

光非線形効果に着目して、その悪影響が出ないように波長多重方式を利用しようというカオの主張は、基本的には正しい。それでは、なぜこの業界では、ノーテルの例にあるような高速データ伝送速度の波長多重方式の方が多く試みられているのであろうか。

それには、いくつかの理由が考えられる。今まで、光を一つだけ光ファイバに入れる単波長方式で、データ伝送速度を上げようと努力してきた技術者にとっては、伝送速度を落とすことは盲点であったというのが、第一の理由であろう。たとえば、NTT の場合、400 メガビット/秒方式の現場試験が1981 年、1.6 ギガビット/秒方式が1986 年、その後、1991 年に10 ギガビット/秒方式の現場試験というようにデータ伝送速度が向上してきた5。技術開発を競争してきた他社も、同様に、速度の向上を図ってきた。

波長数を増やすのに必要な部品がなかったというのが、二つ目の理由である。 波長多重方式では、たとえば、たくさんの波長を一本の光ファイバに集める合波 器や、光ファイバの出口で波長毎に信号を分ける分波器が必要である。また、波 長毎に半導体レーザーを揃えなければならない。だが、このような部品が、まだ 十分には揃っていなかったのである。

ところがアヴァネックスでは、1999年に80波の合分波装置を展示会に出品した6。その上、この装置は原理が単純なファブリペロ干渉計を利用しているので、さらに多重度を上げることが可能であると、同社は広告している。このことから、カオは宣伝のために「カオの法則」を主張していると見ることも出来よう。

このような合分波装置は研究開発の途上にある。たとえば、NTT は、アレイ 導波路回折格子型合分波器という技術を利用して、1,000 チャネルの合分波装置 を実現したと、先ごろ報道に発表したところである<sup>7</sup>。ファブリペロ干渉計は原理的に二分岐しか出来ないので、1,000 分岐の分波器を作ろうとすれば、直列に 十段を接続する必要がある。分波器を挿入すれば光は減衰するが、それが十段も重なれば、致命的な減衰量になってしまう。これに対してアレイ導波路回折格子型合分波器であれば、一気に 100 分岐をすることも出来るというのが、NTT 技術の要点である。

発振波長の異なる半導体レーザーを製作するには、クリーンルームの中での職人芸が必要であった。このような状況では、波長が少しずつ異なる1,000 個もの半導体レーザーを用意することは考えにくかった。しかし、最近では、波長可変形の半導体レーザーが市場に出回り始めている。米国の電気通信機器メーカーADC テレコミュニケーションズが2000年5月に買収したスウェーデンのアルティチュン(Altitun)は、波長制御部を発振部と同じ半導体上に形成した波長可変レーザーを、すでに販売している。また制御部を外付けにした構成の波長可変レーザーが、同じく米国のニュー・フォーカス(New Focus)から発表されている。。

このように部品が揃い出したので、今後、波長多重方式は「カオの法則」の方向に動き出すかもしれない。光ファイバには伝送損失の小さな波長領域がある。「カオの法則」に沿ってその領域をフルに活用すれば、爆発的に伝送容量が拡大

すると期待される。

# 2.3 ネットワークの構成法

ギルダーらのレポートが出色なのは、「カオの法則」を元に、将来のネットワーク構成法を考察したことである。

波長当たりのデータ伝送速度が1ギガビット/秒で、1,000 波長が一本の光ファイバに多重化されるようになり、一本の光ファイバ・ケーブルに1,000 本の光ファイバが収容されているとすると、ケーブル全体の伝送容量は1ペタビット/秒になる。このケーブルの豊富な伝送容量を使用するには、二つの方法が考えられる。

一つは、小さな通信ニーズを1ペタビット/秒まで積み上げる方法である。しかし、そのためには、信号を多重化するための電気回路が複雑になり、また「交換」の処理が必要になる。

第二の方法は、ある光ファイバ内のある波長はAとBの接続、次はAとCの接続というように、接続関係を固定してしまう方法である。この方法では、A-B間に情報が流れていない時間は、その部分が無駄使いされていることになるが、どのみち伝送容量が潤沢なので気にする必要はない。むしろ、「交換」処理を排除しただけ構成が単純化されて、将来性があるというのが、ギルダーらの考察であった。つまり、1,000 波長×1,000 ファイバを、あたかも 100 万本の独立した伝送路のように使用しようという考え方である。

