



# IPv6 入門

## — Internet Protocol Version 6 —

(社)日本ネットワークインフォメーションセンター

(Japan Network Information Center)

宇井 隆晴 (UI, Takaharu)

ui@nic.ad.jp



2

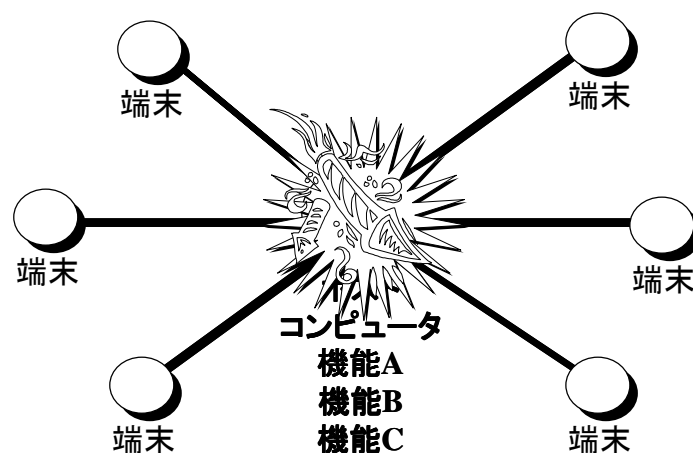
## 構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv6の今
- IPv6のこれから

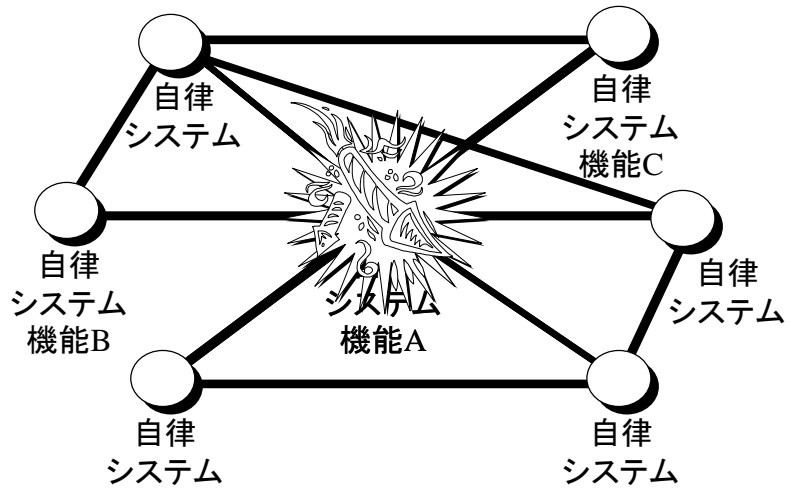
## ARPA Project

- アメリカ国防総省の「核戦争にも耐えられるネットワークを！」の一声で新しいネットワーク技術の開発がスタート
  - 障害に強い分散型のネットワーク
  - 単純だが確実な転送のできるプロトコル
- 1970年代に Ethernet が開発された
- 現在まで30年に及ぶインターネットの歴史の根源

## 核戦争にも耐える？



## 核戦争にも耐える？



Internet Week 2000 [2000/12/18]

©Copyright 2000 Japan Network Information Center

## internet から The Internet へ

- アメリカの研究所、大学などの相互接続からスタート
- 企業、一般団体などへ拡大
- 国境を超えて全世界的なネットワークへ
- 目的も軍事→学術研究→商用などの一般化へ

Internet Week 2000 [2000/12/18]

©Copyright 2000 Japan Network Information Center

## 標準化への道

- インターネットにおける技術的發展は RFC (Request for Comments) という形で公開され、標準化
- みんなにひろまった技術が標準的な規格として用いられるようになる
- インターネットは常に実験場

## RFC

- RFC821 : [SMTP] メールのやり取りの仕方
- RFC959 : [FTP] ファイルの転送方式
- RFC1661: [PPP] 電話でISPに接続するのに使う
- RFC1939: [POP3] メールボックスから取り込む
- RFC2068: [HTTP] WEBのアクセスに関する方法
- RFC2564: ユーザセキュリティハンドブック

## おまけ:joke RFC

- RFC1149:
  - 「鳥類キャリアによるIPデータグラムの転送に関する標準」
  - RFC2549 で QoS を実現するための拡張
- RFC2324: HTCPCP
  - 「Hyper Text Coffee Pot Control Protocol」
- 4月1日の恒例行事
  - 内容はいたって真面目(なフリ)

