

【村井純教授のインターネット基礎講座】

第1回：インターネット、その原理を知ろう

ダイジェスト

日常でインターネットを使っている、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、仕組みをもっ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。

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



村井純

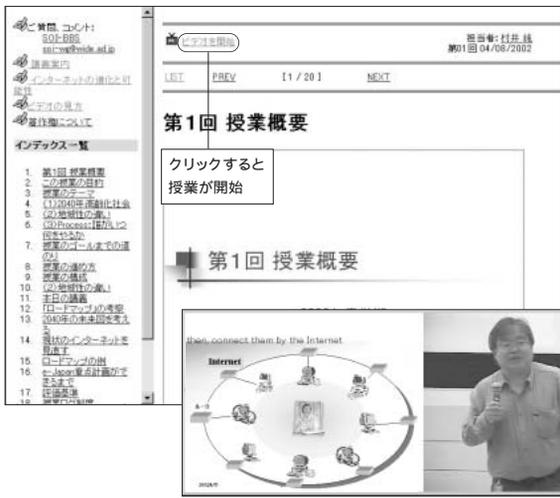
むらい・じゅん

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(ISOCC)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。

人間を支えるインターネット
インターネットの発展は非常に速いですが、その原理や機能を感じつつ、デジタルコミュニケーションがわれわれの世界にどんな影響を与えていくのか、さらに自分たちがどうやって未来を作っていくのかを、この授業では考えていってほしいと思います。今回はインターネット、デジタル、コンピューターの基本的な仕組みや考え方を学んでいきましょう。
私は大学生のとき、TSS(タイムシェアリングシステム)という機械のまわり

人間が群がっている図を見てコンピューターが大嫌いになってしまいました。人間を支えるべきものなのに、1つの大型コンピューターに人間が群がるのはおかしいと感じたからです。コンピューターをやらなくていいだろうと数学科へ行ったら、どっこいコンピューターが必修でプログラミングをさせるんです。いきなり先生に「メモリーの内容を元にソースコードを書いてくれ」と言われ、以来学校に泊り込み、それが発端で今に至っています。コンピューター同士が手をつなぎ、人間を支えるべきだと今

のインターネットの形をずっと考えていました。
インターネットの役割は、数値としての情報を持ち得るものをすべてつなぎ、人間が必要としている情報の環境を提供していくことです。たとえば農業1つとっても、作物がどう熟れているのか、どんな色なのか、天候、場所、風の当たり方など、農業自体が関わる情報にはデジタルで表現できるものが多くあります。無限の可能性を持っている、その基盤がインターネットなのです。



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。

QR <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。

インターネットの仕組みは鉄道網と同じである

図1 デジタルコミュニケーションの仕組み

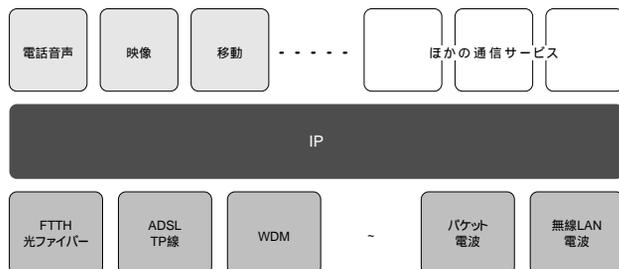


図2 鉄道路線図を駆使して目的地へ行く

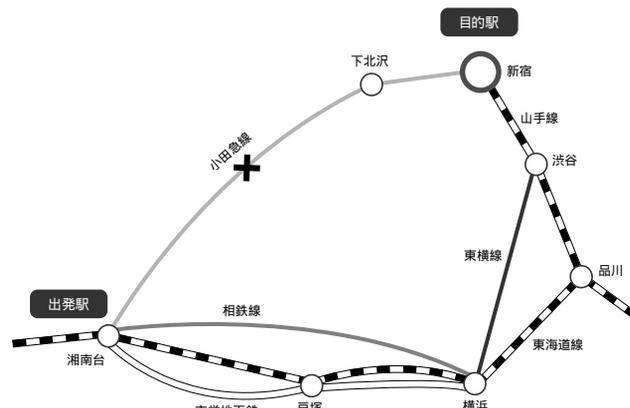
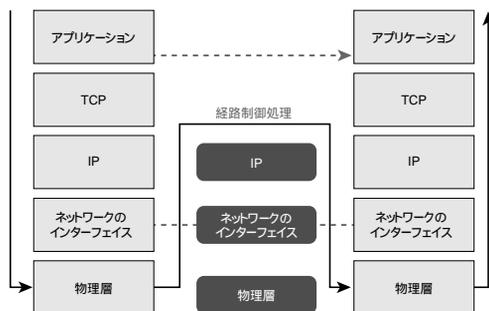


