

## コラム第2回：ボトムアップ型通信インフラ

このコラムでは、「なめらかなコンピューティング」と題して、コンピューターを使うという社会的な活動にかかわる問題について、「なめらかさ」という切り口から、さまざまな可能性を探っていく。

今回は、「遅くて安いコンピューター」という題目で、紙に印刷できる、極限に安いコンピュータを扱った。今回は、現在のコンピューティングにとって、なくてはならない基礎といえる、通信ネットワークを取りあげたい。

### インターネットの通信インフラ

現在、インターネットの通信インフラは、ごく少数の、比較的大きな企業によって管理・支配されている。そのために、きめ細かなニーズに応じて、多種多様なネットワーク接続から選択をすることができない状態になっている。たとえば、遅くて、不安定で、カバー範囲が狭いが安い、といった通信方法を選択する余地が少ない。各社が、通信速度を極限まで向上させ、カバー範囲を極限まで広げていくために行なっている投資の分を、何故だかよくわからないうちに、私が支払わなければならないのである。私が支払っている通信コストは、理にかなっているのだろうか？

たとえば日本においては、通信インフラを構築するためには数千億円規模の投資が必要だという規模の問題、純粋に技術的な問題、諸外国よりも極めて厳しい電波法の問題、天下りのような政治的な問題、そもそもユーザーの知識が少ないという問題など、さまざまな原因が、価格に影響を与えている。さらに隣国の中国のように、情報統制や、都市間の経済摩擦を顕在化させないといったような目的のために、問題が複雑化している例もある。

ところが、半導体のコストパフォーマンスの向上や、周辺技術の進歩によって、ボトムアップ(草の根)的に通信インフラを構築することが、いよいよ可能になってきた。それはどのようにして実現されるのだろうか。

### WiFi

次の10年は、WiFiの利用範囲が急激に広がる10年となる。

現在、WiFiといえば、2.4GHz帯を使うIEEE 802.11ファミリの無線LANが一般的で、高速化のための競争が、ますます激化している。しかも、無線になっているのは、ラストワンメートル、つまり、ADSLなどの高速有線回線の末端からユーザーまでの数メートル分だけ、というのが実情だ。現在のWiFiは既存の有線回線に依存している。たとえばGoogle社とサンフランシスコ市が提携して開始するWiFiサービス(1)が話題になったが、このサービスを広告料を期待して無料にできるのは、あらかじめ各社が有線回線を、都市全体に張りめぐらせるために投資をしたからであって、Google社が無線LANのアクセスポイントを設置するからではない。WiMaxはどうか？日本においても規制緩和が進んで、

WiMax (802.16\*)が利用可能になるかもしれないが、そもそもこれは政府による免許が必要という時点で、ボトムアップ的な成長には限界がある。

本当に自由な草の根ネットワークを構築するためには、認可の必要のない無線を利用するか、国家や企業が建設した有線ネットワークに依存しない方法でインフラを構築する必要があるのだ。そのためにはどういったものが使えるのだろうか？

## 可視光通信

現状の無線LANほど高速・安定ではないが、法や大企業によって規制や支配をされない、自由な通信インフラを構築する方法がある。それは「可視光通信」だ。次の時代のWiFiは、目に見える光を利用して構築されることになる。「WiFi」に可視光通信が加わるのだ。現在、いかなる法律も光を出すことを規制してはいず、許認可も必要ないため、この分野における技術の進歩は、電波法の規制を受ける範囲の電磁波にくらべて、圧倒的に速いことが予想される。誰でもが研究開発に参加し、通信ネットワークに参加できるのだ。

日本でも、すでに可視光通信コンソーシアム(VLCC)(2)が設立され、可視光通信の研究が活発化している。可視光通信の基本原理は、ようするに「光を受けている太陽電池の出力が少ないときは0、多いときは1」として通信することである。実際には、速度と信頼性を向上するためにさまざまな変調方式を組みあわせるために、この通りではない。現在は、まだまだ距離も近く、通信速度も遅いが、これが発展すれば、数百m～数kmを越える通信ができるようになるという。もちろん、実際の通信においては、霧が出ることもあるし、光が動物などによって遮られることもあるため、光ファイバを利用した通信ほどの速度と安定性は、到底期待できない。しかし、電波と異なり法規制がない、光ファイバと異なり経路上の地権者との交渉が必要ない、などといった利点により、可視光通信の中継器を多数設置してアドホックネットワークを構築し、遅い通信ネットワークを構成することは、だんだんと可能になりつつある。しかし、それにはいくつかの課題がある。ひとつは中継器の電源と、もうひとつは通信速度である。

