

インターネット数理科学第2回

～ネットワークそのものを支える数理科学その1～

2006年10月12日

株式会社インターネット総合研究所代表取締役所長
東京大学大学院数理科学研究科客員教授

藤原 洋

目次

1. **インターネット数理科学の課題**
～どこに数理科学が潜在しているか？～
2. **ネットワークそのものを支える数理科学とは？**
3. **帯域保証とベストエフォート・ネットワークとは？**
4. **パケット交換の延長としてのインターネットとIPとは？**

1. インターネット数理科学の課題

～どこに数理科学が潜在しているか？～

私自身が遭遇した様々な事件、多くの人々との出会いを通じて体得した、体験的事実の集積に基づく視点から受講者の皆様のお役に立ちたいと思います。私自身の約半世紀の人生を振り返ると、大学で科学者を目指し授業料を払いながら基礎を学び、研究開発技術者として給料をもらいながら実学を学び、ベンチャー企業の経営陣に加わりながら 経営を学び、インターネット時代の到来と共に起業し今日に至っています。今なお現在進行形の「インターネットによる産業革命」の過去・現在・未来とそれを支える数理科学について述べます。

「数学者と科学者と技術者」には、自然発生的に「好奇心と探究心」が芽生え、時として、とんでもない「発見と発明」をしてしまうことがあります。そのとんでもない「発見と発明」が、「生活習慣と商習慣」を変え、「制度と法律」を根本的に変えることとなります。ここでは、このような「社会の部分的変化」をもたらす、一連の「発見と発明」を「技術革新」と呼び、さらに一連の「技術革新」によってもたらされる「社会の構造的変化」を「産業革命」と呼びます。

さて、明らかに「インターネット」は、現代社会の構造を根本的に変える「技術革新」です。そして、その変化は、まだ始まったばかりです。インターネットの本格的商用化が始まって約10年ですが、これまでの10年は、インターネットが社会インフラとなるための序章でした。即ち、電話のために構築された通信網を使って、何とかインターネットが使えるようになったところです。そして今ようやく、人類は、インターネットに合うように、通信網を作り変える時代を迎えています。欧州を発信源とする、ITUによる IP(Internet Protocol)を基本とした NGN(Next Generation Network)標準化の動きは、その1つの時代表現でもあります。過去の10年は、「インターネットと通信の融合」の10年であったといえます。ネットベンチャーによる放送局の買収騒動だけに目が奪われがちですが、本質は技術革新にあり、今後の10年は、「インターネットと放送とあらゆるメディアとの融合」の時代となるでしょう。

インターネット革命は五大産業革命の一つである！

(ブライアン・アーサー: サンタフェ研究所【複雑系研究】、複雑系経済学)

- ・1780～1830: イギリス 紡績機械(水力)
- ・1830～1880: イギリス 鉄道(蒸気機関)

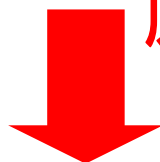
原理: 力学
⇒ 動力機関

- ・19世紀末 : ドイツ 重工業(電動機、鉄鋼)
- ・1913～1970代: アメリカ T型フォード(1913)からの製造業革命
⇒ 大量生産、自動車産業、石油の時代

原理: 物質科学 ⇒ 重化学工業

- ・20世紀末～: アメリカ、(日本?) デジタル情報革命

原理: 数理学 ⇒ 情報産業



産業の構造変化: 通信、コンピュータ、放送、家電、新聞、広告、出版、金融、流通etc.

1. インターネットは、固定ナローバンドから固定/移動ブロードバンドへ進化
2. インターネットは、パーソナルからユビキタス・コンピューティング環境へ進化
 - ・メインフレーム : 大人数で高価なコンピュータを利用
 - ・パーソナル : 1人で1台のコンピュータを利用
 - ・ユビキタス : 1人で多数のコンピュータを利用
3. 三次元映像などのコンテンツ制作・処理は高価なグラフィックス・スーパー・コンピュータでの利用からユビキタス環境下での安価なコンピュータ利用へ進化
4. 三次元映像などのコンテンツ制作・処理は、放送番組やハリウッド映画のための高価な制作技術からインターネット・コンテンツの安価な制作技術へ進化

- 1) ソフトウェアの研究開発より引用
 - ア) 高信頼・高品質なサービス提供のためのグリッドミドルウェア開発(経済産業省)
 - イ) 超高速コンピュータ網の形成に資する基盤ソフトウェアの開発(文部科学省)
 - ウ) 次世代の情報家電等で必要とされる組込みソフトウェア開発手法等の開発(経済産業省)
 - エ) 産学連携によるソフトウェア開発力の抜本的強化(経済産業省)
 - オ) 次世代に向けたソフトウェア技術開発力の強化(経済産業省)
2006年度までに世界市場で通用する革新的なソフトウェアを10本開発
 - カ) オープンソースソフトウェアの開発等の促進(経済産業省)
 - キ) 高信頼ソフトウェア作成等の基盤となるソフトウェアの開発(文部科学省)
 - ク) 高精細3次元映像化ソフトウェア技術等の研究開発(文部科学省)
教育、文化財アーカイブ、放送等での高精度かつリアルタイムの3次元映像等の活用を図る

⇒インターネット関連ソフトウェアが国策となった！

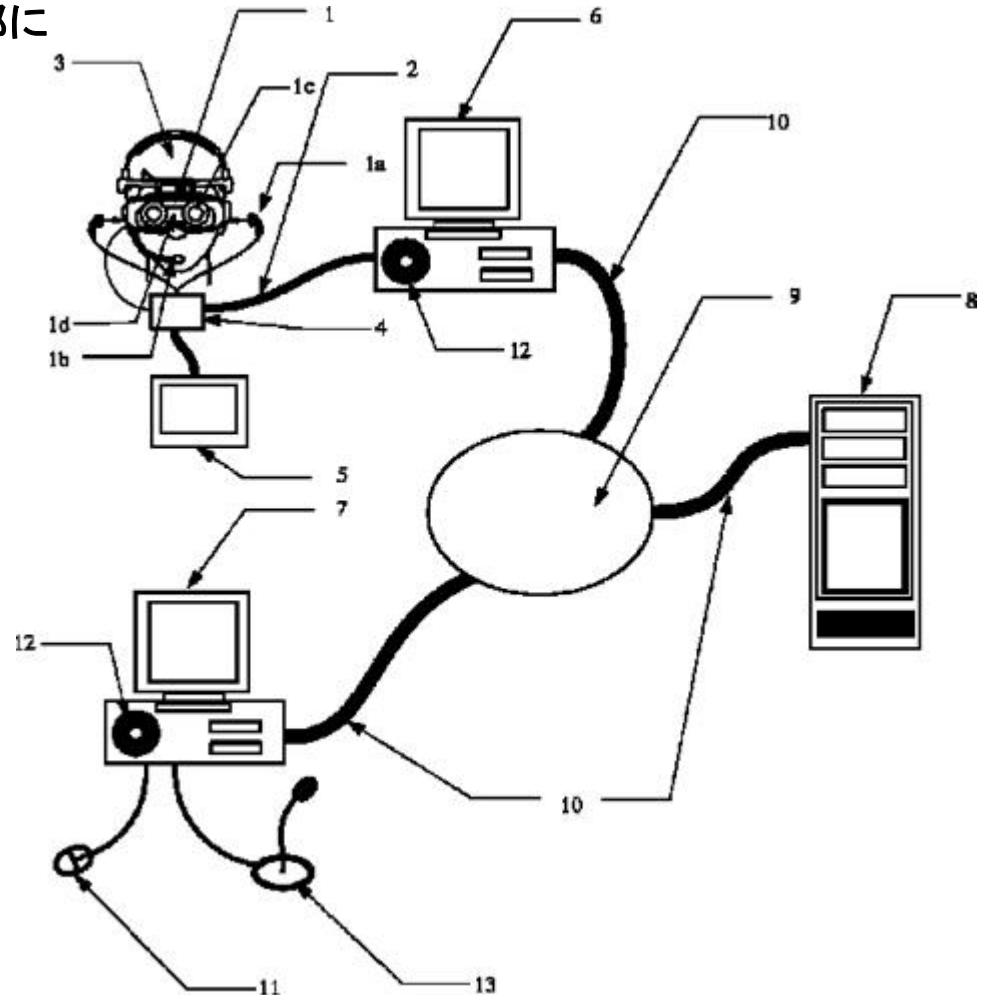
例：インターネット技術指導教育配信システム

インターネットを通信手段として、人間が直視の基に行う医科手術やその他の精密技術の指導教育プログラムを配信する医科手術やその他の精密技術指導教育プログラムの指導術者(講師)の頭部に装着する眼鏡型モニター(特許コードP03A001978)

その眼鏡型モニター前面の左右瞳孔各中央部に相当する位置から視野方向に向けて取り付けられた2個のズームレンズ搭載自動焦点CCDカメラ

で構成される三次元実体デジタル拡大鏡装置の眼鏡型モニター画面に投影される

指導術者(講師)の視野画面と同一の画像を、インターネットに接続した指導術者(講師)の電子端末を利用して教育プログラム配信会社サーバに送信、教育プログラム配信会社サーバより講師と同一の視野で術野を供覧可能とした仮想手術体験や精密技術の仮想体験教育プログラムを、暗唱番号等でアクセス管理された特定契約者の電子端末に同時にインターネットを介して実況放送あるいは録画放送で前記教育プログラム配信会社サーバから有料配信することを特徴とするインターネット技術指導教育配信システム。



「自由視点三次元映像スタジアム研究のビッグアイでのデータ取得の実験作業」

(1) 超大空間での実イベントを三次元動画(つまり4次元)データで取得する技術開発を行い、未来のインターネット等でのコンテンツ開発に役立てると同時に未来社会への応用開発を行う。

(2) できればビッグアイをそのような三次元動画撮影機能を持ったスタジアムとして成長させ、地場IT産業の振興を図る。

・カメラ総数28台、ハイパーネットワーク社会研究所のみならず、筑波大学、慶応大学、大分大学、竹中工務店、NHK放送技術研究所などから総勢三十名程の研究スタッフでの大がかりな実験。

・このような大空間対象例は世界的にも例が無く、学会などでも注目されている。

・実質的な技術リーダーである筑波大学・大田友一教授は、この方面でたいへん活躍されておられる世界的な方ですが、更に、アメリカ・カーネギーメロン大学のロボティクス研究所所長・金出武雄教授もアメリカから駆けつけて参加しております。

・金出武雄教授は、CBSの依頼にて昨年のアメリカ・スーパーボウルで同じような方向性の技術で「アイビジョン」という名の元にフットボールを多角度からTV再生してみせる技術を完成披露しましたが、それらは日本国内でも広く報道されております。

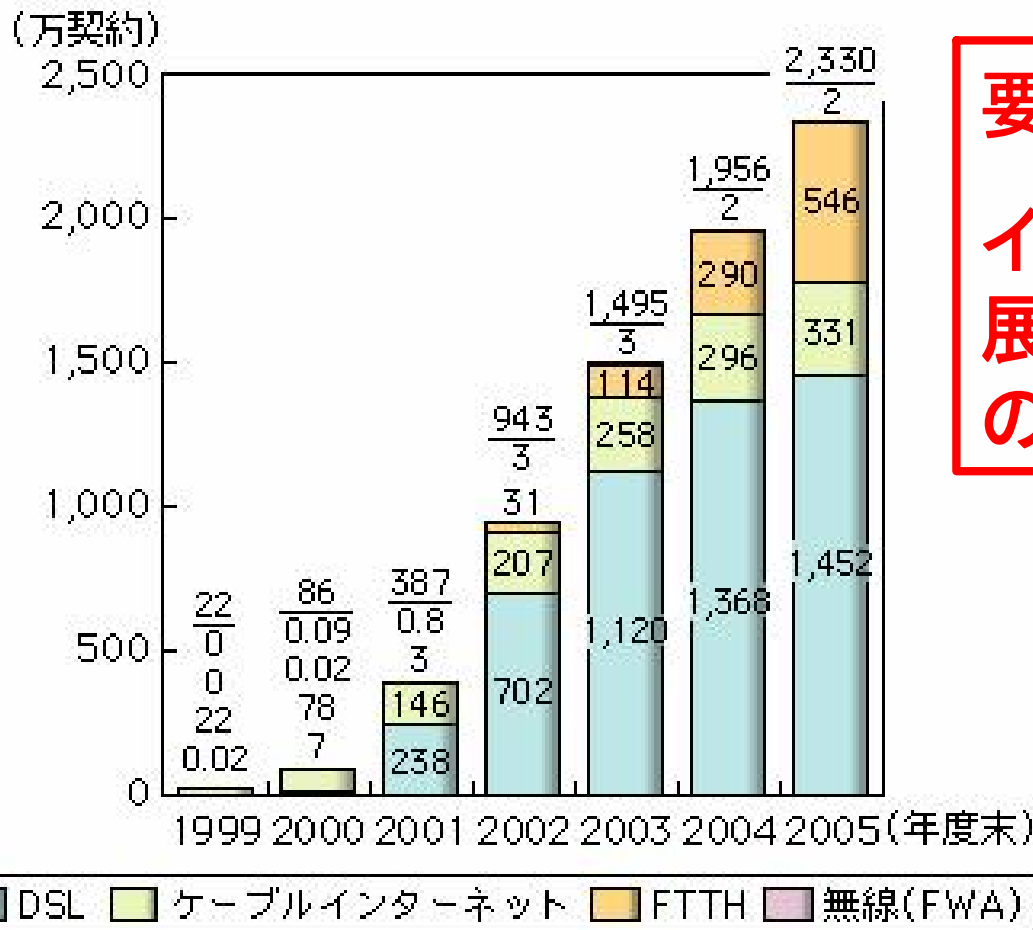
(今回の本実験は、その「アイビジョン」の先を考える技術と言えます。従って、16日の撮影で、その場でデータを解析して再生することはできませんことをあらかじめご承知おきください。今回はデータを取得し、研究室に持ち帰り、どのような手法が三次元動画を作り出すのにより有益か、を、探るのが全体の実験でもあります)

