

# 【村井純教授のインターネット基礎講座】



## 第2回：インターネットをつなぐインフラの立役者たち

日常でインターネットを使っても、技術の基本はよくわからない、ホントの意味を知っておきたいというみなさんに、テクノロジーとしてのインターネットがどのような原理、仕組みで動いているかを正しく理解していただくことを目的に、インターネット大学SOIの「インターネット概論」の授業の一部をダイジェストとして紹介します。今回はなぜインターネットがつながるのか、またそれを支える通信技術について見ていきましょう。

URL <http://www soi wide ad jp/class/20020002/>



村井純

むらい・じゅん

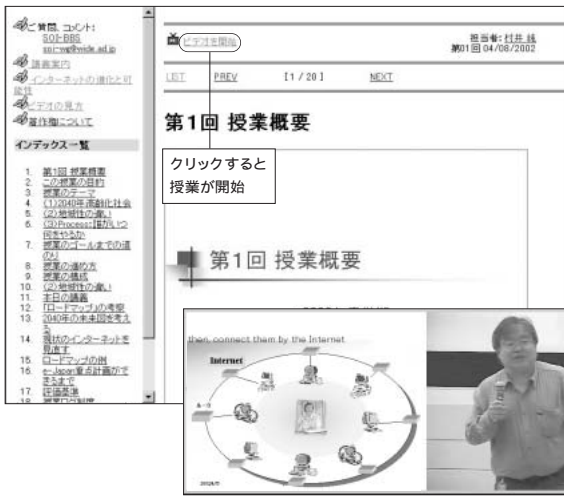
慶應義塾大学環境情報学部教授。日本のインターネット第一号となったWIDEプロジェクトを設立。インターネットでの日本語の取り扱い方の取り決めの開発、IAB委員、インターネット協会(ISC)理事など国際的なインターネット組織の役員を歴任するなど、インターネットの技術と社会の発展に尽力している。

電話とインターネットの違いを知る  
今回は、インターネットをつなぐインフラの話をしていきましょう。まずは電話とインターネットの違いについて考えます。インターネットの世代だからといって電話を知らなくていいということはありません。社会の仕組みや社会の多くの人々はまだ電話が当たり前だと思っています。相手がなぜそう思っているのか、その背景を知らなければ彼らを説得することはできないのです。  
その主な違いとは、アナログとデジタル、パケット交換と回線交換などです。電

話で2人が話すときはそのための帯域をとってあるので、ひとたびつながると途中で切れることはまずないですね。つまり、2人で1つの道を共有しているのです。ところがインターネットで利用されている技術、データをパケット(小包)にしてネットワーク上で送るデータパケット交換方式は、1つの道にみんなが相乗りします。混んだら、あふれたりスローダウンしたりします。その代わりに1つの道をみんなで電話、テレビ、メール、教育、交通、物流などあらゆるものを載せて共有しているからすごく安

く回線を使えます。これを絵に表したのが図1です。

パケット交換のために道をちゃんと用意して共有していますが、その代わりコストをものすごく安くできるので、基盤としては速いものがどんどん作られます。混んで渋滞すると困りますが、みんなで共有することで、基盤が整理されて速く太くできるなら、実はスカスカの道路を作ることができます。結局は混雑が起きて障害が出ることはない。だから圧倒的に得になる。このへんの違いがきっかけでは、どれ