パケット通信は、伝送路が稀少な時代に、会話やデータ通信につきまとう空白時間を、他に利用するために考え出された技術である。第二の方法が採用されれば、このパケット通信も不要になると、ギルダーらは言う。

ところで、光ファイバを用いた次世代ネットワーク構築で注目を集めているのがカナダの CANARIE である。CANARIE が管理・運営する CA\*net 3 は、バックボーンとしての光ファイバだけではなく、ORAN (Optical Regional Area Network)と呼ばれる地域ネットワーク、ローカルの CAN (Community Area Network)にも積極的に光ファイバを取り入れていこうとしている。

カナダのネットワーク・エンジニアや政策担当者たちは、すでに光多重によるあり余る伝送容量を想定したネットワークの構築とその利用を考え始めている。それは、「カオの法則」の妥当性がより広く認知された世界での取り組みとなるだろう。以下では、CANARIEの取り組みについて見ていこう。

# 3. カナダの挑戦

# 3.1 CANARIE の取り組み

CANARIE とは、1993 年に設立された民間主導の非営利団体で、政府、業界、 学界などと協力しながらカナダにおけるインターネット発展を促進することを目 的とした組織である。主な資金はカナダ産業省(Industry Canada)から支出され、200以上の研究開発プロジェクトをサポートしている。

2000年11月28日と29日、カナダのモントリオールにおいて第6回の CANARIE 先進ネットワーク・ワークショップが開催された。今回のワークショップのテーマは「ネットワーク国家 (The Networked Nation)」であり、全ての学校、家庭、オフィスがブロードバンド・ネットワークでつながれたような真のネットワーク国家をいかに実現するかということであった。冒頭挨拶に立ったビエリング (Andrew Bjering) CANARIE 社長は、「第二のインターネット革命」が起きようとしており、それは全てを変えていくだろうと述べた。

第一のインターネット革命とはインターネットの登場そのものであり、第二のインターネット革命とは複雑に入り組んだネットワークが光ファイバによるブロードバンド・ネットワークとして再構成され、すっきりした見通しのよいインターネットに生まれ変わることを意味する。それは、LAN(構内通信網)とWAN(広域ネットワーク)の間にあった境界が徐々に無くなっていき、インターネット草創期のようなLANとLANのつながりへと戻っていくことにつながる。その結果、大きなISP(インターネット・サービス・プロバイダー)が支配するインターネットではなく、ユーザが自らコントロールするインターネットになる。

今回のワークショップで多くの報告に共通して見られたのは、「ユーザ主導のネットワークをいかに構築するか」ということであった。もはや通信事業者や ISP がコントロールするようなネットワークの時代ではなく、ユーザが自らコントロールするようなコミュニティ・ネットワーク、さらには自ら所有するようなネットワークの構築がすでに視野に入りつつあるようであった。

そして、それは米国流の競争万能型のアプローチではない。CANARIE が構築している CA\*net には政府が資金面や運用面で限定的ながらも重要な役割を果たしてきた。事業者の競争に任せていれば、利益の見込めない地域ではいつまでたっても先進的なサービスの展開を見込めない。そうした地域にもサービスを提供するために政府や非営利組織が重要な役割を果たしえることがカナダを初めとする事例で示されていた。

CANARIE が触媒となって湧き起こってきた様々な動きは三つのレベルのネットワークに影響を及ぼしている。第一に、国家規模のバックボーンのネットワークである。カナダの CA\*net 3 や米国のインターネット 2 がその例である。

第二のレベルは、「ORAN (Optical Regional Advanced Network)」と呼ばれる、主に州単位のネットワークである。例えば、ニューファンドランド、プリンス・エドワード島ではギガビットイーサー・オーバー DWDM のネットワークが構築され、ニュー・ブルンスウィックでは300万カナダドルの予算で三つの大学すべてをダーク・ファイバで結ぶプロジェクトが進められている。ケベックでは2001年の完成を目指して1,500キロメートルの光ファイバ・ネットワークが建設中であり、オタワでは30カ所を結ぶ自治体のダーク・ファイバが2001年春に完成する予定である。オンタリオでは、民間の光ファイバ・ネットワークですべての大学を結ぶというORIONプロジェクトが進行している。