ハイパーネットワーク社会研究所としては、

・これらの技術が、大分大学などを通じて地場に根付き、新しい産業開発となるように期待したい。

・そのために、早期にビッグアイと総務省ギガビット網と接続を実現するよう大分県等に働きかけ、大分大学、筑波大学、慶応大学、竹中工務店、等と超高速通信網を使った共同実験の恒常的な場となるように期待したい。

・その結果として、大分にITに支えられたスポーツ科学やスポーツ医学産業などの発展を期待。



要点:

インターネット中心に
展開する情報通信網
の競争が発展を促進

※ 2004年度分以降は電気通信事業報告規則の規定により報告を受けた契約数を、それ以前は事業者から任意に報告を受けた契約数を集計

インターネット広告費の推移

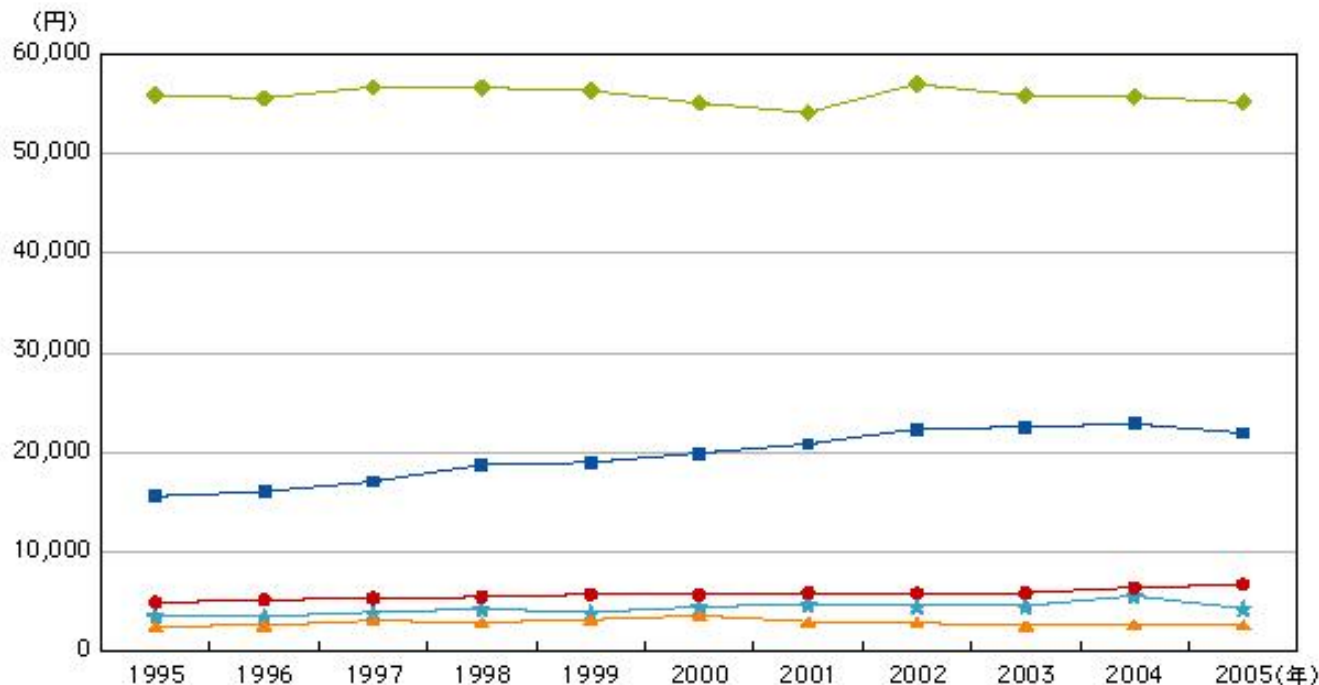


電通資料により作成

要点:

インターネット広告市場が大きくなる可能性大!

コンテンツ関連の年間消費支出額



●	映画・演劇等入場料	4,972	5,234	5,403	5,535	5,795	5,780	5,951	5,878	5,924	6,480	6,763
■	放送受信料	15,621	16,087	17,101	18,758	19,025	19,954	20,858	22,378	22,589	22,879	21,980
▲	テレビゲーム	2,603	2,681	3,143	2,984	3,256	3,655	3,063	2,921	2,663	2,735	2,706
◆	書籍他の印刷物	55,855	55,560	56,661	56,607	56,317	55,081	54,111	56,956	55,828	55,713	55,132
▲	音楽・映像メディア	3,639	3,570	4,008	4,317	4,006	4,520	4,843	4,691	4,650	5,642	4,378

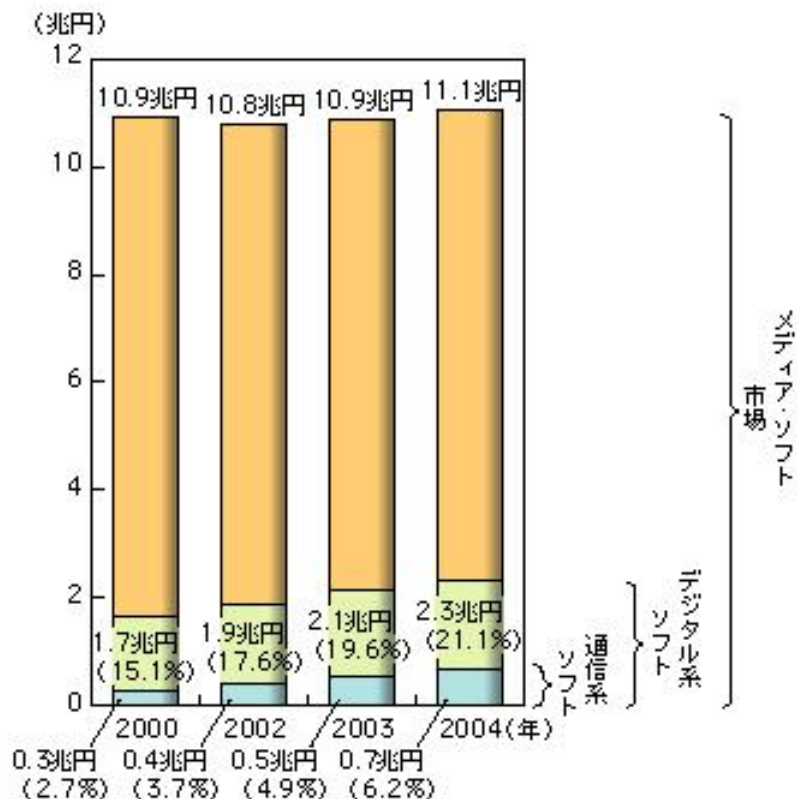
※ 「音楽・映像メディア」：2004年までは「オーディオ・ビデオディスク」「オーディオ・ビデオ収録済テープ」の合計、2005年は「音楽・映像収録済メディア」の値

「書籍他の印刷物」：「新聞」「雑誌・週刊誌」「書籍」「他の印刷物」の合計

総務省「家計調査」(二人以上の世帯(農林漁家世帯を除く))により作成

要点：インターネット・コンテンツ流通市場が大きくなる可能性大！

デジタル系ソフト、通信系ソフトの割合の推移



要点:
コンテンツ流通市場の2大潮流
①アナログ⇒デジタル
②パッケージ⇒ネットワーク(通信)

- ※ デジタル系ソフト：CD、DVD、ゲームソフト、デジタル衛星放送番組、オフラインDB及び次の通信ソフト
- ※ 通信系ソフト：PCインターネット、携帯インターネット、通信カラオケ、オンラインDBを通じて流通するソフト

(出典)総務省情報通信政策研究所「メディア・ソフトの制作及び流通の実態調査」

そもそも工学とは？【出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』】

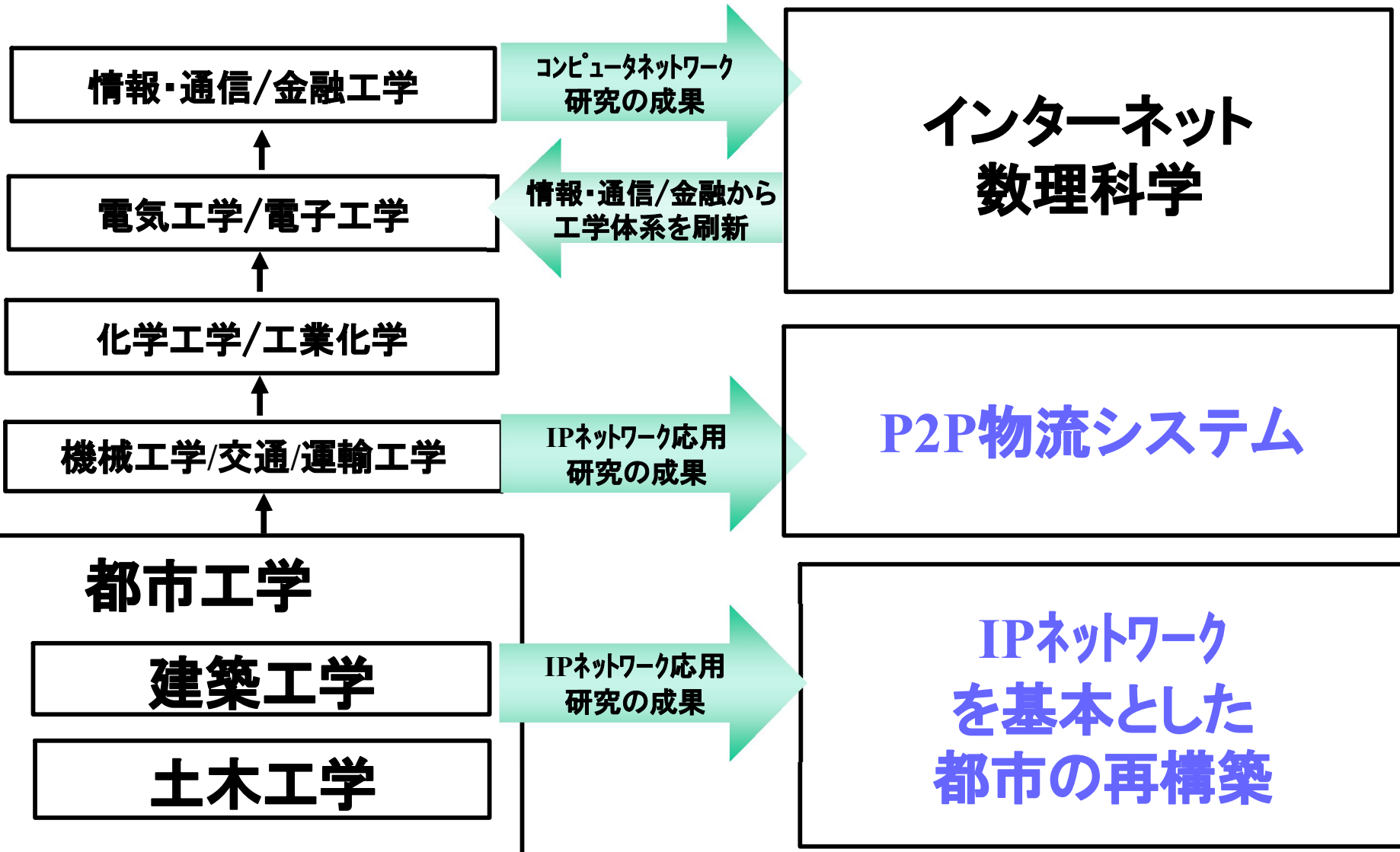
工学(こうがく、engineering)は、科学、特に自然科学の蓄積を利用して、実用的で社会の利益となるような手法・技術を発見し、製品などを発明することを主な研究目的とする学問の総称である。大半の分野では数学と物理学が基礎となる。