図3 エンド・ツー・エンドが実現するインターネット



どんな通信手段であれ、電話音声、映像など、IP化できれば送ることができる(図1)。湘南台駅から新宿駅へ向かう場合、万が一小田急線が止まったとしても新宿駅へは他の経路を選ぶことができる。これをインターネットでは経路制御という(図2)。アプリケーションはエンド・ツー・エンドによって通信を行うことができるが、途中の中継点はIPで通信を行う(図3)。

インターネットの基本的な仕組み
インターネットは、技術としてはインターネットプロトコル(IP)、つまり「IP」という通信規格による通信技術と考えてください。プロトコルが合ってさえいれば電話線でも、光ファイバーでも無線でもデジタル情報が送れます(図1)。「もの(伝達する物理媒体)はどれでもいいや」と、気にしないで伝達部分に風呂敷をかけて隠してしまうのが、このIPなのです。

インターネットの仕組みがどうなっているかを理解するには、鉄道を使って説明するのが一番わかりやすいと思います(図2)。切符には到着駅が書いてあり、それで電車に乗ります。小田急線、山手線、東海道線を乗り継いで目的地にいきますが、途中どこで乗り換えるかというのは基本的に選べますね。それぞれの路線がつながっていて鉄道網を形成しています。1つの路線がネットワークであり、鉄道網はネットワークのネットワークと言えるので

す。この鉄道路線図のことを、インターネットでは経路制御情報と言います。この経路制御情報を見ることで乗換え駅を見つけ出し、その乗換え駅に行くためにはどの線に乗ればいいのかもわかります。事故で止まったとしても他の線で行けるし、サービスや使う技術も違いますが、そんなには気にならない。あるものを使えばいいという考えがインターネットなのです。

デジタルならではの設計思想
デジタルは完全にコピーができるという利点があるので、もし途中で送れなくなったら捨ててしまってもOKというベストエフォートという仕組みでインターネットが社会基盤として発展したのです。そして、途中で送れなくなっても、最初の失敗をリカバーするために、もう一度同じものを送る、この作業をやっているのもIPなのです。
ですから、みんなが持っている途中の線路(ネットワーク)はそんなに頑張らなく

てもいい、端(出発駅と端(到着駅)が頑張ればよい。確実性をあまり重視しなくてもいいと、真ん中(乗換え駅)でやる仕事がシンプルになり、どんどんいいものが安くできるようになる……。これが、インターネットの哲学。真ん中に任せず負荷をかけないで両端(エンドシステム)のコンピュータが頑張ればいいというエンド・ツー・エンドのモデルです(図3)。これによってネットワークが爆発的に増えていきました。インターネットの設計思想とは、いいかげんに聞こえるかもしれませんが、完璧を目指さなくても90パーセントOKなら実行してしまおうというものです。最後まで詰めないで、どんどん動かしていくというラフコンセンサスだったからこそ急速に発展したのです。

SOI「インターネット概論」(第2回)「インターネット概論」
<http://www.soi.wide.ad.jp/class/20020002/slides/02/>

デジタルは0と1ではなくて数値である

図4 音声のサンプリング例

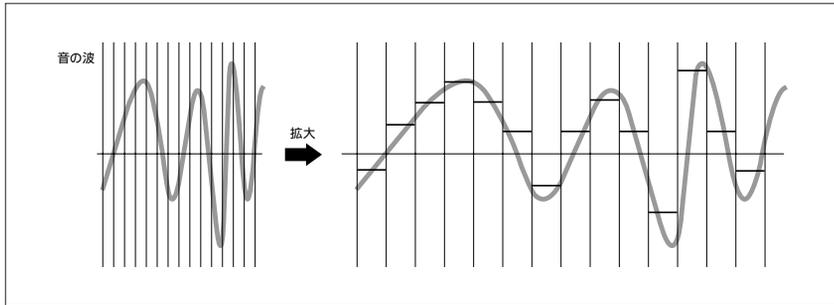


図5 画像のサンプリング例

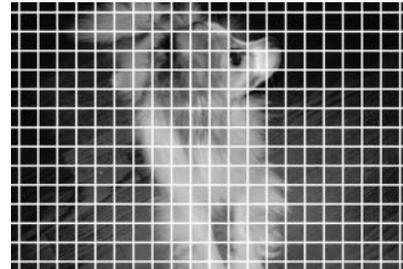
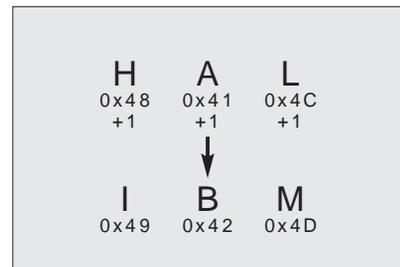