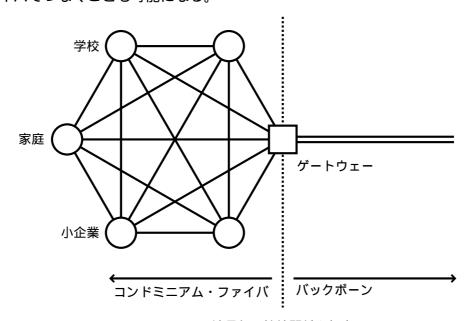
そして第三のレベルは、いわゆる「コミュニティ・ネットワーク」と呼ばれる

ローカルな単位のネットワークである。ここでコミュニティという場合、生活単位としてのローカル・コミュニティであり、こうしたコミュニティ・ネットワークの構築には、地域行政や学校、病院、図書館といった公共施設が中心的な役割を担うようになってきている。

### 3.2 コンドミニアム・ファイバ

CANARIE のネットワーク構築においてカギとなる概念が「コンドミニアム・ファイバ」である。コンドミニアム (condominium)とは本来「共同主権、共同統治」という意味である。これが転じて米国やカナダでは分譲マンションも意味する。したがって、コンドミニアム・ファイバというとき、それはユーザが共同管理する光ファイバということになる。以下、CANARIE のネットワーク・プロジェクト上級ディレクターであるビル・セントアーノー (Bill St. Arnaud)氏の議論に従ってその可能性を見ていこう。

大学、図書館、学校、家庭にとって低コストのコンドミニアム・ファイバは、今日知られているような電気通信インフラを根底から変える可能性を持っている。ネットワークのコストを激減させ、「ユーザ主導のネットワーク (customer empowered networking)」の発展を可能にするからである。現在銅線でつながっているカナダのほとんどの学校を、DSL や T1 回線よりもはるかに安い価格の光ファイバでつなぐことも可能になる。



(波長毎に接続関係を規定)

図1 コンドミニアム・ファイバ

学校を光ファイバでつなぐということは、これらの学校の伝送容量コストを下げるばかりでなく、カナダの電気通信あるいは研究コミュニティにとってもあらたなビジネスと研究の機会を提供することになる。コンドミニアム・ファイバは、自律的なネットワークのピアリングというインターネット・モデルを光通信の領域にまで拡大することにもつながる。それは、光通信の世界の常識を覆すこ

とになる。なぜなら、光のスイッチングと波長のルーティングは単一のキャリアーがコントロールする「接続サービス」であるという前提が通じなくなるということを意味するからである。代わりに登場する未来の電気通信インフラは、ユーザが所有する無数のコンドミニアム・ファイバでできており、そのネットワークは長距離の波長多重システム上で「ユーザが所有する」波長によって相互接続されている。「カオの法則」が現実化するのである。

こうした新しいネットワークは、通信事業者のビジネス・モデルを大きく転換させることになる。なぜなら通信のトラフィックを提供するというサービスが成り立たなくなることを意味するからだ。ユーザが共同管理するネットワークは常時接続となるので、通信トラフィックに応じた課金ができなくなる。事業者が利益を得ることができる分野は、物理インフラの敷設の請負とそのノウハウの提供、そしてネットワーク上での電子商取引やホスティングといった付加価値サービスの提供へと移っていくことになる。

トラフィックの増大とそれによる収益の拡大を当てこんで膨大な光ファイバを敷設している事業者にとっては逆説的だが、コンドミニアム・ファイバの考え方が普及すれば、事業者の引いたダーク・ファイバは開放しないと全く収益にならないことにもなりかねない。なぜなら、ユーザは自ら所有・管理する光ファイバを相互接続し、「交換・取引 (swap and trade)」し始めるからだ。つまり、自らのネットワークを他のユーザに無償で利用させる代わりに、そのユーザのネットワークを自分たちも無償で使えるようにするのである。そうすると、事業者が敷設してしまったダーク・ファイバは、ユーザに開放することによって初めて活用され、ビジネスチャンスへとつながっていくことになる。開放しなければ、いつまでたっても利用されず、「ダークな」ままになってしまう。

こうしたコンドミニアム・ファイバの前提になっているのは「あり余る伝送容量」である。自分のネットワークを他人に使わせることによって自分の利用に不都合が起きるようなネットワークでは、光ファイバの交換は起こらない。他人が自らのネットワークを使っても支障がないほど伝送容量があり余っているからこそそうしたことが可能になる。それに現実味を持たせているのが「カオの法則」が示す光ファイバの波長多重である。