## 中継器の電源

可視光通信の中継器のために使えそうなのは、太陽電池と、小型の風車である。どちらも現在、爆発的な発展をしている最中である。まず太陽電池については、発電効率(発電電力を光のパワーで割った値)が15%を越えられないからといって、これ以上伸びないことはない。コストあたりの発電電力は、まだまだ、現在よりも数十倍伸びる余地を残しているのだ(3)。発電効率は問題ではなく、太陽電池をつくるために必要なエネルギーとの比率が重要だということだ。太陽電池を薄くすればよいのだ。これを理解するには自動車にたとえるとよい。内燃機関を利用する自動車の効率は、約20%でほぼ限界に達しているが、車体の軽量化や運転方法の改善などによって、燃費を何倍にもできる余地があるということだ。現在、秋月電気サイトをみると1Aの出力をもつ太陽電池が1万5000円となっているが、これが1000円になる。もっと大きくて安い太陽電池をそなえた中継器が、強い光を利用して通信できるようになる。変換効率は落ちてても、得られる電気は多いのだ。

太陽電池は夜に稼働できない。日本では、日平均で3時間だと言われる。通信は夜にも行なわれる。風は夜にも吹いているので、それを利用すると良い。最近、「風レンズ効果」を利用した小型風車が開発された(4)。これにより、簡単な構造の羽根を風車のまわりにつけることで、弱い風でも十分な量の電気を起こすことができる。ノートPCを2台稼働させられる50Wの電気を、2mの風(東京でいつも吹いてる風)で起こすことができるのだ。もちろん、風のない夜のために、電池は必要だが。

世界風力地図(5)をご存じだろうか。これは衛星や地上のセンサなどから得られたデータをもとに作成した、地球上の風の強さをあらわす地図である。この地図では、ある程度強い風だけがプロットされている。現在では、強い風が観測されたのは8000強の地点しかない。しかし悲観することはない。風レンズのような技術によってそのしきい値が下がることによって、風を利用可能な地点は、指数関数的に増加する。関西電力は、情報技術によって細かな風を緻密に利用するための、最適化システムの研究を始めている(6)。スーパーコンピュータを使って風車配置を最適化するシステムがもうすぐ稼働するのである。ボトムアップの通信ネットワークを作るには、こういったソフトウェアが必須になるはずだ。

## 通信の遅さと著作権

可視光通信を駆使してネットワークを構築できたとしても、現在の光ファイバーほどの通信速度は望めないだろう。光ファイバよりも高速に拠点間を接続できる方法は、現状では見当たらない。しかし、コンテンツ更新のPingやRSSの利用が進み、さらに著作権に関する意識やビジネスモデルが変わっていけば、超高速の遠距離通信の必要性は薄れていく。

現在、遠距離間で、超高速の通信が必要な理由は2つあり、ひとつは技術の未成熟さと、もうひとつは著作権保護である。技術的な未成熟は解決されつつある。たとえば、Googleのロボットは、私のブログに1ヶ月に1000回近くクロールしてくる。しかし、私のブログは週に1、2回しか更新しないので、1000回を10回に減らす、つまり1%にすることが可能である。Googleが Ping があつたときだけクロールすればよい。RSSの普及により、この効率化はさらに進むだろう。もう、大量に、おなじことをくりかえし送信しなくて済むのだ。10年後、「クローリング」は死語になっているかもしれない。

著作権保護という考えがないのであれば、すべてのデータは近いところにキャッシュしておけばよい。データのコピーが許されないから、毎回サーバにアクセスする必要があるのだ。Winnyは実際にキャッシュがうまく機能することを証明した。500GBのMaxtorが70ドルの時代である。5TBが1万円になるのは10年以内である。現在のGoogleMapsのデータでも10TB以下だと言われる。映画1本は1GBだから、10TBあれば、映画1万本が保存できる。現在、Winnyネットワーク上には、mp3はもう置かれていない。CDイメージがそのまま置かれている。15年後には手元のマシンにすべての映画と音楽と書籍とテレビ番組が保存することは可能だろう。CODECという言葉は死語になるかもしれない。ネット上に保存されている情報の量に対して、新しくネットに追加される情報は、非常に

少ない。率でいえば、1日あたり全体の1%以下であろう。たとえばMixiの日記は、4000万件保存されていて、2週間で200万件が追加される。1日にすると1%以下である。また、人間は、ごく近い人とはコミュニケーションしない。遠くにいる人と、どうしてもリアルタイムに通信したいときだけ、有料の超高速なサービスを利用すればよい。それ以外の、保存されている情報にアクセスしたいときは、近くのキャッシュを利用すればよいのである。高速な回線は、現在ほど必要にならない。