図6 『2001年宇宙の旅』に登場するコンピューターHALの暗号



デジタルの本質とは？

CDと音楽レコード、MDとテープ、DVDとテープなど、音楽や文字や映像が数字で表現できるようになりました。デジタルが0と1だと思っている人が多いようですが、実はそうではないのです。

デジタル(digital)とは英語のデジット(digit) 数字が語源です。つまりデジタルとは数字なのです。ただ、数字を物理的なメディアで表現しようとする、たとえば、電圧のある、なし、など、2つの状態の違いを情報の単位とすると間違いが少ないので、あれば1、なければ0ということで、どちらかを表すようにして、それをいくつか集めて、ある数値を表現することが多くなります。そのため、つい、「デジタル」という「0と1」、すなわち「2進数」と思いがちですが、大切なのは「数値である」ということで、「0と1で表現している」ということではないのです。デジタル技術に少しでも関心のある人ならば、デジタルの本質は数字で表すということを知っておいてもらいたいと思います。

たとえば音声のデジタル化の例として「44.1kHz 16ビットステレオ」のオーディオCDの場合では、約4万4000分の1秒単位で音の波を数値にしていきます(図4)。数値にする際には音波の下限から上限までを16ビット分、すなわち6万4000個ほどの数値で表します。CDだとこの範

囲の情報が少なくて音は表現されず、実際よりは情報量が少ないことになりませんが、人間の耳では特に問題なく聴けるようです。映像の場合は、デジタルならではの魔法が効いてきます。図5は餌を探している犬の映像です。映像を数値化するには、映像をいくつかの細かいマス目に分けて、そのマス目1つずつを1つの数値で表し、その集合によって1つの映像を表現します。そうすると映像を送ることは、その数値の集合を転送することになります。テレビで使われているNTSCという技術では、1秒に30枚の映像が動きます。ここで、数値だからこそ嬉しい点が出てきます。動かない場所を表現しているマス目の情報は送らず、動いている部分のマス目の情報だけを送ることで、転送する情報量の節約ができます。このように一部の情報を送っただけで、全部の情報を送ったのと同じことになります。これは、数字は劣化せず、完全なコピーができるから可能な技術で

す。完全なコピーが簡単にできるという利点がある反面、知的所有権などの問題が発生しやすくなっていますが、これらの問題を解決しながら新しい技術やコンテンツなどを作っていくかなければなりません。

『2001年宇宙の旅』に出てくるコンピューター「HAL」は、その名前のアルファベットそれぞれに「1」を足すと「I」「B」「M」になります(図6)。これが暗号です。ある3人の人だけに情報を伝えたい場合、その人たちだけが知っている計算式(暗号化の方法)を使えば、暗号化したメッセージを解けるのはその計算式を知っている3人だけで、それにより秘密の通信ができるのです。暗号技術を使うのは数学のおかげであって、すべての情報を数値にしているから使えるのです。

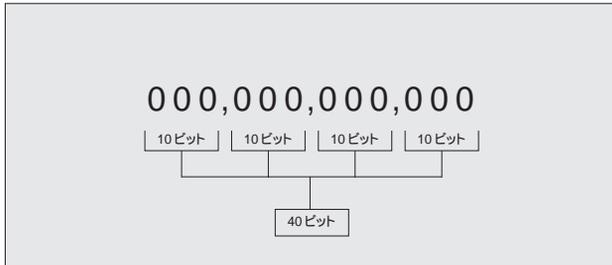
完全なコピーが簡単にできるという利点がある反面、知的所有権などの問題が発生しやすくなっていますが、これらの問題を解決しながら新しい技術やコンテンツなどを作っていくかなければなりません。