工学と理学の違いは、理学がある現象を目の前にしたとき「なぜそのようになるのか?」を追求するのに対して、工学は「どうしたら目指す成果に結び付けられるか」を考えることにある。すなわち、工学ではある実験によって一定の関係が得られたら、それがなぜ起こるのかにはあまり関心を寄せず、その実験式をとりあえず受け入れる。なぜそのような関係になるのかを追求するのは理学の役目だからである。

また、理学では「思想」なり「信条」といったことをその理論内に取り込まない傾向があるが、工学では「設計思想」が重要であり、また各工学の学会(電気学会、土木学会など)では信条規定が定められている。

更には、理学では「安全」といった概念が扱われない傾向があるが、工学では安全が重要なウェイトを占める。

理学を重視する見地からすれば工学は理学から分かれたような錯覚をおこしがちであるが、歴史的に見ると工学は理学とは相互に影響しながら発達してきたといえる。例えば、蒸気機関の効率についての研究から熱についての認識が深まっていったのであるし、熱についての理学的な研究が進められることによって冷凍も可能になったのだといえる。



【都市国家】 神殿・王宮・公共施設などを中心に城壁をめぐらした都市が、その周辺の農牧地を含めて政治的に独立し、一小国家を構成したものの。古代ギリシャのポリスが代表的。他に古代ローマ、古代のエジプト・メソポタミア・インド・中国などにみられる。

→ 強い都市＝生産力、軍事力、市民の活性度が国家そのものを形成していた。

- 都市国家から都市の集合が国家を形成した時代を経て
- 今日は、国家を超えた国際化の時代

→ 再び「強い都市を作る競争時代」の到来：
国家間格差よりも国内・国際地域間格差が増大：
「都市の再構築」の重要性

「IPは強い都市を作るコアテクノロジーである」

【都市】 「IP研究学園—」

【都市化】 「IPによって—の波が押し寄せる」

【都市計画】 「IPに基づく—」

【都市再開発】 「IPインフラとした—」

【都市社会学】 「P2Pコミュニケーションを前提とするIP—」

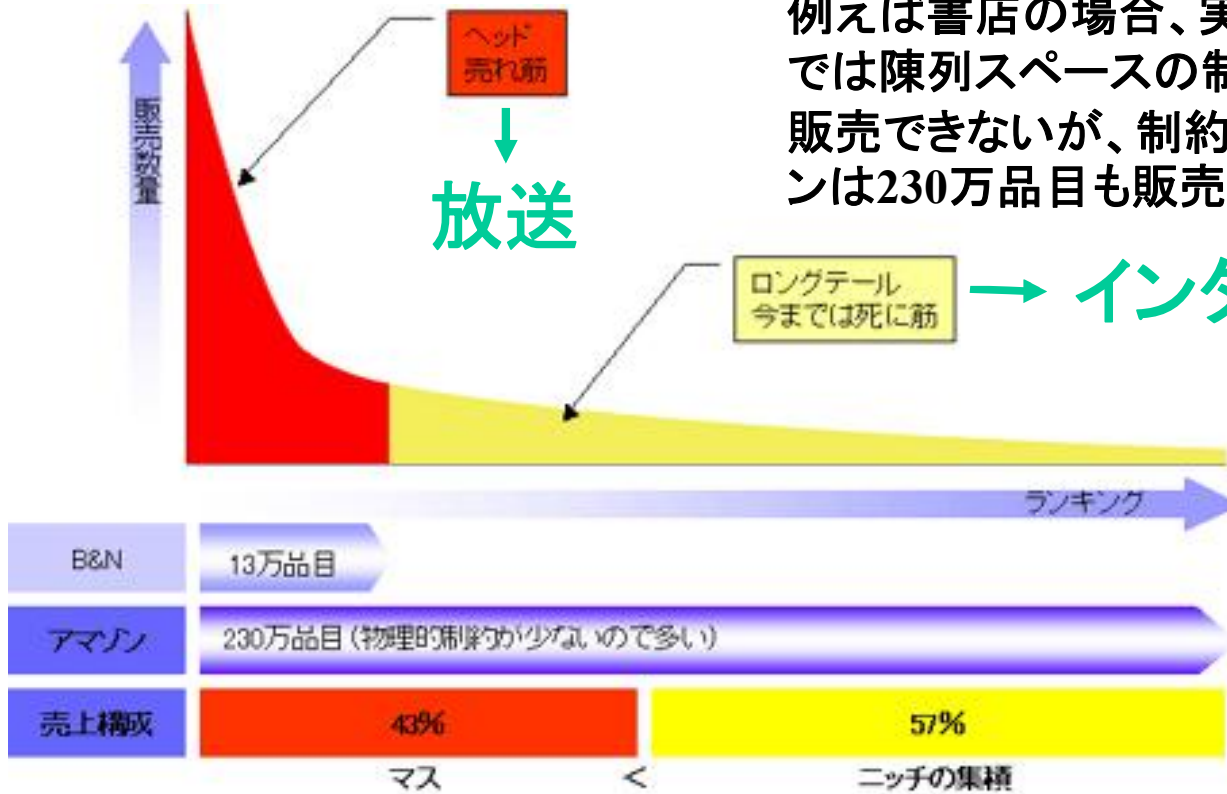
【都市施設】 「IPで相互接続された—」

- 「通信と放送の融合」というが？
 - ⇒「通信」: 秘匿義務、コンテンツに立ち入らない
 - ⇒「放送」: 公序良俗、コンテンツに責任をもつ
 - ⇒「放送」はメディアだが、「通信」はメディアではない
 - ⇒「放送文化」はあるが、「通信文化」はない！
- インターネットは通信と放送の両面の特徴をもっている
 - ⇒半公共性、匿名性
 - ⇒検索連動広告など新種の広告市場の急成長

アマゾン・ドット・コムが常識を変えた:ロングテール

ロングテールとは、ネット販売において、ほとんど売れないニッチ商品の販売額の合計が、ベストセラー商品の販売額合計を上回るようになる現象のこと。雑誌『ワイヤード』編集長のクリス・アンダーソンが提唱したもので、販売ランキング順に販売額の曲線を描くと、ベストセラーが恐竜の高い首(ヘッド)で、ニッチ商品が長い尾(テール)のようになっているところから名づけられた。

例えば書店の場合、実店舗のバーズ&ノーブルでは陳列スペースの制約があるので13万品目しか販売できないが、制約の少ないネット書店のアマゾンは230万品目も販売



インターネット数理科学は、放送領域とインターネット領域を同時カバーする情報技術へ進化!

③(ネットワークの)あちら側

⇒「グラフ理論」「金融工学理論」に基づくデータベース、検索エンジン最適化、検索連動データベース、ネット金融サービス

①ネットワークそのもの

⇒「グラフ理論」による動的ルーティング、帯域制御、放送型ルーティング
「デジタル信号処理理論」に基づく変復調技術

②(ネットワークの)こちら側

⇒「デジタル信号処理理論」に基づくコンテンツ符号化技術

2. ネットワークそのものを支える数理科学とは？

【1】 交換技術

- ・ 回線交換
- ・ パケット交換
- ・ IP(Internet Protocol)

ルータに
よるIP網

【2】 デジタル信号処理技術

- ・ 変復調 (モデム)
- ・ 音声・画像情報圧縮

ADSLモデム

モバイル

音声CODEC

画像CODEC

【3】 半導体・デバイス技術

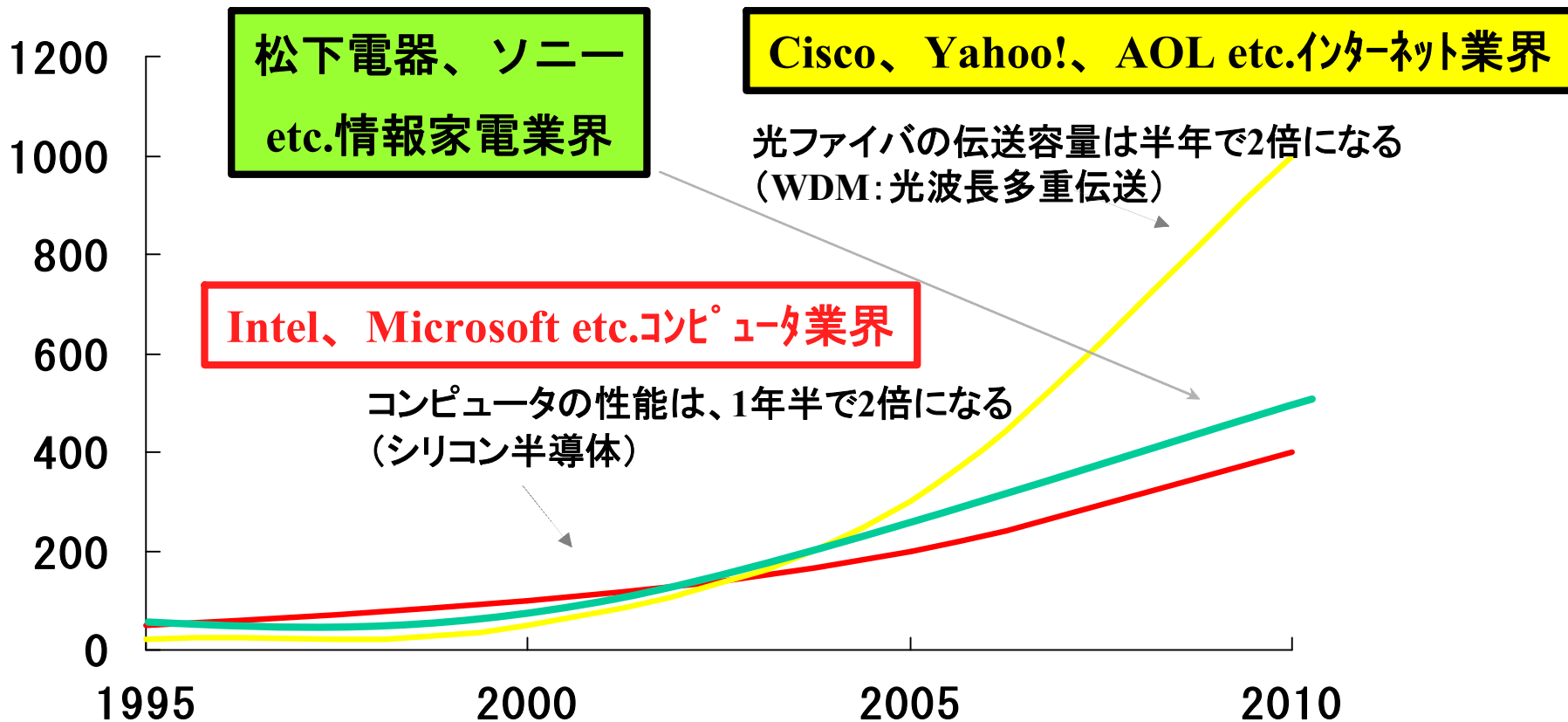
- ・ シリコン半導体
- ・ 化合物半導体＋光デバイス
- ・ 磁気ディスク

DWDM

FTTH

ハードディスク

ハードディスクの記憶容量は1年で2倍になる



本講義は、インターネットによって産業がどう変わったか？
そこにはどういう数理学のアイデアがあったか？

・・・というスタイルで組み立てています。

・例： 通信・コンピュータ・家電などのIT産業、
放送・新聞・出版・広告などのメディア産業

・・・15回分

社会の変化をテーマにそれを変えたのが数理学であったというストーリーです。情報革命は、第三次産業革命で、動力機関によるパワー革命（第一次）、物質科学による重化学工業（第二次）とは異なり、物理学・化学・機械工学・電気/電子工学的な科学技術と異なり、完全に数理学である。