### インターネット上の大学 SOI

この連載の内容はSOI(School of Internet)でストリーミング映像によって公開しています。

URL <http://www soi wide ad jp>

SOIとは、世界中の学ぶ意欲を持つ人々にインターネットを基盤とした高等教育と研究機会を提供することを目的として1997年に開始したインターネット大学です。

希望者はインターネットから入学登録をし、学生認証を受けることができます。詳細はホームページをご覧ください。

# プロトコルが共通ならば、足回りは何でもいい

図1 パケット交換の仕組み

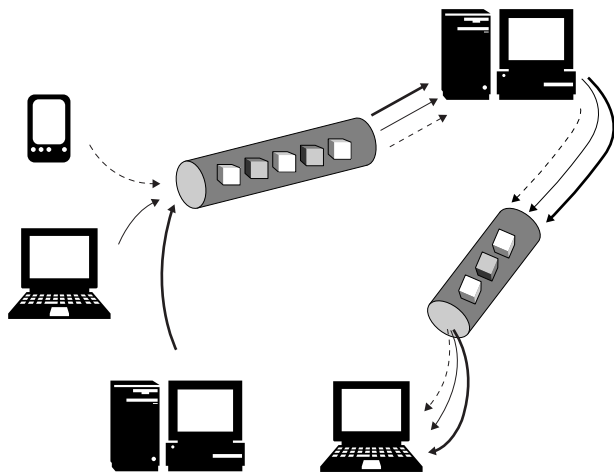


図2 インターネットの階層構造

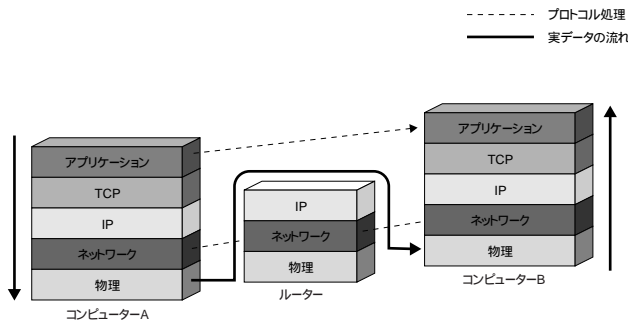
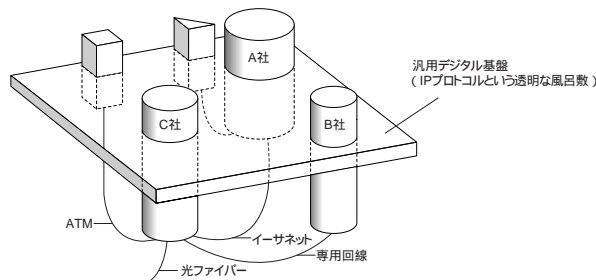


図3 プロトコルアーキテクチャー



だけ余裕のある太い回線を持てるかがポイントになるのです。

エンド・ツー・エンドのモデルは、真ん中にまかせないで端っこが一所懸命頑張るんだよということです。データがどこかで落ちてしまったとき、品質が悪くなってしまうときに、真ん中がそれを何とか修復しようとする、真ん中の仕事が増えて中継ノードはものすごくコストがかかってしまう。だからこれをエンド・ツー・エンドでやる。できるだけ端っこに、個人の責任でできるだけやらせようというものです。端っこが頑張って、真ん中、つまり網の設置は安いから、インターネットは早く成長したという経緯があります。

### プロトコルと経路制御処理

インターネットのプロトコルはこういう構造(アーキテクチャー)をしているのですが(図2)、アプリケーションがアプリケーシ

ョンと話をし、たとえば電子メールのやり取りを決めたりします。アプリケーションならアプリケーション、TCPならTCP、IPならIPといった、この2つの同じレベル同士がやり取りをする(図2の点線)のですが、この約束ごとをプロトコルと言いますが、実際のデータは図2の実線のとおり流れます。アプリケーションから下にぐつと降りていって、物理的な回線を通り、ルーターの物理的な回線から上がってIPに行く。また物理的な回線に降り、それから相手に届きます。その中継点を選んでいく処理を経路制御処理と言います。点線が相手同士の本当のやりとり(プロトコル)を示し、実線が物理的な実データの流れを示しています。

この図2は、1つのコンピューターの中にあるレイヤーを色分けして、同じ色同士、すなわち、物理層やアプリケーション層同士がコミュニケーションしていると

いうことを表したものです。一番下の物理的なところに本当のケーブルが繋がっている。デジタル情報がどこからどこへ流通するのかということの責任をインターネットプロトコルが持っているから、デジタル情報が自由に使える基盤がインターネットの技術だと言えるのです。だからこの透明の風呂敷をかけたのですが(図3)それより下は独立して発展していい。ここがすごくインターネットの嬉しいところです。この構造をしっかり持つインターネットは足回りに何がきても一番いいものをどんどんつなぎ合わせて、それが経路制御で回っていいわけです。世の中のものは数字に表せて、信号が送れるキャパシティを持っているものなら足まわりは何でも大丈夫ということになります。電話や携帯電話の通信の上にインターネットを使うのは、まさにいい意味での廃物利用と言えます。