## 伝書鳩プロトコルのココロ

- 情報は巻物の形で鳥キャリアの片足に巻きつけられる
- 鳥キャリアは高い遅延性、低いスループット、低い高度でのサービスを提供できる
- 鳥キャリアは1次元のネットワークケーブルと異なり、3次元空間を利用できる
- 鳥キャリアは早春を除いて互いに干渉させることなく使用できる
- 鳥キャリアは本能的に衝突回避機能を持っている

## 構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv6の今
- IPv6のこれから

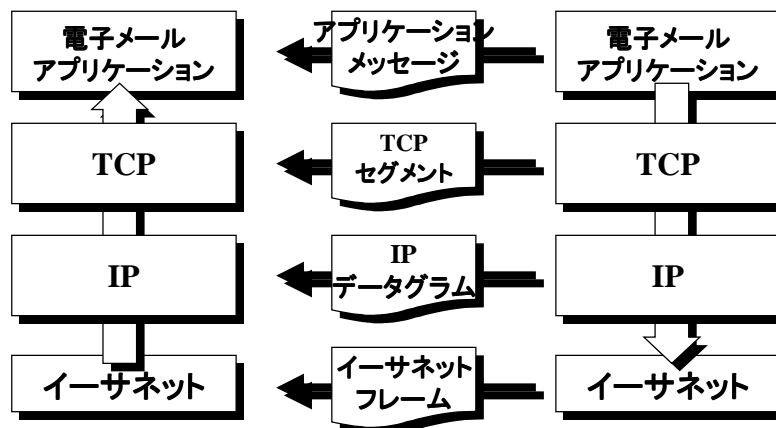
## プロトコルって？

- 通信を行うための手順・決め事
  - 手紙: 表に郵便番号・住所・氏名を書いて、ポストに投函する
  - 電話: 相手の電話番号を入力し、「もしもし〇〇ですが…」と話し出す
  - 会談: あらかじめアポイントをとり、時間場所を取り決め、5分前には到着する

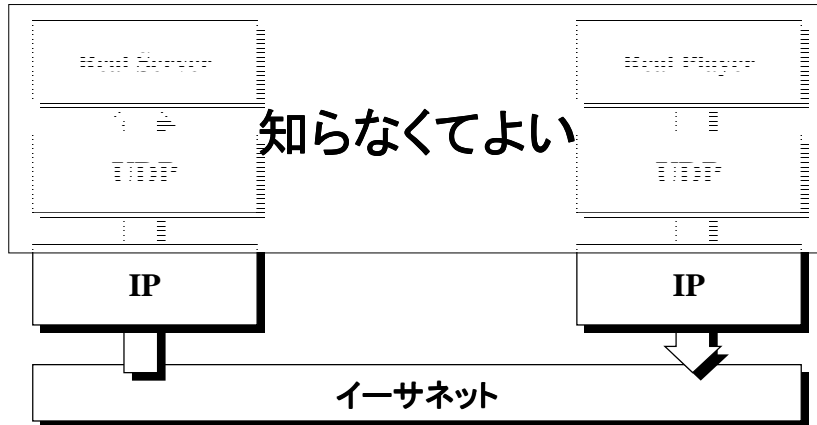
## ネットワークでのプロトコル

- 情報をネットワークを通した相手とやりとりするための手順
  - 電子メールを相手のメールボックスに届けるのってどういうやりとりがあるの？
  - WWWサーバにアクセスしてホームページを見てるとき、ブラウザはサーバと何をやりとりしているの？
  - ネットワークケーブルを通して通信しているみたいだけど、どうなってるの？