・・・という歴史観に基づいています。

●以下の3つの分野にわたって①②③⇒①②③⇒・・・順に

●各々の数理科学が何を変えたのか？という視点で

③ネットワークのあちら側を支える数理科学

⇒「グラフ理論」「金融工学理論」に基づくデータベース、検索エンジン最適化、検索連動データベース、ネット金融サービス

①ネットワークそのものを支える数理科学

⇒「グラフ理論」による動的ルーティング、帯域制御、放送型ルーティング
「デジタル信号処理理論」に基づく変復調技術

②ネットワークのこちら側を支える数理科学

⇒「デジタル信号処理理論」に基づくコンテンツ符号化技術

通信の非常識が「ネットワークそのもの」を変化させた！

それまで、世界各国で国営企業による計画経済型の電話交換設備の整備と保守ビジネスが通信業界の根幹を形成してきました。ストロージャー式、クロスバー式、電子交換式、デジタル交換式と回線交換機が進化を続ける中で、約百年変わらずにきた仕組みは、1990年代半ば(日本は1997年)のISDN対応の整備終了と共に、全く新たな交換方式への移行期を迎えました。すなわち、主として世界中の国営キャリアが推進するレイヤ1-2でのATM(非同期転送モード)交換か？それともレイヤ1-2は専用線型としレイヤ3のルータによる経路制御を行うIPか？という重要なテクノロジーの選択は1990年代後半の市場に委ねられました。安田浩博士(現東大教授)とレオナルド・キャリリオーネ博士(伊CSELT)のリーダーシップの下、私も関わった動画像符号化標準MPEGの作業が峠を越えた頃、当時ポストISDNの本命とされたATM交換のキラー・アプリケーションは、VoD(Video On Demand)だということになりました。この標準化団体DAVICは、MPEG関係者をコアとした世界的活動となり、世界中の国営通信キャリア/国営放送局と関連ベンダー、米CATV業界と関連ベンダー、米コンピュータ業界のマイクロソフト、オラクル、IBM、サン、HPも参加した一大勢力を築きました。タイムワーナーによるフロリダでのフルサービス・ネットワークやベルアドランティック(現ベライゾン)によるADSL-VoDなどが試行されたこともあり、大いに盛り上がり始めたのですが、そこへ突如として現れたのがIPでした。

わずか10年前に普及し始めたIPの特徴は、徹底的な「コネクションレス」概念にあります。この徹底した考えは、通信業界に大きな波紋と共に衝撃を与えました。「電話というアプリケーションがあるから回線交換網がある」「VoDがあるからATM網がある」という全ての点において通信業界の常識からは、IPの考え方は、理解できないものでした。大学や研究機関内のコンピュータ・ネットワーク間を相互接続する技術こそが、「ネットワークのネットワーク」であるIP(インターネット)です。そもそもコンピュータに定まったアプリケーションなどないわけです。このアプリケーションを限定しないところにIPの特長が活かされたことは、歴史的に明らかです。使い方が自由であるからこそ、スイスのCERNでWWW、イリノイ大学でブラウザ、スタンフォード大学でヤフーとグーグルが生まれました。そして、発想豊かな人々から、新たなビジネスモデルやアプリケーションが続々と登場してくることでしょう。この「コネクションレス」だけでなく、「アプリケーションレス」こそが、「IPという通信業界の非常識」だったのです。かくして20世紀末、市場が選択したテクノロジーは、IPでした。

③(ネットワークの)あちら側

Web1.0(ポータル)⇒Web1.5(SNS)⇒Web2.0(ロングテール)

①ネットワークそのもの

ダイヤルアップ/2Gモバイル⇒ブロードバンド/3Gモバイル⇒ネット放送/NGN/ワイヤレスBB

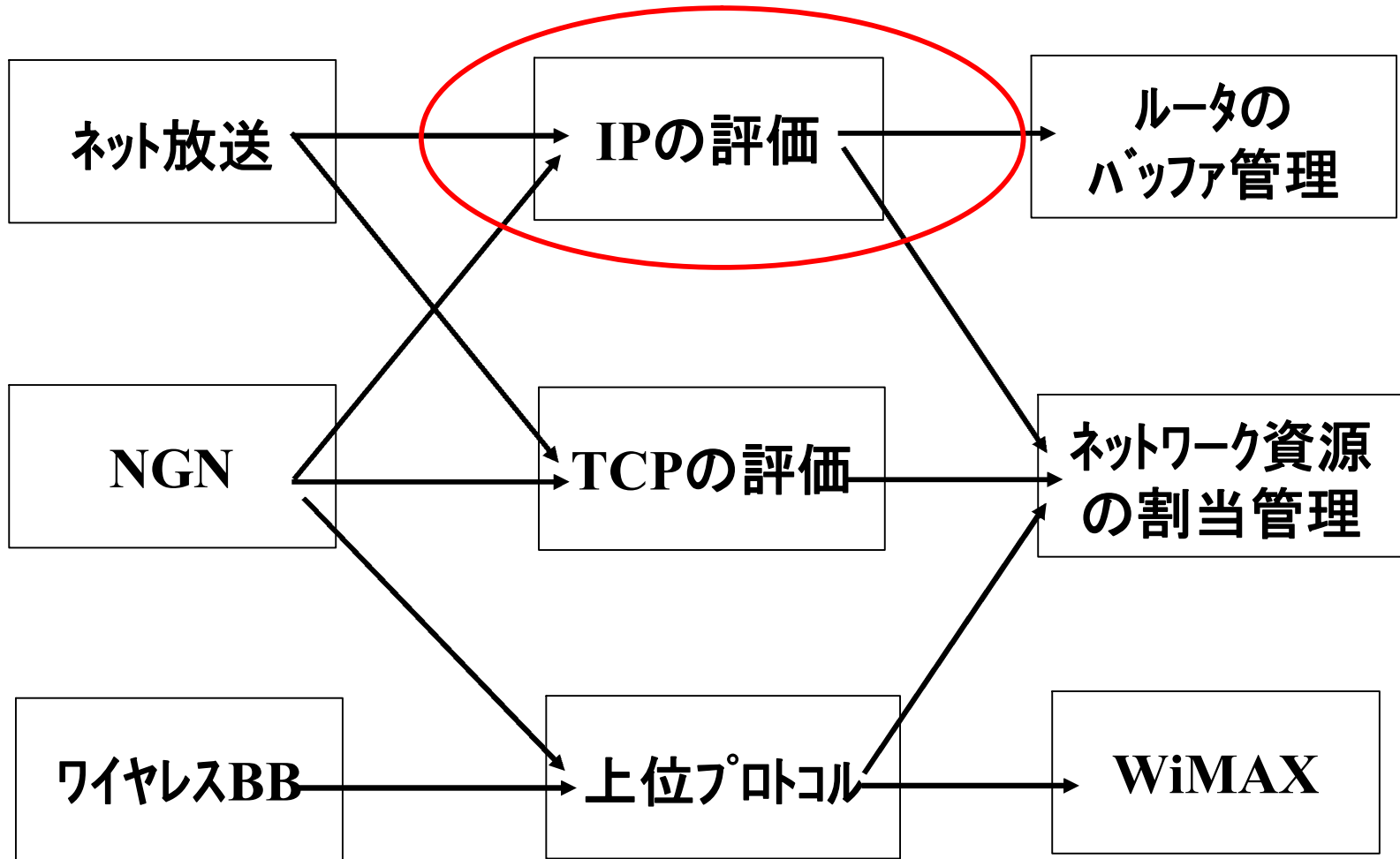
②(ネットワークの)こちら側

文字情報(Eメール)⇒HTML(ブラウザ)⇒動画(デジタル符号変換)