## プロトコルの下の立役者たち モデム、イーサネット

図4 モデムの役割

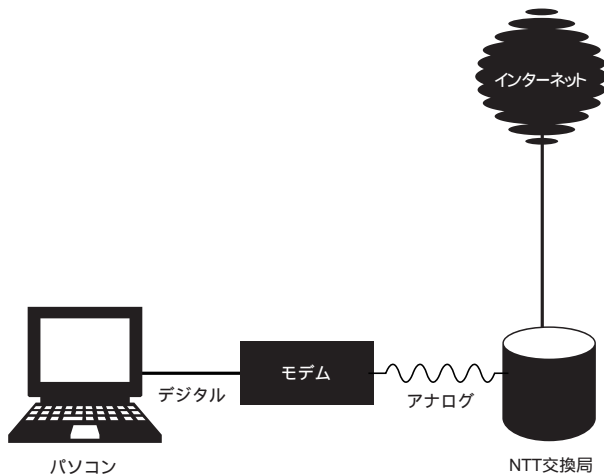


図5 イーサネットの規格

**CSMA/CD**  
(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

**CS キャリア検知**・・・通信を始める前に他人が通信していないかを確認

**MA 多重アクセス**・・・1つの通信メディアを複数人で共有

**CD 衝突検知**・・・他人と同時に通信したら一定の時間を置いて再度通信

モデムはアナログ回線である電話線にデータを送受信する技術(図4)。イーサネットの規格CSMA/CD(図5)。

### アナログとデジタルの仲介役

プロトコルという風呂敷をかけた「下」で活躍する足回りを見ていきましょう。モデムとは何かと言うと、モジュレーター(復調器)とデモジュレーター(変調器)を付けた造語で、つまりデジタル信号を音、すなわちアナログ信号にするのと、反対向きのアナログで来た信号をデジタル信号にする装置のことで(図4)。これを使うと、音を届けるための電話用回線がデジタル情報を運ぶメディアとして使える。それに対してADSLのモデムは、音を届けるという電話用のサービスには頼らずに、単に電話用に使われている物理的な電線にアナログ信号を流すということだけを利用して、電線にデジタルを載せているものです。回線としてはアナログだけれど、そこにデジタルの信号を載せるという方法なので、速度には限りはありますがいろいろ工夫してかなりのデータをつめ込んでいるのです。

電線1本にみんなが「or」でつながるイーサネットは、別名エーテルネットとも言います。アインシュタインが相対性理論を説く前までは、宇宙の光や星の光が地球に届いてくるのは、宇宙空間にエーテルという物質が詰まっているから、光が伝達されるのだという説がありました。ユニバーサルなコミュニケーションの役割を担うものとして夢を持ってこの技術にエーテルネットという名前が付けられたのです。

イーサネットというのは恐ろしい技術です。電線1本にみんながそれぞれに「or」でつながります。1本の電線でどうやってできるのかというのがこの課題です。この教室の中で、私1人だけがしゃべってほかのみんなは聞いていますが、もしみんなが隣の人と一斉にしゃべったとすると、この教室は何がなんだかわからなくなってしまいます。離れた席の人と会話しなさいと言っても絶対にできませんね。しかしイーサネットではそれを実現しているのです。

声、つまりデータがぶつかった場合には、サイコロの目を出して、その間だけ待ってもう一度耳を澄ます。誰も話していなければ声を出す。そしてもう一度耳を澄まして、誰かがしゃべっていたらもう一度待つ。それでまたすいたら投げる。これをみんながやると、1本の電線で高速のデータ転送のやり取りができる。これを発表したのがボブ・メトカルフェというスリーコム社の社長が1970年代に書いたこの技術の最初の論文で、作ってみるとホントにそのまま動いた、これがイーサネットです。その技術はCSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)と呼ばれ、イーサネットはこの技術を利用して発展したのです(図5)。

いまでも、「やっぱりぶつかるよな」と、サイコロを振り直している人がいるのを見ることができます。コリジョンというLEDがあつて、たまに電気がつくのでイーサネットのスイッチやハブを見てみてください。