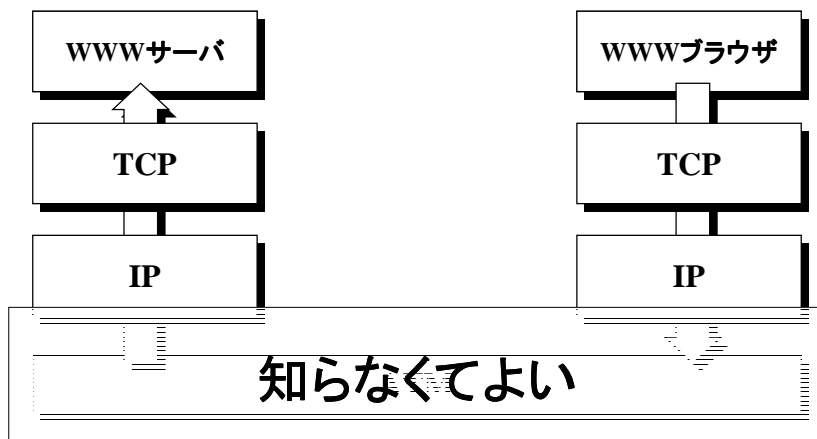
## 電子メール送信の裏側



# なぜ階層的プロトコルなのか？



# なぜ階層的プロトコルなのか？





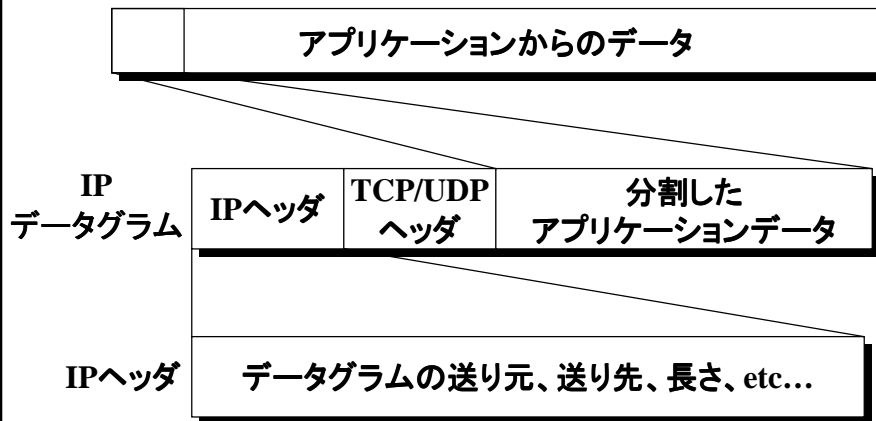
## インターネットのプロトコル

アプリケーション層	電子メール SMTP	WWW HTTP	telnet	ftp
トランスポート層	TCP		UDP	
インターネット層	IP = Internet Protocol			
ネットワーク インタフェース層	イーサネット	ATM	FDDI	

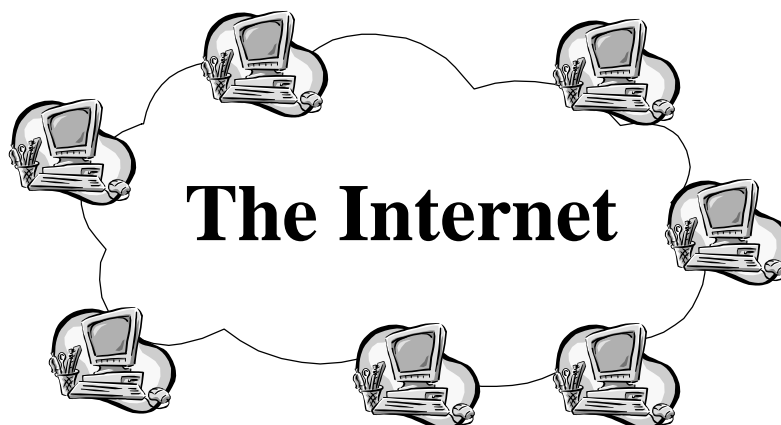
## インターネットプロトコル(IP)

- アプリケーションからの情報を、ネットワークフレームサイズに収まるように分割する
- 情報の送り先などのヘッダ情報を付加する
- 分割した情報とヘッダ情報をIPデータグラムとして構成する
- IPデータグラムを始点ホストから終点ホストまで転送する。

## IPデータグラムとヘッダ



## 送り先をどう特定する？



## IPアドレス

- 電話は電話番号で相手を特定する
- 手紙は住所と名前で相手を特定する
- IPネットワークにも相手を特定するための何かが必要！

**IPネットワークの住所 → IPアドレス**

## IPv4アドレス

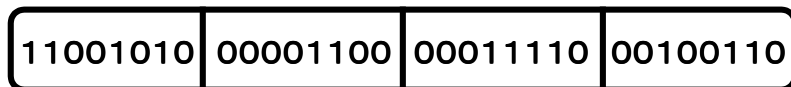
- インターネット上でホストを一意に特定するための番号
- 32ビットの0と1による数値