#### 3.3 CA\*net 3から CA\*net 4へ

すでに述べたように CANARIE の設立は 1993 年にさかのぼる。CANARIE はカナダの高速インターネット・バックボーンとして CA\*net を構築した。CA\*net はその後順次アップグレードされ、CA\*net 2、CA\*net 3 となってきている。CA\*net 3 は 2002 年に契約が切れるため、次世代の CA\*net 4 に向けた構想が始まっている。

2000年11月のワークショップが開かれた前日の11月27日、カナダでは総選挙が行われた。その結果、リベラル派が大勝し、クレチェン政権が信任された。この結果についてメディアは厳しい批判を浴びせている。カナダ国民は目の前の問題を直視しておらず、いずれは米国に呑み込まれてしまうという議論すらある10。

しかし、この選挙結果は、CA\*net にとっては望ましいものだったようだ。 『NETWORK LETTER』誌によれば、クレチェン政権が勝利すれば2月に編成される予算において次世代情報通信ネットワーク研究に対する予算が増額され、 CA\*net 4 開発のための資金も確保されることになるからだ。予算規模は1億5千万カナダドル(約105億円)になると見られている11。

現在運用されている CA\*net 3 は図 2 のようになっている。カナダ西海岸のバンクーバーでは、米国西海岸やアジアへネットワークが接続されている。中西部ではシカゴで米国の STAR TAP に接続されており 12、東海岸から欧州へ接続されている。すでに CA\*net 3 はすべての州に接続されることが確実となった。 CA\*net 3 のトラフィックは 4 カ月ごとに倍増し、米国との接点となっているシカゴやニューヨークではすでに混雑が見られる。

CA\*net 3 を運用する CANARIE は、STAR TAP や SURFnet などと協力し、大西洋を横切る専用波長サービスも検討している。また、STAR TAP と連携して、「STAR LIGHT」と呼ばれる最初の「光 IX(相互接続ポイント)」を構築中でもある。

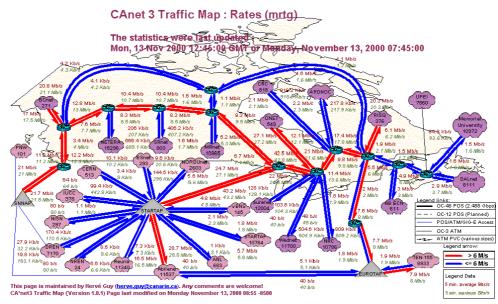


図2 CA\*net3のトポロジー(セントアーノー氏による)

CA\*net3への接続には、いくつかの条件を満たさなければならない。まず、CA\*net3に接続できるのはCANARIEが承認したギガPOPのみである。そして、承認ギガPOPを通じてCA\*net3に接続するすべての組織は、商業インターネットに別の回線でリンクしなくてはならない(2000年10月現在で17)。ギガPOPを通じてカナダ国内でCA\*net3に接続されている機関は200以上に上り、12のコミュニティ・カレッジ、80の大学、30の研究機関、10の商業研究機関が含まれる。今後はトロント教育委員会、アルバータ州の学校、ブリティッシュ・コロンビア州の学校なども入ってくる予定になっている。

すでに述べたように、CA\*net 3 は 2002 年に契約切れになる。そのため、CA\*net 4 への移行が課題となっている。セントアーノー氏によれば、CA\*net 4 の哲学は以下のようにまとめられる。

まず、研究・教育ネットワークとしてのCA\*net 4 は、新しいネットワーク・アーキテクチャと最新の技術を採用したものでなくてはならない。しかも、それは民間部門で行われている最先端の開発と重複してはいけない。つまり、商業利害の先を行くネットワーク技術の開発を行わなくてはいけないのである。しかし、あらゆるネットワーク・アーキテクチャは実際のユーザが実際のアプリケーションを使うことによって評価され、現実世界の問題を解決しなくてはならない。ただ単に実験のためのネットワークでは意味がないからである。