図6 光ファイバーの基本構造

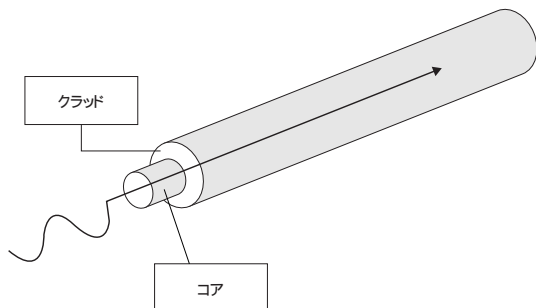
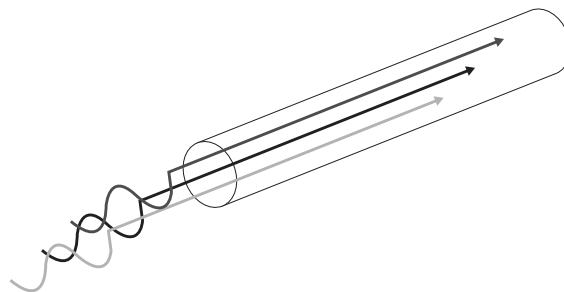


図7 D-WDM



光ファイバーは中心付近の屈折率の高い部分「コア」と周辺の屈折率の低い部分「クラッド」からなる(図6)。D-WDMは1つの光ファイバーの中に複数の波長の光を多重化して流す技術(図7)。

光ファイバーとダークファイバー  
光ファイバーとは、光が通る道です。石英なんかでできているガラスだと思えばいいでしょう。ガラスを密度と分子構造の違う2つの、図6のような形状に入れます。左側から光を通すと、2つのガラスが張り合わさっているのです、その界面のところに来ると反射を起こします。したがって内側のコアのところではガッチンガッチンと反射しながら通るのです。

光ファイバーというのはただのガラスの棒です。そこに光を入れたり、その光の波を電気信号に変えたりする装置を端と端に付けます。それで、光を入れるからガラスのパイプは光ファイバーになるのですが、光を入れる前のこのガラスのことをダークファイバーと言います。

1粒で10倍おいしいD-WDM技術  
D-WDM( Dense Wavelength Division Multiplexing : 波長分割多重 )は光ファイ

バーを利用してさらに高速に伝送しようという技術です( 図7 )。光ファイバーに1 Gbpsの黄色い光を送ったあとに「じゃあ青い色も流しちゃえ」と違う色を流したとします。そうすると青色と黄色は競合してもぶつからずに一緒に流すことができるのです。色が変わるというのは技術では波長が変わるということなのですが、この複数の波長の光を通す技術を、Wavelength Division Multiplexingと言います。通常 Multiplexing と言うと、回線を「みんなで分けよう」と分割することを指しますが、D-WDMの場合の Multiplexing は逆に光を複数本通して何重にも使うことを言います。

たとえばはじめは1Gbpsだったファイバーが、10波長使うとその10倍の10Gbpsになってしまうのです。最初は黄色の線を波だけで使っているのですが、そのうち青や赤の波長も使うと3倍になる。そのへんがお得で、光ファイバーが化けるのがその

あたりなのです。  
需要が多くなってきたからとファイバーをもう一度張り直さなくてもよくて、機械を替えてD-WDMの技術を使うだけで、昔引いた光ファイバーが10倍に化けたりするため、需要が増えれば増えるだけ安くなる。つまりレッスン1( 193ページ参照 )で話をしたように、インターネットはパケット交換だからどうしても混み合う。しかし、一方では、こんな技術を使うことでものすごい勢いで足回りの帯域が広がっていくという状況もあるということで、成り立っているのです。

今回は「インターネットアプリケーション」です。電子メールやWWWがどうやってHTTPというプロトコルでやり取りされるかを見る予定です。

SOI「インターネット概論(第4回「通信インフラストラクチャー」)」へ  
URL <http://www.soi.wide.ad.jp/class/20020002/slides/04/>



## [インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社**インプレスR&D**

All-in-One INTERNET magazine 編集部

[im-info@impress.co.jp](mailto:im-info@impress.co.jp)