課題

着眼点

具体策



3. 帯域保証とベストエフォート・ネットワークとは？

端末AとBとの間に電話番号を発呼して交換機が動作し通信中は回線が接続状態になる ⇒ 「回線交換」: 帯域保証ネットワークの原型

*コネクション型ネットワーク

仮定：端末AとBが128Kbpsで、端末CとDが64Kbpsで通信を行う

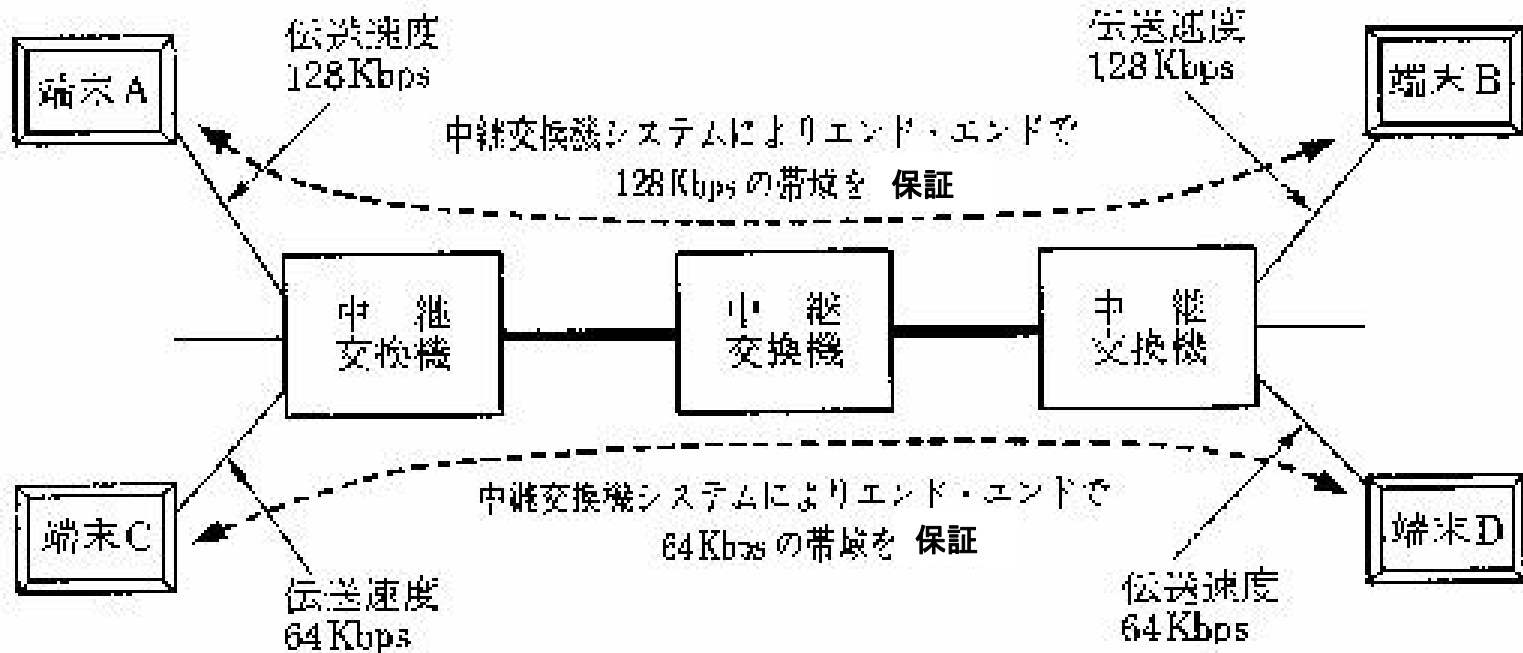


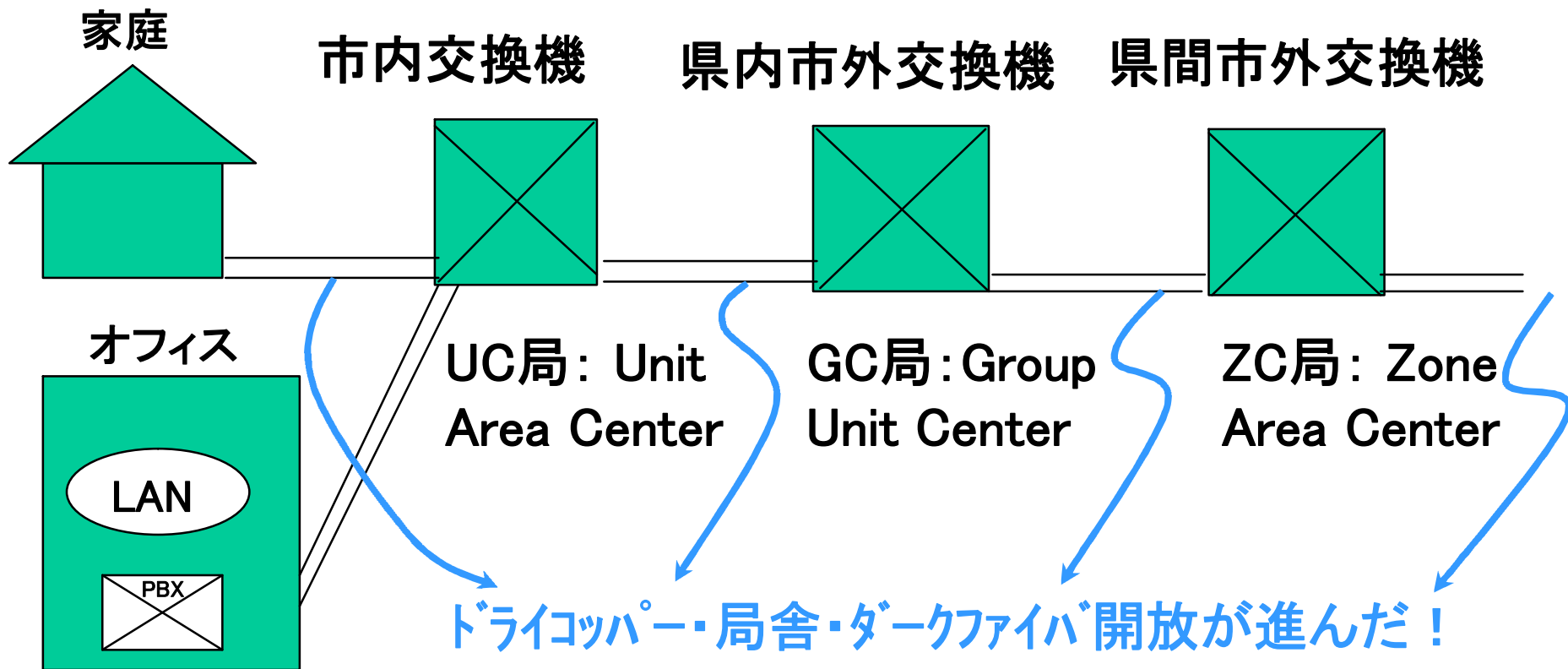
図 1.1 帯域保証ネットワーク

アクセスネットワーク

バックボーンネットワーク

ツイストペア線

光ファイバ



パケット交換によるベストエフォート・ネットワーク

端末AからBへはひとかたまりのデータ(パケット)の先頭に宛先アドレスと送元アドレスを付加して送受信する。パケット交換機の蓄積交換機能によって正しく宛先に届く ⇒ 「パケット交換」: ベストエフォート・ネットワークの原型

* コネクションレス型が基本

* コネクション型もある

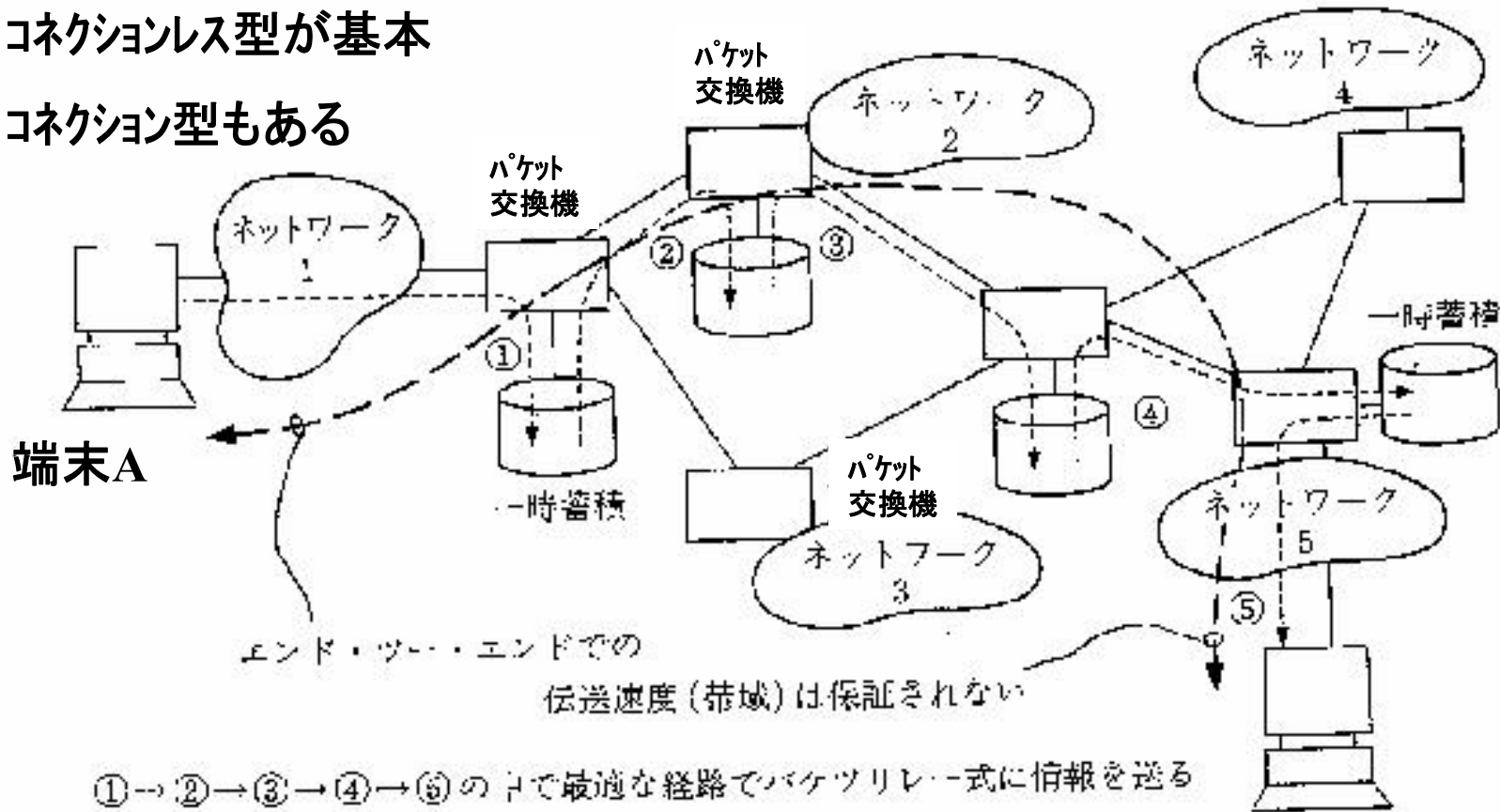


図 1.2 ベストエフォート・ネットワーク

表 1.1 2つのネットワークの比較

比較項目	ベストエフォート	帯域保証
交換方式	パケット交換	回線交換, ATM 交換
パケットロス	あり得る	回線交換 : なし ATM 交換 : あり得る
交換装置	ルータ	交換機
ネットワークコスト比 (大規模システム)	1	10~100
適したサービス	インターネット	音声, 動画像

表 1.2 ネットワーク伝送速度と画像・音声情報の伝送速度との関係

オーディオ	品質	信号帯域 (kHz)	サンプリング 周波数 (kHz)	間引き後 ビット・レート (bps)	圧縮後 ビット・レート (bps)
	電話音声		3.4	8	64k
AM 放送		7	16	130k	24k
FM 放送		7(ステレオ) または 14(モノラル) 10(ステレオ) または 20(モノラル)	16 または 32	510k	56k
			22.05 または 44.1	700k	64k
音楽 CD		20(ステレオ)	44.1	1.4M	112k~224k
ビデオ	品質	空間解像度 (縦×横)	フレーム・ レート/秒	間引き後 ビット・レート (bps)	圧縮後 ビット・レート (bps)
	ビデオ・ クリップ	80 × 60	1	55k	1.8~2.8k
			3	165k	6~9k
			10	550k	18~28k
	1/4 画面	160 × 120	3	1.1M	20~33k
			10	2.2M	70~110k
30			6.7M	220~335k	
VTR (VHS)	360 × 240	10	10M	330~500k	
		30	30M	1~1.5M	
テレビ放送		720 × 480	30	120M	4~6M

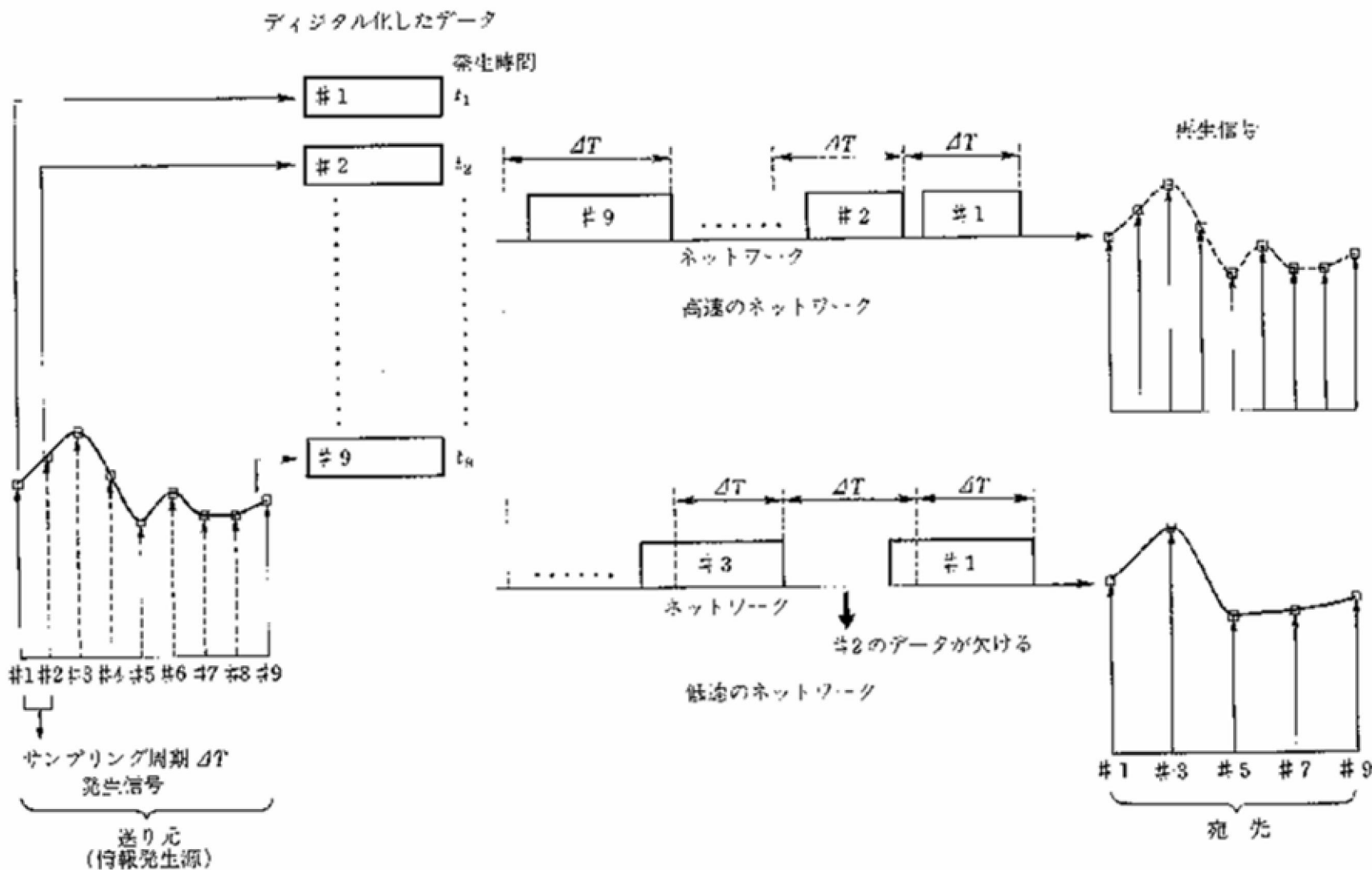


図 1.3 画像・音声情報の発生速度と伝送時間

4. パケット交換の延長としてのインターネットとIPとは？

言葉の由来

ネットワークのネットワーク⇒インターネット

広義:

複数のコンピュータ・ネットワークをインターネットワーキングと呼ばれる技術により相互接続したネットワーク広義のインターネット(an internet)。普通名詞。

狭義:

前述の広義のインターネットに該当するもの同士が非常に大きな規模で国際的に広く相互接続されている状態。またそれ全体をネットワークとみなしたときの呼称。

狭義のインターネット(The Internet, The Net)。

現在のところ唯一無二のため固有名詞として扱われる。一般に「インターネット」と呼ぶ場合はこちらを指す場合が多い。

本講では、こちらを指すこととする。

- Distributed communications network
 - リンクやノードを目標とする攻撃に耐えるネットワーク
 - 広範囲、異なる要求をもつユーザへのサービスインフラ

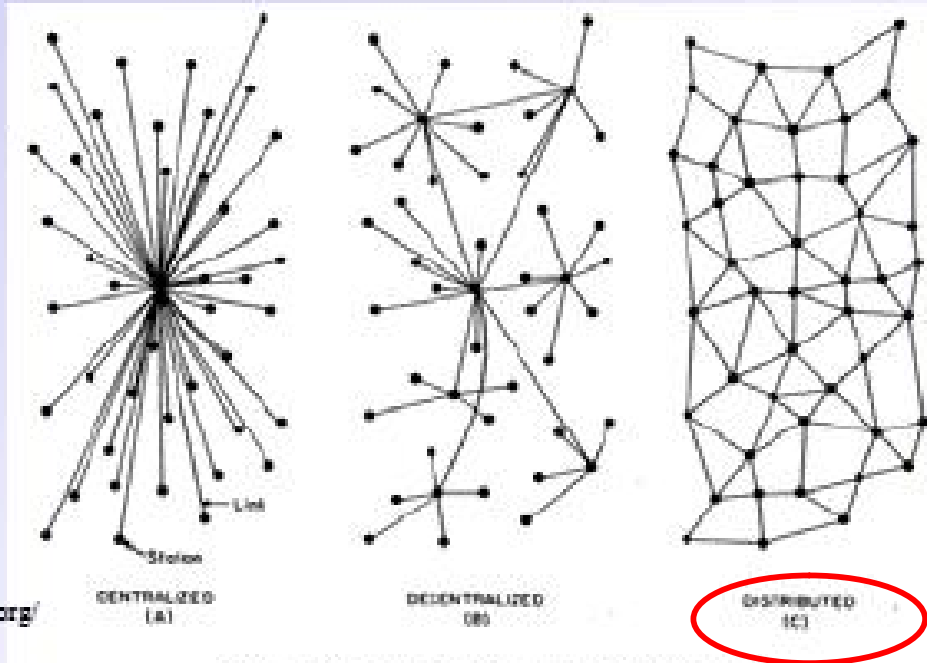


FIG. 1 - Centralized, Decentralized, and Distributed Networks

出典:
<http://www.cybergeography.org/atlas/historical.html>

六大州での比較

順位	州名	普及率(%)
1	オセアニア	51.77%
2	ヨーロッパ	32.02%
3	北アメリカ・南アメリカ	30.65%
4	アジア	8.29%
5	アフリカ	2.64%

世界のインターネット普及率(国別):ITU統計2004年

順位	国名・地域名	普及率(%)	順位	国名・地域名	普及率(%)
1	セントクリストファー・ネイビス	86.96%	21	ドイツ	50.00%
2	ニュージーランド	81.95%	22	イタリア	49.78%
3	アイスランド	77.00%	23	香港	48.91%
4	マルタ	76.01%	24	スロベニア	47.96%
5	スウェーデン	75.46%	25	オーストリア	47.52%
6	デンマーク	70.00%	26	チェコ	46.93%
7	スイス	65.85%	27	イスラエル	46.63%
8	大韓民国	65.68%	28	スロバキア	42.09%
9	オーストラリア	65.28%	29	フランス	41.37%
10	イギリス	63.27%	30	ベルギー	40.62%
11	カナダ	63.01%	31	ジャマイカ	39.87%
12	フィンランド	63.00%	32	マレーシア	39.71%
13	アメリカ合衆国	62.28%	33	ノルウェー	39.36%
14	オランダ	61.63%	34	キプロス	36.93%
15	ルクセンブルク	59.00%	35	セントルシア	36.67%
16	日本	58.69%	36	ラトビア	35.43%
17	シンガポール	56.12%	37	スペイン	34.85%
18	バルバドス	55.35%	38	マカオ	32.12%
19	台湾	53.64%	39	アラブ首長国連邦	31.85%
20	エストニア	51.22%	40	ニューカレドニア	30.17%

注)
セントクリスト
ファー・ネイビス、
別称
セントキッツ・
ネイビスは、西
インド諸島の
小アンティル諸
島にあるセント
クリストファー
島(セントキッツ
島)とネイビス
島の2つの島か
らなる独立国。
イギリス連邦
加盟国。

一般的にインターネットと言う場合、狭義のインターネット(The Internet)を指す。大小様々なコンピュータ・ネットワークを相互に連結させて、国際的な通信ネットワークが構築されている。インターネットの通信プロトコル には、初期にはさまざまなプロトコルが使われていたが、後に、より可用性の高いIPが標準的なプロトコルとして採用され、全世界的にまた一般的にも普及するようになった。

インターネットの管理

インターネットにおいて一般的に利用される各種の技術や管理制度は、歴史的経緯から一般に公開されている。インターネット上においては、特定の集中した責任主体は存在しない。全体を1つの組織・ネットワークとして管理するのではなく、接続している組織が各ネットワークを管理する建前となっている。事実上の管理主体(ICANN、IETF等)はあるにしても、それは接続している組織・ネットワークの総意として委任されていると言う建前になっている(国際的に中立的とされ、また一部は国際機関による 管理もある。ただ、ICANNは非営利団体ながらも米商務省の傘下であり、国際問題となっている)。それはインターネット・プロトコルの開発においても同様であり、通信標準は、RFC(Request for Comments)として具体化される。

インターネット接続が難しかった時代には、UUCPによる研究機関・大学や一部の企業などの間でのメール・ネットニュースの交換が多くみられた。専用線が高価だったための苦肉の策である。その後接続コストの低下に加え、World Wide Web(WWW)の流行、さらにパソコン向けOSのインターネット接続対応により、一般的ユーザへも爆発的な普及を見るに至った。

1970年代中頃、ネットワーク機器各社独自のネットワークアーキテクチャが次々に発表され始めた。機器を一つのメーカー製で揃えられるのであれば問題は無いが現実的には難しく、異なる機種同士を接続する為の標準化が急がれていた。

ISO(国際標準化機構)の情報処理システム技術委員会は1977年3月にSC16を設置、OSI (Open Systems Interconnection)の国際標準化を開始する。しかし、CCITT(国際電信電話諮問委員会)がOSI参照モデル案を参考として独自の検討を開始。CCITTとSC16での意見のすり合わせを行い、基本的な意見を合意。1982年にトランスポート層の標準、1983年にセッション層の標準の草稿が完成。

1984年、情報処理システム技術委員会はSC16からSC21にOSIの標準化を引き継がせ、1985年に応用層の新プロトコルを標準化項目に追加。その後現在まで、拡張や新たなプロトコルの制定が続けられている。

TCP/IPとOSI参照モデル

TCP/IPの基本仕様は1982年頃にはほぼ固まっており、OSI参照モデルは1984年に完成。当初の予定ではOSI参照モデルを基に、準拠した通信機器やソフトウェアが開発・製品化していくはずであったが、TCP/IPが1980年代後半から急速に普及した為、個別のOSIプロトコルに準拠した製品は普及しなかった。

OSI参照モデルはネットワークの基本モデルとして残り、互いを補い合う形に落ち着いた。

コンピュータの持つべき通信機能を階層構造に分割したモデル。OSI基本参照モデルとも呼ばれる。

1978年に、国際標準化機構(ISO)によって制定された、異機種間のデータ通信を実現するためのネットワーク構造の設計方針「OSI(Open Systems Interconnection)」に基づいて通信機能を以下の7階層に分割する。

第1層 - 物理層

電気信号の変換等。

第2層 - データリンク層

通信機器間の直接的な信号の受け渡し。

第3層 - ネットワーク層

ネットワークにおいて通信経路の選択。

第4層 - トランスポート層

ネットワークにおける通信管理。

第5層 - セッション層

通信プログラム(プロセス)間の通信の開始から終了までの手順。

第6層 - プレゼンテーション層

データの表現方法。

第7層 - アプリケーション層

ユーザー・アプリケーションが操作するインターフェース。

OSI参照モデルの実際例

7	アプリケーション層	HTTP, SMTP, SNMP, FTP, Telnet, AppleTalk, X.500
6	プレゼンテーション層	SMTP, SNMP, FTP, Telnet
5	セッション層	NetBIOS, NWLink, PAP, 名前付きパイプ
4	トランスポート層	<i>TCP</i> , UDP, SPX, NetBEUI
3	ネットワーク層	<i>IP</i> , ARP, RARP, ICMP, DHCP, IPX, NetBEUI
2	データリンク層	イーサネット, トークンリング, PPP, フレームリレー
1	物理層	電話線, 無線, 光ケーブル

OSIモデルは仕様ではなく指針であるため、全てのプロトコルやネットワークがOSIモデルに沿って実装されているとは限らない。従って、一部のプロトコルやサービスに関しては、OSIモデルのどの層に属するかについて、幾つかの異なる見解が存在する。複数層に跨っている物もある。図示の例はあくまでも例に過ぎない。

インターネットの基礎となる重要なプロトコルである。OSI参照モデルのネットワーク層にほぼ対応する機能を持つ。上位のプロトコルであるTCP(Transmission Control Protocol)やUDP(User Datagram Protocol)などとあわせて、TCP/IPとしてまとめて利用されることが多い。

IPは、最も基本的な通信単位であるパケットを相手に転送する役割を持つ。パケットには、発信者、受信者(手紙でいう宛て先)などの情報を含めることができる。発信者、受信者は、IPアドレスにより特定する。通常IPはセグメントと呼ばれるネットワーク空間内ではしか通信することが出来ない。この為、異なるセグメント間での通信の場合は、パケットが発信者から送出される際に、発信者自身が持つ配送先と分岐先の対応表であるルーティングテーブルに従って、適切なルータに届くように送出フレームのMACアドレスが設定される。この経路リレーにより必要に応じて別のネットワークへと中継され、受信者へと届けられる。

IPは、コネクションレス方式で、自己のインタフェースからパケットを送出することのみを目的としており、相手まで確実にパケットが届いていることを保証しないので、途中でパケットが失われた場合には単に到着しない。確実な送受信を保証する必要がある場合は上位プロトコルのTCPなどがその役目を負う。

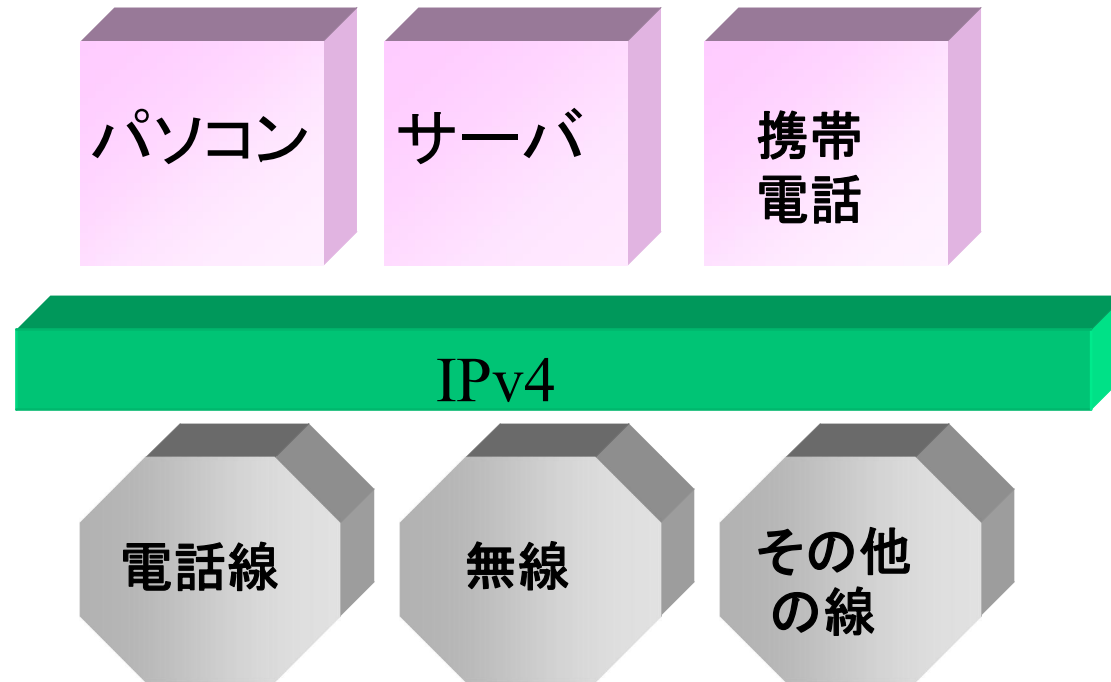
現在主に利用されているのは32ビットのアドレス空間を持つIPv4であり、IPアドレスの不足が発生することが予測されることから128ビットのアドレス空間を持つIPv6が作られた。