『2001年宇宙の旅』に出てくるコンピューター「HAL」は、その名前のアルファベットそれぞれに「1」を足すと「I」「B」「M」になります(図6)。これが暗号です。ある3人の人だけに情報を伝えたい場合、その人たちだけが知っている計算式(暗号化の方法)を使えば、暗号化したメッセージを解けるのはその計算式を知っている3人だけで、それにより秘密の通信ができるのです。暗号技術を使うのは数学のおかげであって、すべての情報を数値にしているから使えるのです。

SOI「インターネット概論」(第3回) インターネットテクノロジー
 URL <http://www.soi.wide.ad.jp/class/20020002/slides/03/>

たったの5分で、データを2進数でイメージできるようになる

図7 10進数13桁は何ビットか



2進数10ビットは1024。これを約1000と考えると、10進数3桁(カンマ1つ分)で10ビットとなり、10進数で13桁ある場合は40ビットと概算(図7)。32ビットは30ビットでカンマ3つ分。残り2ビットは10進数で0から3の4とおりで表せるので40億と概算(図8)。

図8 2進数の世界

2^{10}
およそ1,000(正確には1,024)

2^{16}
 2^6 と 2^{10} をかければよい
およそ64,000(正確には65,536)
 $64\text{Kbps} = 2^6(64) \times 2^{10}(1,024)\text{bps}$ (bit per second)

2^{32}
およそ43億(正確には4,294,967,296)

コンピューターが持つ魔法とは
コンピューターとは簡単に言ってしまうと数値を計算する演算機であって、それ以上でもそれ以下でもないのです。あらゆる情報を数値で表現すると、いままです人間が培ってきたものを数学で扱うことができます。その処理速度がどんどん速くなるのは、みんながよく知っているあの魔法を使っているからです。その魔法とは何だと思えますか。

「5を100回足しなさい」と言われた場合、どうしますか。500とすぐわかりますよね。5が100個あるとどうして500なのでしょう。100倍するには数字の右に0を2個付ければよい。非常に簡単なことですが、これが、その魔法なのです。本当に100回足すのではなく、0を右に2つ付けるといった計算のノウハウを膨大に持っているのがコンピューターなのです。

そして、コンピューターの内部では、スイッチのように「オン」と「オフ」を示すものが情報の最小単位となっていて、その集合で1つの数値を表現します。したがって、オンが1でオフを0とすると、数値は0と1、すなわち2進数で表現されることになります。数値だということが大事なのですが、コンピューターの内部ではたまたまミスが少な

い2進数を使うことになっているのです。

2進数を体感しよう

今回特に学んでみたいことは、2進数を体でイメージできるようになることです。店で商品を買うと付いているバーコードには10進数で13桁の数値が付いています。さてここで質問です。

Q: 10進数13桁で表現できるものを2進数で表現するには何桁いるでしょう。

$2 \times 2 = 4$ 、 $4 \times 2 = 8$ 、 $8 \times 2 = 16 \dots$ 、 $512 \times 2 = 1024$

2を10回かけると1024です。つまり、2進数10ビット(桁)で1024です。デジタル情報はいいかげんなものなので、いいかげんに考えておよそ1000とします。コンピューターの世界ではこれを「K(ケー)と読んでK(キロ)と区別します。つまり10ビットで1Kです。10進数で1000のときは、0が3つでカンマ「,」を入れます。カンマ1つ分は1000すなわち10ビットになります。そして、10進数で13桁あるとカンマは、

,000,000,000,000

と4つ入り、000(10進数3桁)で10ビットですから、それが4つ、40ビットで10進数12桁分になり、13桁は、40ビットともう少しあれば表現できることになります(図7)。ところでインターネットをつなぐ際に必要になるアドレス空間(IPv4の場合)は、32ビットのアドレス空間を持ちます。32ビットでは、10進数のどのくらいの数値を表現できるでしょう? まず30ビットでカンマ3つ分、残りが2ビットです。2ビットは10進数で0から3までの4とおりの数値が表現できるので、合わせると、32ビットでは、4,000,000,000の数値が表現することになります(図8)。

カタログなどでよく「何メガ」と書かれています。メガ(M)は1000Kのことですから、「ああ、あれはどれくらいの数字のことなんだな」とわかれば今回はOKです。

これらはプログラミングやインターネットの仕組みを考えるときにも役立ちます。

次回は「なぜインターネットがつながるのか」をIP、ドメイン、イーサ、WDMなど、通信技術を中心に考えます。

SOI「インターネット概論」(第3回 インターネットテクノロジー)
URL <http://www.soi.wide.ad.jp/class/20020002/slides/03/>



[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