もう一つの哲学は、ユーザ自らがネットワークを管理するということである。多くの学校や大学、企業が自ら所有するダーク・ファイバを管理・運営する傾向が強くなってきている。今後ネットワークに接続する端末が増加し、ネットワークとそのトラフィックもまた増大するとしたら、果たして中央管理型のネットワークが十分に機能するのかという疑問が強くなる。そこで、ユーザが自らのパソコンを管理するように、ネットワークも管理することができないかというのが、CANARIEの発想である。より正確には、ネットワークのファイバだけでなく、ファイバの中を通る波長(wavelengths)さえも管理できないかということを考えている。自らのネットワークを管理できるように顧客を「エンパワーすること」は、パソコンが新しいコンピューティング・アプリケーションを使えるようにユーザをエンパワーしたように、新しいアプリケーションやサービスを可能にするのではないかと期待されている。それはP2Pネットワーキングやグリッドなど新しいネットワークのあり方を提示するようになるかもしれない。

そこには、ネットワークの考え方に関する前提の大きな転換が見られる。伝統的な光ネットワークは、中央が波長の管理・運営を行うというパラダイムの上に築かれている。それゆえに、セットアップのために端末を管理し、波長を切り崩さなければならない。

それに対し、ユーザ主導の光ネットワークはユーザが波長を所有し管理するというパラダイムの上に築かれている。ユーザがセットアップを管理し、自分と他のユーザの間で波長の切り分けとルーティングを管理する。こうしたネットワークはいまだ実現できていないが、どうやったらそれを実現できるかが CANARIE と CA\*net 4 の課題である。一つの考え方は、ユーザは、同じような考えをもつユーザの波長と取引・交換するのではないかというものである。つまり、自らが管理するファイバを開放する変わりに、他の人のファイバも使えるようになるというものである。こうした考え方が、逆にいえば、ピア・トゥー・ピアの光ネットワーキングとグリッドには不可欠になる。

つまり、CA\*net 4の目標は、末端のギガ POP がファイバと波長を管理・運営するネットワーク・アーキテクチャ展開することである。それには、コンドミニアム・ファイバとコンドミニアム波長が必要となる。CA\*net 4の具体的な目標は、以下の点にまとめられる。

(1)分散された光 IX で構成される全く新しいネットワークの展開が、ネットワークの末端のギガ POP に対して、ネットワークを横断する波長をセットアップし管理する能力を与え、専用波長と光クロス・コネクト上のギガ POP 間における直接のピアリングを可能にすること

- (2)QoS とグリッド・アプリケーションをサポートするギガ POP による波長 の確立が、真のピア・トゥー・ピアのネットワーキングを可能にするこ と
- (3)同じような考えをもつネットワークと直接ピアリングする波長の設定を 地域あるいはコミュニティのネットワークに可能にし、インターネッ ト・トランジットのコストを削減すること
- (4)そうしたネットワークに「光の」レイヤー3統合サービスを提供すること
- (5)カナダ全国に「通信事業者とは中立的な」分散的光インターネット交換設備を構築するために民間との協力を行うこと

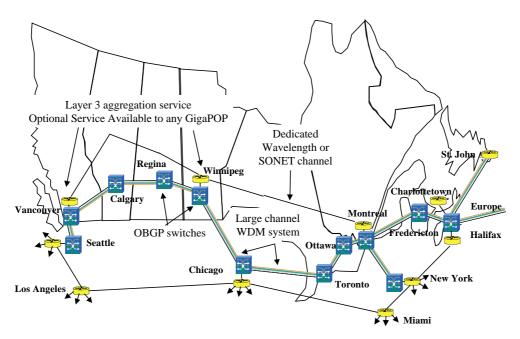


図3 CA\*net 4 の予想図 (セントアーノー氏による)

光ネットワークのクラウドを横断する光ルーティングとスイッチを管理するのは、通信事業者ではなくユーザであり、これは巨大ネットワークのスケーリングに関する挑戦への全く新しいアプローチとなるだろう。

現在、CANARIEが取り組んでいる技術的な課題がOBGP (Optical Border Gateway Protocol)である。一般にBGPとは、AS (Autonomous System)間で使われるために設計されたルーティング・プロトコルのことである。BGPはTCPのレベルで情報交換をしながら、各経路に優先経路を設定する。それによって、一つの自律システムとして位置付けされている組織間における接続可能なネットワークを制御するができる13。現在使われているBGPにはBGP3とBGP4の二つのバージョンがあるが、CANARIEは光のネットワークに対応したOBGPを作ろうとしているのである。