Wikipedia(7)はGNUの Free Documentation License というライセンスのもとで公開されている。キャッシュばかりではなくコピーが可能だ。mf247(8)という音楽サイトは、コピーを許している。コピーを許す出版も出てくるだろう。たとえばGooglePrintは、2000万冊の本をデジタイズしネット上に置くシステムを、opt-out(削除依頼方式)でやっていくと宣言し物議をかもしている(9)。しかし好意的に解釈する人々も多い。コピーを許すテレビも英国あたりから登場するだろう。生活に必要な基本情報はコピーが許されているために、近くのキャッシュから無料で入手できるようになり、特別に制作された映画や、株価のリアルタイム情報など、日常生活に必要なないぜいたくな情報については有料のサービスを利用するようになるだろう。

コピーを許すビジネスモデルの鍵は、結局のところ情報技術の進歩である。情報技術が足りない時代は、ユーザーの利用状況を把握できず、細かな課金のしくみもなかったために、情報をコピーできないことに依存するほかなかったのである。しかし、情報技術が進歩したことによって、今後は、コピーを許すモデルが標準となるのだ。精密な検索とロギングが、コピーを許すモデルを加速していく。

### **遅くて不確実な通信のこれから**

可視光通信以外にも、遅くて不確実な通信をめぐる技術革新は、めざましいものがある。たとえば、可視光通信よりも実用化は遅くなるだろうが、超音波を使って数百メートル以上の遠距離に正確に音声を伝える技術も出てきている(10)。これを使えば可視光の届きにくい霧の多い場所でも通信が可能になるかもしれない。また、水中を伝わりやすい超音波を使って、10kmの距離を1200bpsの速度で通信することも可能になった(11)。さらに、人工衛星を打ちあげるコストは非常に安くなっている。東京大学のCubeSatというプロジェクトでは、数千万円で人工衛星を打ちあげることを計画中である(12)。自治体が通信衛星を打ちあげることができる日が、成層圏プラットフォームの実用化よりも早く来る可能性もある。衛星からきたデータなら、多くの自治体で受信できる。情報を取得するためにさまざまな手段を組みあわせ、大容量のキャッシュに蓄積し、利用する。センサーを駆使すれば、天気の良い日や風の強い日には信号が強くなるため、一気に大容量のファイルをダウンロードするといったような技術も発達するだろう。ZigBeeという通信ミドルウェアは、遅くて不確実なネットワークに特化した機能強化を2005年末に予定している(13)。遅くて不確実な通信に特化したソフトウェアとハードウェアの革新と整備は、今後も圧倒的な速度で進むだろう。メディアはすぐにそれに追いつくだろう。アマチュア無線の復活さえあるかもしれない。

## まとめ

WiFi、可視光通信、太陽電池、小型風車、著作権、検索技術、超音波、小型衛星など、現在変化と進歩の激しいさまざまな分野で、ボトムアップ型の通信インフラを構築するための要素が整いはじめている。これらをうまく組みあわせて、本当に自由なネットワークを作るという試みは、5年以内にはかたちにならないかもしれないが、10～20年というスパンで見ると、かなり現実味を帯びているように思う。自由なネットワークが利用可能になったとき、私たちの社会は、現在よりも少し民主的で、地域に根差し、あたたかいものになっているかもしれないと思う。

## 参考文献、リンク集

(1) Sanfrancisco Gate : Google offers SF Wi-Fi

<http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?f=/c/a/2005/10/01/MNGG9F16KG1.DTL>

(2) VLCC 可視光通信コンソーシアム <http://www.vlcc.net/>

(3) 「理戦」より 市村正也氏「太陽電池というもの」  
<http://araiweb.elcom.nitech.ac.jp/~ichimura/solar/>

(4) 風レンズマイクロ風車 [http://www.torishima.co.jp/sei\\_new\\_micro\\_wind.html](http://www.torishima.co.jp/sei_new_micro_wind.html)

(6) 関西電力：風車配置最適化システム  
<http://www.kepco.co.jp/pressre/2005/0914-2j.html>

(5) 世界風速地図  
[http://www.wired.com/news/images/manual/windmaps0523\\_1.html](http://www.wired.com/news/images/manual/windmaps0523_1.html)

(7) Wikipedia.org <http://www.wikipedia.org/>

(8) mf247 <http://mf247.jp/>

(9) Google Print <http://japan.internet.com/ecnews/20050901/12.html>

(10) 超音波ビーム  
<http://hotwired.goo.ne.jp/news/technology/story/20020225301.html>

(11) 水中通信 <http://eri-ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/jp/ohp/letter98/kanazawa.html>

(12) 東京大学 CubeSat プロジェクト <http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/cubesat/>

(13) ZigBee  
<http://japan.cnet.com/news/com/story/0,2000047668,20087355,00.htm>

筆者のブログ <http://www.ce-lab.net/ringo/>