1. 上位レイヤを規定しない

⇒アプリケーションを自由に作れる

2. 下位レイヤを規定しない

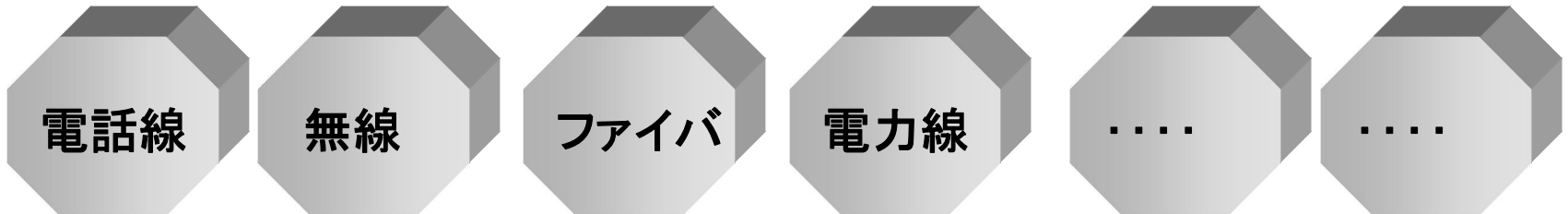
⇒どのような通信網(銅線、無線、光ファイバ)
も使える



もっと “たくさん” “いろいろ” つながる



何でも つながる / つなげる



Internet Protocol(インターネットプロトコル、IP、IPv4)は、OSI参照モデルにおいてネットワーク層に位置付けられるプロトコルである。

転送の単位であるパケットの経路選択と、その断片化と再統合を主な機能とする。TCP/IPの基本機能としてインターネットなどで世界中広く用いられている。

IPパケット

IPパケットの先頭には必ずIPヘッダが付加され、それにより経路選択などのIPの機能が実現されている。以下にパケット形式図とそれぞれの領域の役割などを記す。

パケット形式図

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
バージョン		ヘッダ長		サービス種別				全長																							
識別子										フラグ		断片位置																			
生存時間				プロトコル				チェックサム																							
送信元アドレス																															
宛先アドレス																															
拡張アドレス																															
データ																															

各パケット内の意味

①バージョン (Version)

IPのバージョンであり、IPv4の場合は4が格納される。

②ヘッダ長 (Internet Header Length、IHL)

IPヘッダの長さで、4オクテット単位で表される。この値によりデータの開始位置を示す。

③サービス種別 (Type Of Service、TOS)

パケットが転送される際に重視するサービスを指定する。ただし、ルータの実装においてパケット毎にサービスを区別する事は容易では無い。送信元が全てを重視とする設定を行う場合や、ネットワークの運用方針によっては境界に位置するルータが値を書き換える場合もある。優先度はパケットの優先度を8段階で示す。パケットの送信待ち行列を8個用いて実現する実装もある。遅延度はパケットを早く宛先へと到達させる事を求める。転送量はパケットを多く宛先へと到達させる事を求める。信頼性はパケットを失わず宛先へと到達させる事を求める。

0	1	2	3	4	5	6	7
優先度			遅延度	転送量	信頼性	予備	

④全長 (Total Length) : IPヘッダを含むパケットの全長。

⑤識別子 (Identification)

パケットの送信元が一意的な値を格納する。断片化したパケットの復元に用いられる。

- ⑥フラグ (Various Control Flags): 断片化の制御に用いる。ビット0は使用しない。
 ビット1は1の場合に断片化の禁止を意味する
 ビット2は断片化された各パケットにおいて、0の場合は最終パケットを意味する。

0	1	2
予備	禁止	継続

⑦断片位置 (Fragment Offset)

ルータなどがパケットを断片化した際に、その位置を8オクテット単位で格納する。
 断片化したパケットの復元に用いられる。

⑧生存時間 (Time to Live、TTL)

パケットの余命を示す値である。送信元はパケットが経由できるルータ数の上限を設定し、ルータはパケットを転送する毎に値を一つ減らし、値が0になるとパケットは破棄される。パケットがネットワーク上で無限に巡回する問題を防ぐ効果が有る。

⑨プロトコル (Protocol)

TCPなどの上位プロトコルを示す値が設定される。パケットの宛先である装置がパケットを受信すると、この値を用いて上位プロトコルを識別し、その実装へペイロード(パケットの総サイズのうち、宛先アドレスや発信元アドレスなどの管理情報【ヘッダ情報】を除いた正味のデータのことをいう)を渡す。

⑩チェックサム(検査合計、Header Checksum)

IPヘッダの誤り検査に用いられる。転送毎に生存時間の値が変わるため、ルータはチェックサムも転送毎に再計算する必要がある。

* Check Sum: 簡易な誤り検出に用いられるアルゴリズム

バイト列を頭から順に加算し、総計の下位1バイトを抽出する。

バイト列「00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F」の総和は「78」でそのチェックサムは「78」となる。

「70 00 02 00 00 00 06 00 00 00 00 00 00 00 00 00」のチェックサムは「78」であり、前述のバイト列と等しい値となってしまう。

下位1バイトが同じであれば同じ値を返すため、誤り検出の方式としての信頼性は高くない。

実際は、以下のように計算する。

ネットワークを利用してのデータ送信時、IPパケットにデータを分割した際、IPヘッダの検査に利用される。

- i. IPヘッダを16ビット単位で計算
- ii. その補数をチェックサムへセット
- iii. 送信
- iv. IPヘッダを16ビット単位で計算

- ⑪送信元アドレス (Source Address)
パケットの送信元アドレスが設定される。
- ⑫宛先アドレス (Destination Address)
パケットの送信先アドレスが設定される。
- ⑬拡張情報 (Options)
可変長の拡張情報が32ビット単位で設定される。
- ⑭データ
パケットが伝達すべきペイロード。

IPで用いられる32ビットのアドレスはIPアドレス(インターネット上で機器を判別するための一意的なアドレス)と呼ばれ、IPアドレスはネットワークアドレスとホストアドレスに分けて用いられる。

RFC791において、ネットワークアドレスとホストアドレスの境界は、IPアドレスの先頭のビット列で定められ、境界の位置によりIPアドレスはクラス(class)として分類された。

クラス	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
a	0	ネットワーク										ホスト																				
b	1	0	ネットワーク											ホスト																		
c	1	1	0	ネットワーク														ホスト														
	1	1	1	拡張アドレスモード																												

しかしRFC791の方式は、ホストアドレスの割り当て数が、クラスaでは16777215、クラスbでは65535にもものぼる。これ程の膨大な数のホストを収容するネットワークは一般に存在せず、アドレスの利用に無駄を生じたため、新たな対策が必要となった。

そこでRFC950においてサブネット(subnet)が定められた。サブネットはホストアドレスの一部をアドレスマスク(address mask)を用いて分割する事により得られ、あるネットワークアドレスを与えられた組織内において、更にネットワークを分割するために用いられる。

	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31																																								
	1	0	ネットワーク										サブネット										ホスト																		
アドレスマスク	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RFC1597においては、ある組織内で私的に用いられる下記のプライベートアドレスが定められた。

10.0.0.0～10.255.255.255

172.16.0.0～172.31.255.255

192.168.0.0～192.168.255.255

上記のアドレス以外はグローバルアドレスとも呼ばれる。

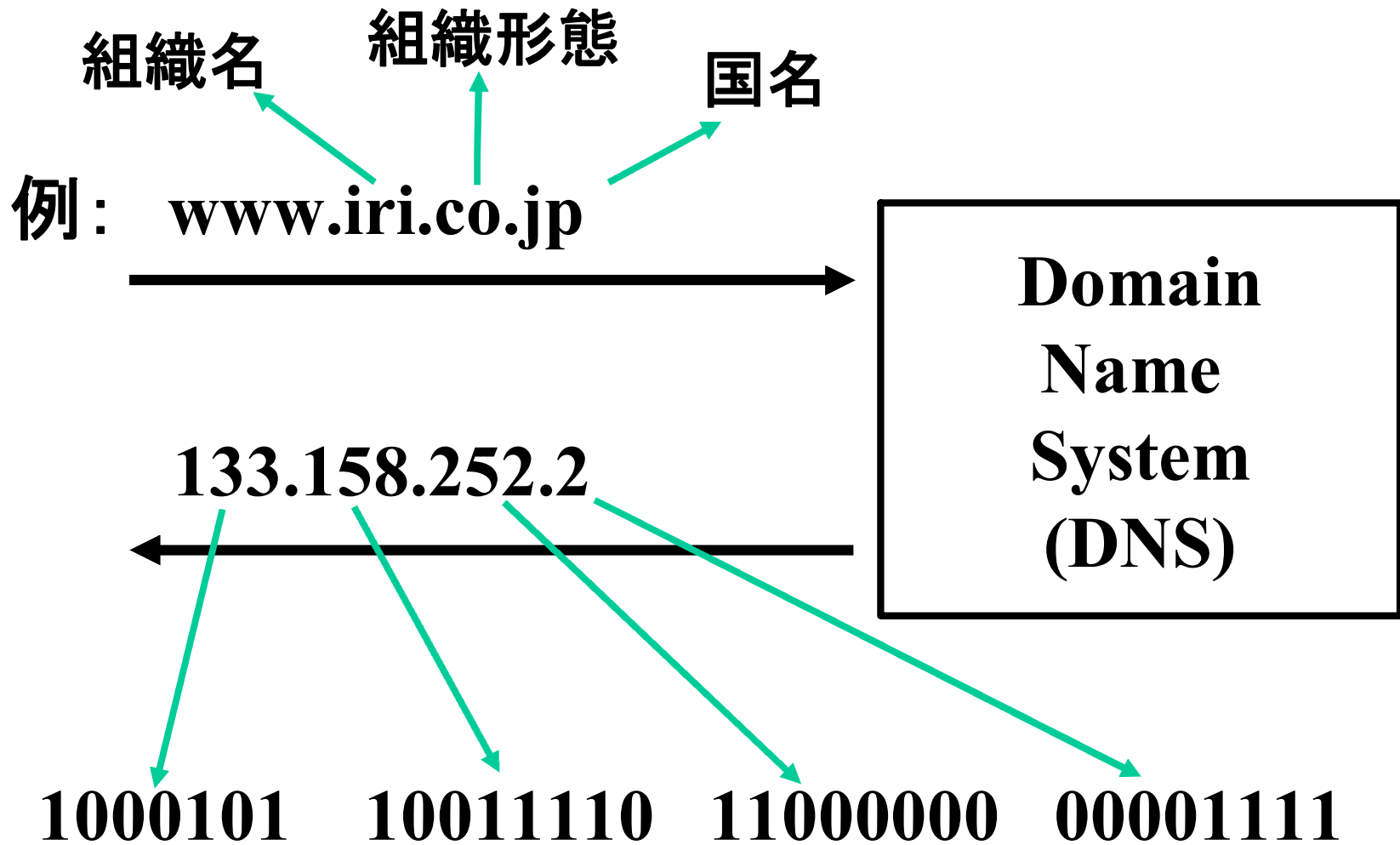
予約アドレス一覧

アドレス

種別

0.0.0.0/8	Current network (only valid as source address)	RFC 1700
10.0.0.0/8	プライベートアドレス	RFC 1918
14.0.0.0/8	Public data network	RFC 1700
39.0.0.0/8	予約	RFC 1797
127.0.0.0/8	ローカルホストアドレス(ループバックテスト用)	RFC 1700
128.0.0.0/16	予約	
169.254.0.0/16	プライベートアドレス	RFC 3927
172.16.0.0/12	プライベートアドレス	RFC 1918
191.255.0.0/16		
192.0.0.0/24		
192.0.2.0/24	テストネットワーク	RFC 3330
192.88.99.0/24	IPv6からIPv4への変換	RFC 3068
192.168.0.0/16	プライベートアドレス	RFC 1918
198.18.0.0/15	ネットワーク性能試験	RFC 2544
223.255.255.0/24	予約	RFC 3330
224.0.0.0/4	マルチキャスト(クラスD)	RFC 3171
240.0.0.0/4	予約(クラスE)	RFC 1700
255.255.255.255	ブロードキャスト	

実際のIPアドレスはドメイン名で利用される



IETF (Internet Engineering Task Force) でRFC (Request for Comments) を作成してインターネットの標準を作っていく精神

"We reject kings, presidents, and voting.