11001010	00001100	00011110	00100110
----------	----------	----------	----------

- IPで通信をするすべてのホストにIPアドレスは存在する

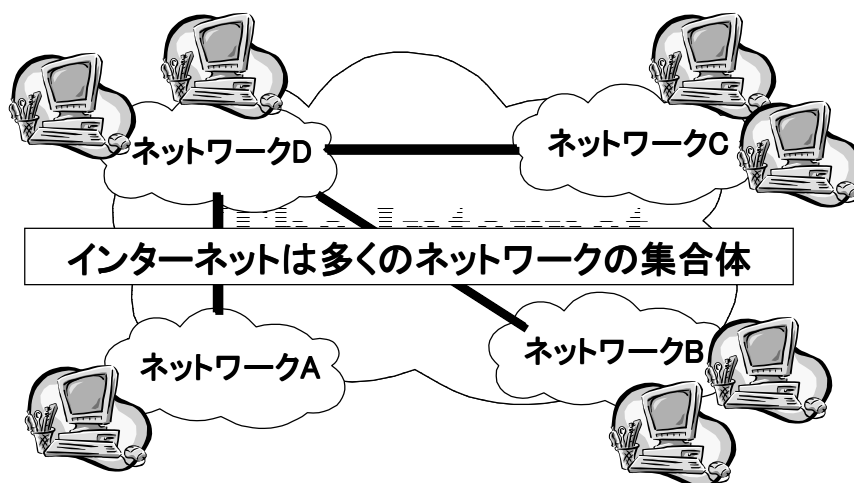
## IPv4アドレスの表記

- 8ビットずつを10進数であらわし、ピリオドで区切った4つの数字
- 8ビットなので、それぞれは0から255



**202 . 12 . 30 . 38**

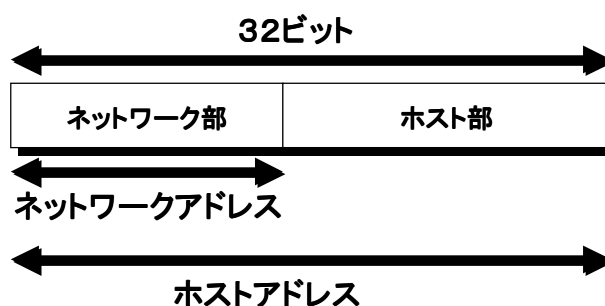
## 相手までの道筋は？



## ネットワークの識別

- IPアドレスによって通信相手を特定するだけでは、IP データグラムを届けることはできない
- インターネットはネットワークの集合なので、相手がどのネットワークにいるのかが分からなければいけない
- IPアドレスで、相手のネットワークの識別と、相手ホストの特定ができるとうれしい！

## IPアドレスの意味付け



- IPアドレスを「ネットワークを表す部分」と「ホストを表す部分」に分割

## ネットワーク部の大きさは？



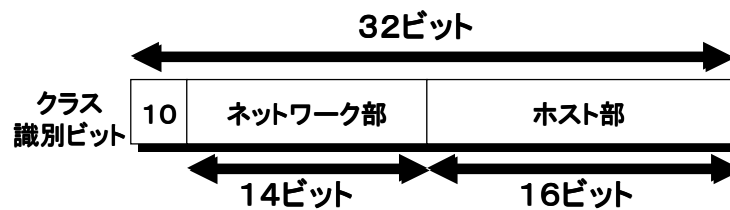
- ネットワーク部の大きさによって使えるネットワークアドレスの数とホスト数が決まる
  - 8ビットならネットワーク256、ホスト1600万
  - 16ビットならネットワーク、ホスト共に6万5千
- さまざまなネットワークに対応するためには固定にしないほうがいい

## いくつかのパターン: クラスA



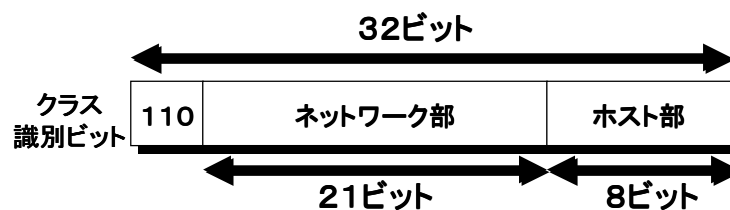
- クラス A アドレス（大規模ネットワーク用）
  - ネットワーク内に1600万のホストを持つことができる
  - インターネット全体で128のネットワークに割り当てることができる

## いくつかのパターン: クラスB



- クラス B アドレス (中規模ネットワーク用)
  - ネットワーク内に65536のホストを持つことができる
  - インターネット全体で16384のネットワークに割り当てることができる