この OBGP は現在開発段階にあり、実用化はされていない。しかし、光スイッチの開発などとも呼応し、CA\*net 4 が実験段階に入るころには実用化されること

になるだろう。この OBGP ができると、張りめぐらされ、相互接続されたコンドミニアム・ファイバの網の中で、優先的に接続するネットワークとネットワークを指定できることになる。それは、ユーザが管理・運営するという新しいネットワークに対する CANARIE の思想と合致したものとなるだろう。

そして、この OBGP の考え方が、「カオの法則」を基にギルダーが論じた「1,000 波長×1,000 ファイバ = 100 万本の伝送路」の考えに符合する点が注目に値する。これが次世代ネットワークの一つのモデルとなるのではないだろうか。以下では、さらにカナダにおける地域ネットワークとコミュニティ・ネットワークの動向として、ケベックの RISQ とピール行政区の事例について見ていくことにする。

### 3.4 ケベックのバックボーンを担う RISQ

RISQ(Reseau d'informations scientifiques du Quebec:ケベック科学情報ネットワーク)はケベックに拠点を置く非営利会社であり、物理ネットワークの管理のほか、ネットワーク関係の組織の管理も行っている。ケベック・インターネット・エクスチェンジやマギル大学(モントリオールにある英語系で最大の大学)のネットワーク管理も行っている。RISQのネットワークはケベック州のバックボーンとしての機能を果たしている。

RISQ はファイバを交換することでネットワークを拡張させる戦略をとってきた。 商業ベースのダーク・ファイバも交渉で RISQ との相互利用(交換)を可能にするのである。ケベックの主要都市を結ぶ RISQ のネットワークは、総延長1,500 キロメートルを 300 万カナダドルで賄える見通しで、1 キロメートル当たり約 2,000 カナダドル(約 14 万円)に換算される。

CANARIE と RISQ は、オタワ・カールトン研究センター(OCRI: Ottawa Carleton Research Center)やオンタリオ州の ONet、地元の大学や研究機関と連携しながら、オタワ市のダーク・ファイバの展開にも取り組んでいる。現在のところ 61 万 5 千カナダドル(約 4,305 万円)かかると見積もられている。60 キロメートルに及ぶ光ファイバのネットワークは、病院や政府、研究機関、大学など22 の組織を接続し、それぞれの組織は少なくとも 6 本の専用ファイバ・ケーブルを持つことになる。各組織は初期費用として約 3 万カナダドル(約 210 万円)を支払い、年間維持費として毎年約 300 カナダドル(約 2 万 1 千円)を収めれば、今後 20 年間ほぼ無制限の伝送容量を確保することになる。主要な通信事業者のネットワークを管理する独立事業者がネットワークの維持を行う。10 ギガビットイーサーネット技術と CWDM(Coarse Wave Division Multiplexing)技術があれば、参加組織がそれぞれテラビットのネットワークを運用することも十分可能になる。

歴史的に見ると、RISQ はケベックにおける最初のインターネット・リンクであり、ケベックにおけるインターネット・サービスの発展に大きな役割を果たしてきた。RISQ は CA\*net 3 のケベック支局という役割も担っており、高速高機能研究ネットワークの開発にも従事している。

RISQ が管理する QIX(Quebec Internet eXchange)は、ケベックのインター

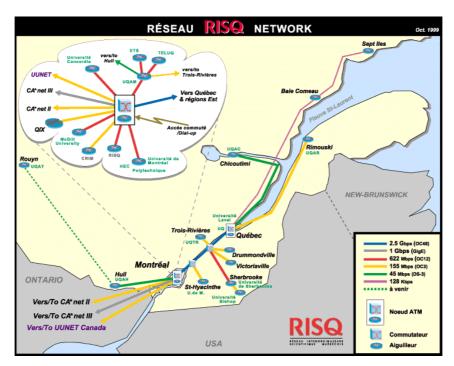


図4 RISQ のネットワーク <a href="http://www.risq.net/map">http://www.risq.net/map</a>

ネット・キャリアーがルーティング・テーブルとパケットを交換する場所であり、州レベルでの通信速度を最大化しようとするものである。シスコ 7260 の中央スイッチによって最短で接続できるようになっている。QIX に接続されているネットワークは独自のシステム番号を振られており、この番号に基づいて通信ルートが決められる。物理的な接続は ATM、イーサーネット、ファースト・イーサーネットなどで行われている。