*We believe in
rough consensus and running code."*

-Dave Clark (1992)

- インターネットは、ロジカルなアーキテクチャ。
実装形態としての TCP/IP とネットワーク機器
 - 複数のメディアを利用可能にする“環境”(アーキテクチャ)の提供がいろいろな意味で“鍵”となる。
- 人々は、新しい利用法やアプリケーションを発明開発する“可能性(Possibility)”のために、透明性(Transparency)が必要なのである。
- “Commons”としてのインフラの提供が、インターネットアーキテクチャである。

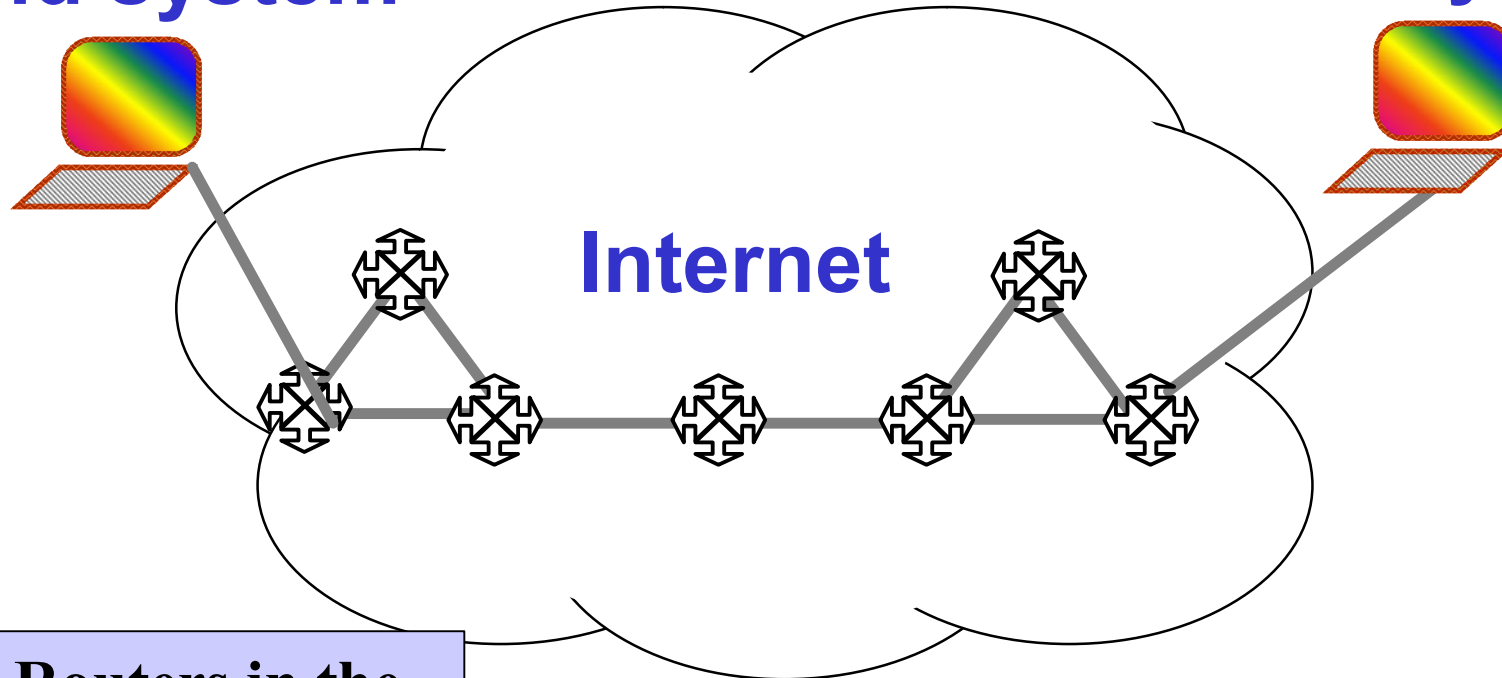


Robert Kahn : Vint.Cerf博士と共にTCP/ IPの開発者

出典: 江崎浩(東京大学大学院情報理工学系研究科教授) Interop2006 Executive Summit

End system

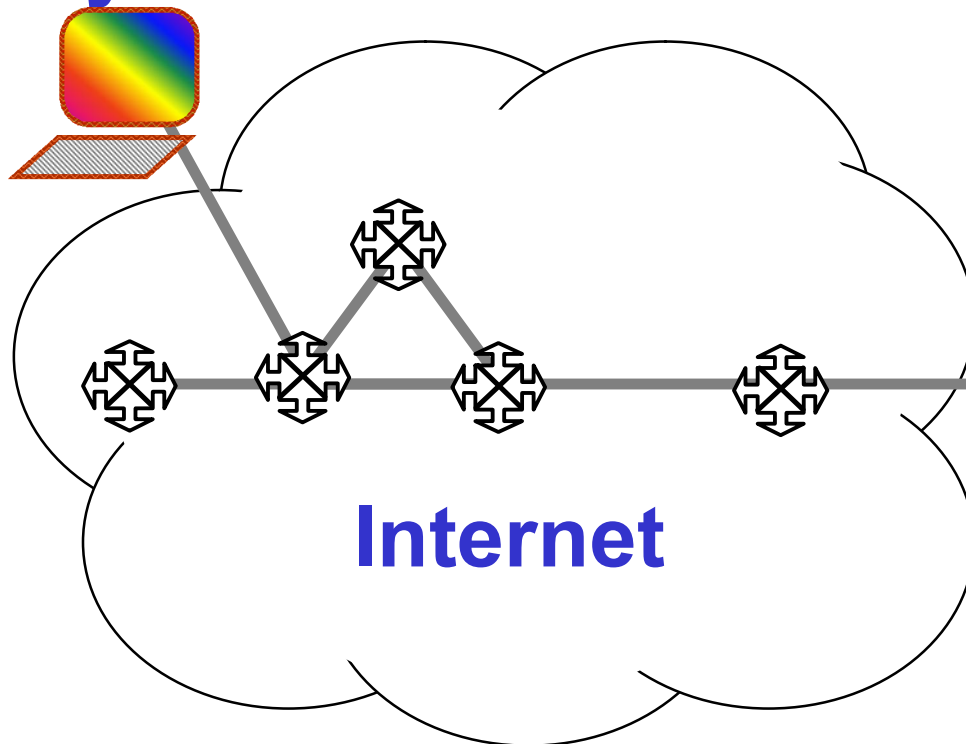
End system



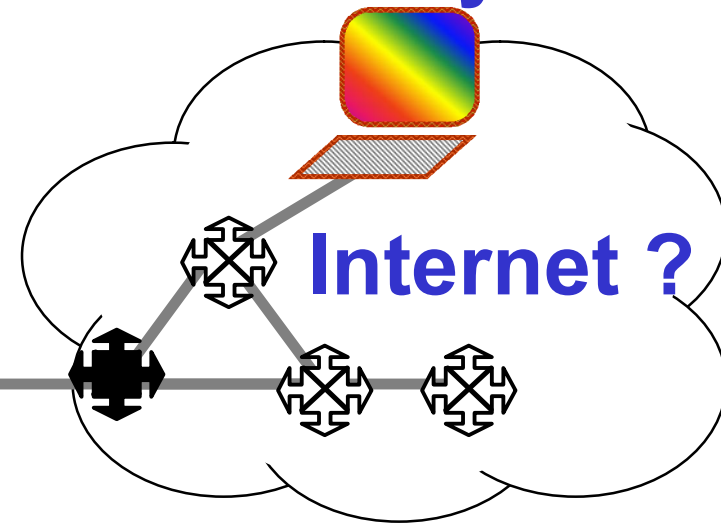
Routers in the middle

出典: 江崎浩 (東京大学大学院情報理工学系研究科教授) Interop2006 Executive Summit

End system



End system?



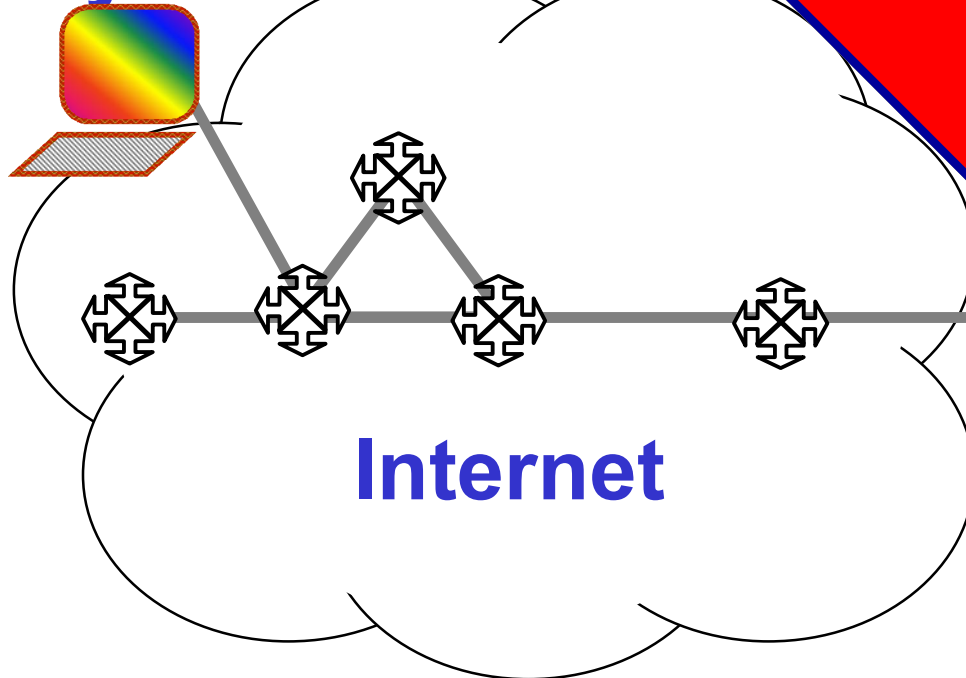
Intermediate nodes

- Proxy server
- Firewall
- Protocol translator
- Dial-up

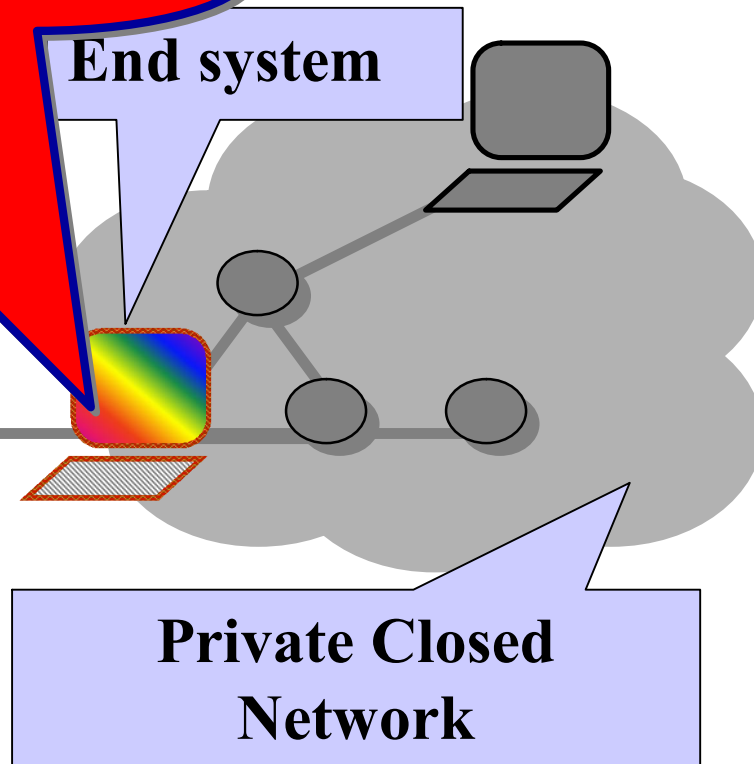
ゲートウェイ装置の存在

- 技術面：良い面は見当たらない
 要求 = 高機能・高性能・高信頼性
 - ビジネス面：排他性・管理性
- (*) つながないのが一番かも？

End system



End system



ご清聴ありがとうございました