## いくつかのパターン: クラスC

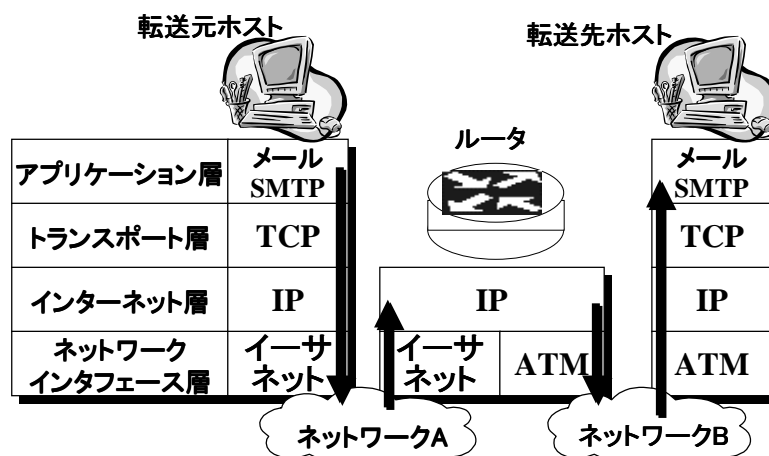


- クラス C アドレス (小規模ネットワーク用)
  - ネットワーク内に256のホストを持つことができる
  - インターネット全体で200万のネットワークに割り当てることができる

## ネットワークアドレス表記

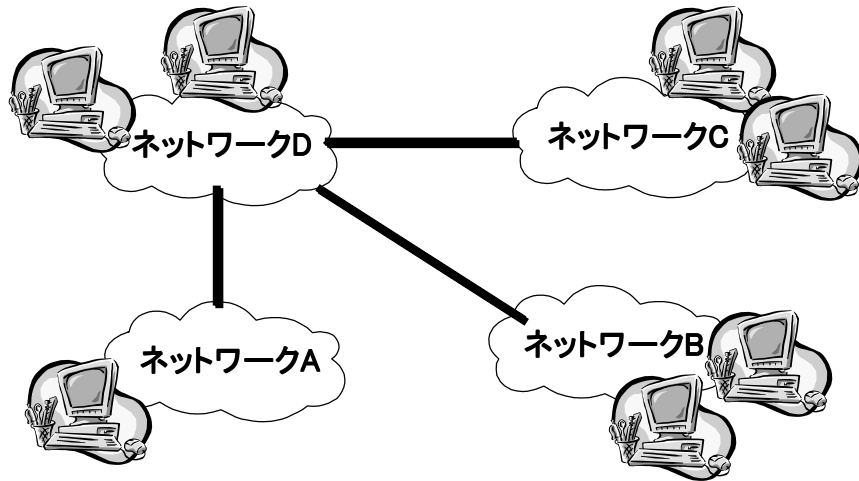
- IPアドレスの先頭のクラス識別ビットを見ればアドレスクラスがわかり、どこまでがネットワーク部かを判別できる
- ネットワークアドレスはホスト部を0で埋めた形で表記する
  - 10.0.0.0 (クラスA) 00001010...
  - 172.16.0.0 (クラスB) 10101100...
  - 192.168.1.0 (クラスC) 11000000...

## IP データグラムの転送





# IPデータグラムの転送経路は？

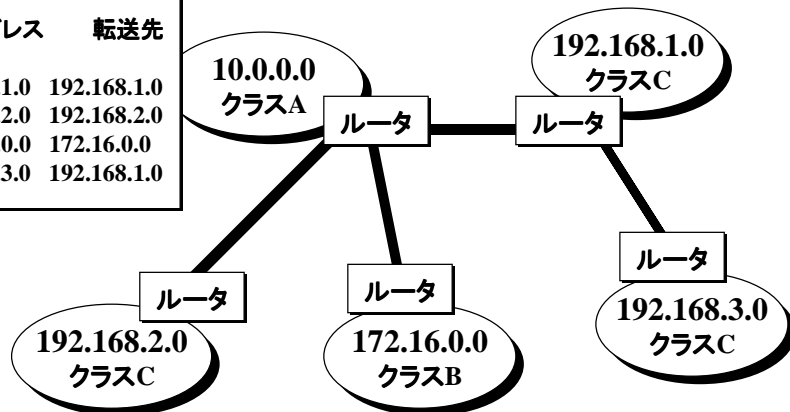


Internet Week 2000 [2000/12/18]