あらゆる ISP が QIX への参加を認められているが、その条件として、そのプロバイダーが持つケベック内の全てのローカル・ルートを公開し、トラフィックを制限してはいけないことになっている。それは、中央スイッチがプロバイダーに転送するトラフィックをサポートするのに十分な伝送容量を持っていなくてはいけないということになる。接続にあたって初期コスト以外の運営コストはかからないが、各プロバイダーや事業者は各自のネットワークと QIX との間の物理的な接続を確保する責任を負わなければならない。 QIX に接続されているプロバイダーとしては、 RISQ のほか、 UUNet Canada、 Videotron、 COGECO、 QuebecTel、 MLINK、 Openface、 AT&T Canada - Metronet がある。

# 3.5 ピール行政区の自治体ネットワーク

オンタリオ湖をはさんでニューヨーク州と向かい合い、トロントに隣接するカナダのピール行政区(Region of Peel)は<sup>14</sup>、「ピール公的部門ネットワーク(Peel Public Sector Network: PSN)」という自治体ネットワークの構築に光ファイバを活用している<sup>15</sup>。ピール行政区は三つの郡(county)で構成されている。PSN はそこでの通信コストを削減し、行政サービスの改善を目指したものである。

ピール行政区は、区内300ヵ所を結ぶ最適のルーティングを考え、200キロ

メートルのファイバ・ネットワークを構築した。バックボーン部分には96本のファイバ・ケーブルが入っている。ファイバ敷設コストの90%は人件費のため、予測可能な需要を十分満たす容量が確保されている。バックボーン以外の部分では、12本から60本のファイバ・ケーブルが敷設されている。

ファイバの90%から95%は地上の電気の電柱に沿って設置されている。地方自治体当局が電力会社を所有しているために特別な交渉は必要なかったが、電力会社の民営化に際しても電柱への線路敷設権(right of way)は確保されている。5%から10%のファイバは地下に埋められているが、これは敷設コストが3倍から4倍になる。雪嵐でファイバが切断されることも考えて、保険がかけられている場合もある。通信品質は通信事業者が提供するものと変わらず、さらに必要があれば設備増強によって無限の伝送容量が保証されている。

PSN のユーザはピール行政区の三つの自治体、カレドン・タウン (Town of Caledon ) ブランプトン市 (City of Brampton ) ミシソーガ市 (City of Mississauga) である。各自治体は教育委員会や厚生委員会、消防署、学校、病院などがある。ただし、市民が直接使うことは認められていない。

PSN は公的機関なら参加することができるが、それぞれが使うネットワーク建設コストの半分を支出しなくてはならない。それぞれの組織は自ら建設したネットワークの所有権を有するが、他の組織がそれにアクセスすることを認めなくてはならない。接続にかかる初期費用と実費ベースの年間維持費は各組織が負担する。維持の原則は「自分の部分は自分で直す (fix what you own)」ということになっている。

PSN では電子メールから電子政府機能まであらゆるアプリケーションが利用可能になっている。トラフィック監視、ビデオ会議、遠隔教育なども可能である。

これまでの建設費用は750万カナダドル(約5億2,500万円)とされている。 すでに区内125ヵ所が接続されているが、その全てにT1回線を敷設したとする と年間250万カナダドル(約1億7,500万円)かかると見積もられているので、 3年で元が取れることになる。光ファイバによる通信のスピードはT1よりも速 いことを考えればもっと早くコストは回収できていることになるだろう。

# 4. カナダ・モデルの適用

本レポートでは、今後のインターネットをめぐる構想の一つとして、カナダの 光ネットワーク化を取り上げた。その前提となるのは、「カオの法則」が示すよ うな伝送容量の大幅な拡大である。CANARIE のイニチアチブは、国家レベルの バックボーン(CA\*net 3 や CA\*net 4 ) 州単位の地域ネットワーク(ケベックの RISQ ) さらにコミュニティ・レベルのネットワーク(ピール行政区の PSN)に 刺激を与え、拡大していっている。

カナダのネットワークの光化は、官民協調で行われている。通信事業者にインフラ建設と運営を任せていては、いつまでたっても高速ネットワークを導入できない地域があるという現実に対し、カナダはコンドミニアム・ファイバという答

えを出した。光ファイバの伝送容量がほぼ無制限といっていいくらいに拡大するならば、それを共同で管理し、他のネットワークと接続し、交換利用することによってコストを大幅に下げることに成功したのである。

こうしたカナダ・モデルは、日本にも適用可能であり、むしろ積極的に採用し ていいだろう。しかし、大きな問題は、縦割りの行政、縦割りの業界関係、硬直 的な官民関係が障害になるのではないかという点である。カナダ・モデルの要点 は、光ファイバをお互いに無料で使わせるという「交換(swap)」にある。これ はファイバの所有権や利用権を曖昧なものにしてしまう可能性がある。あくまで も法律的には契約が結ばれ、所有者は確定されているものの、現実にファイバを 流れるトラフィックは他人のものがほとんどであるということもありえる。従来 の通信のビジネス・モデルは、そうした他人のトラフィックに対して課金するこ とで成り立ってきた。それをお互いに放棄することでカナダ・モデルは成立す る。そこまで大胆な発想の転換を、通信事業者や自治体が取りえるかが問題とな るだろう。自治体は地域住民の税金で作ったものを他の地域の住民や民間事業者 にも開放するという決断をしなくてはならない。通信事業者は、トラフィックか らの収益が見込めなくなることで、付加価値サービスなどの分野への重点の移行 が求められることになることを覚悟しなくてはならない。これは、発想の転換と ともに、ネットワークをめぐるパワー・バランスが大きく変化するという点で、 CANARIE のビエリング社長が言うように「第二次インターネット革命」であ

カナダ・モデルは、市場メカニズムを重視する米国モデルとは大きく一線を画するように見える。しかし、米国内においても市場原理だけではブロードバンド・ネットワークにアクセスできない地域が数多く残り、カナダ・モデルを採用する動きも出てきている。カナダの今後の動向を注視すべきである。

土屋大洋(つちやもとひろ) 国際大学 GLOCOM 主任研究員・講師

> 山田肇(やまだはじめ) 国際大学 GLOCOM 客員教授

アダム・ピーク(あだむぴーく) 国際大学 GLOCOM 主任研究員

# 注

- 1 山田肇「『カオの法則』と技術動向予測」国際大学グローバル・コミュニケーション・センター月報『智場』第61号(2001年1月)。
- 2 George Gilder, Richard Vigilante, and Charles Burger, "Cao's Law," *Gilder Technology Report*, vol.V, no.10 (2000).

- 3 米田正明「開発競争激化する光通信技術 10G ビットが電気処理の限界 基幹ネットはオール光に」『日経コミュニケーション』2000 年 4 月 17 日、49 ページ。
- 4 電子情報通信学会編『改訂 電子情報通信用語辞典』コロナ社、1999年。
- 5 NTT 研究開発本部『電気通信研究所 45 年の記録』1994 年。
- 6 米田正明「新技術が目白押しの SUPERCOMM」『日経コミュニケーション』1999 年 6 月 21 日、70 ページ。
- 7 NTT フォトニクス研究所「大規模 1000 チャネル AWG を開発」2000 年 11 月 9 日。
- 8 George Gilder and Charles Burger, "The Tunable Telecosm," *Gilder Technology Report*, vol. V, no.12 2000.
- 9 < CAnet-3-NEWS@canarie.ca> における同氏の議論より。
- 10 "Time for an American Takeover," *The Globe and Mail*, December 1, 2000, p. A19.
- 11 "Liberal Election Win Will Likely Pave Way for \$150-million Internet Network," *NETWORK LETTER*, vol. 20, no. 18, November 20, 2000.
- 12 STAR TAP (Science, Technology, And Research Transit Access Point) は全 米科学基金 (National Science Foundation) の資金による科学研究用の ネットワークである。詳しくは <a href="http://www.startap.net">http://www.startap.net</a> を参照。
- 13 奥山徹「コンピュータネットワークの基礎と応用」<a href="http://www.dsl.ics.tut.ac.jp/">http://www.dsl.ics.tut.ac.jp/</a> okuyama/lecture/1998/ITE/text3.html> (2000年12月27日アクセス)。「BGPに関する基本的な覚書1999/05/11」<a href="http://www02.so-net.ne.jp/">http://www02.so-net.ne.jp/</a> hero-yan/inet/bgp.txt> (2000年12月27日アクセス)。
- 14 ピール行政区のホームページは以下のところにある。<http://www.region.peel.on.ca/>
- 15 本節は、第6回 CANARIE ワークショップにおける、ワイズマン(Roy Wiseman)の発表「ピール行政区のダーク・ファイバ・ネットワーク (Regional Municipality of Peel dark fiber network)」に基づいている。