©Copyright 2000 Japan Network Information Center

# IPデータグラムの転送経路は？

経路表	
終点アドレス	転送先
192.168.1.0	192.168.1.0
192.168.2.0	192.168.2.0
172.16.0.0	172.16.0.0
192.168.3.0	192.168.1.0



Internet Week 2000 [2000/12/18]

©Copyright 2000 Japan Network Information Center

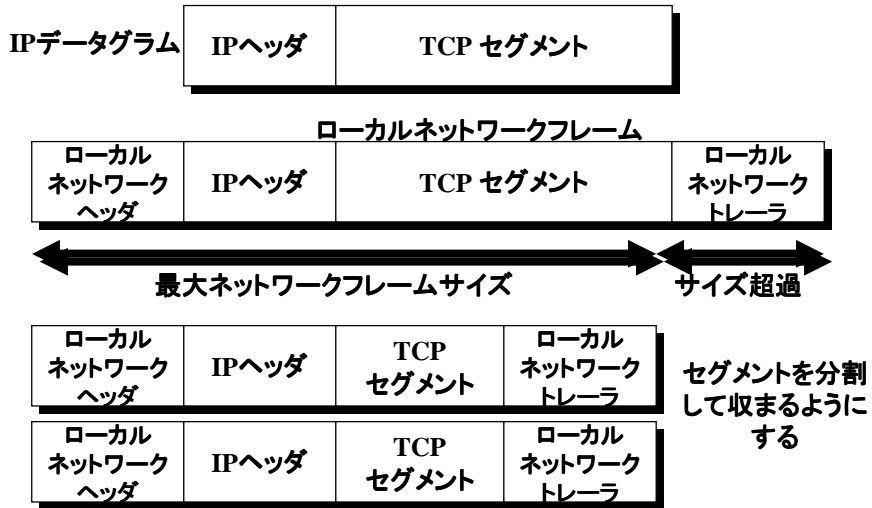
## 経路制御

- IPデータグラムをどのルータに投げればよいのか？ → 経路制御
- 各ルータは最終あて先ネットワークと、それに対応する中継ルータの一覧情報を保持する → 経路表
- つまり、ネットワークが増えれば経路表のエントリ数も増える

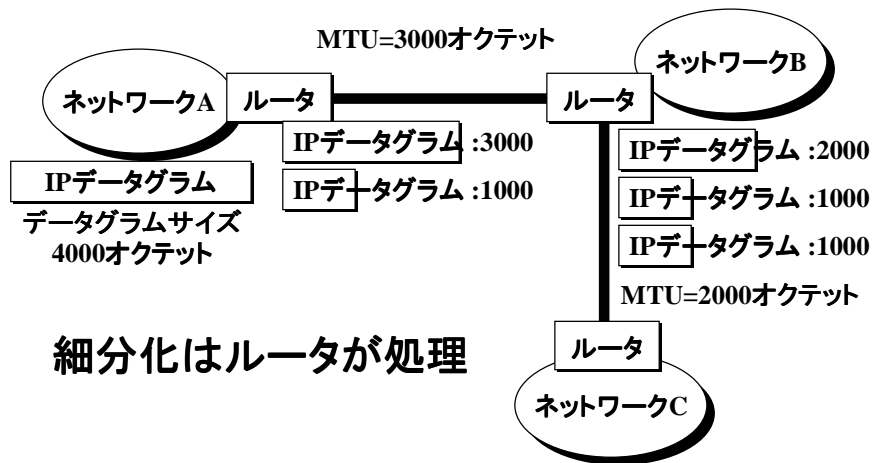
## IPデータグラムの中継

- IPデータグラムは最終あて先ネットワークにたどり着くまで、ルータによりネットワークを転々とする
  - ネットワークには、その種類によって最大フレームサイズ(MTU:Maximum Transmission Unit)が存在する
    - イーサネットは1500オクテット
    - FDDIは4470オクテット
- IPデータグラムの大きさが最大フレームサイズよりも大きかったら？

# IPデータグラムの細分化



# 細分化の例



## IPv4 ここまでのおさらい

- IPアドレスは32ビット
- ネットワーク部の大きさは3タイプ
  - クラスA、クラスB、クラスC
- ネットワークの数だけの経路表エントリ
- MTUの差で細分化発生の可能性
  - 細分化はルータが処理

## 構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv6の今
- IPv6のこれから

## 経路制御を考える

- ネットワークの数が増えると経路情報が増える
- 経路情報が増えるとルータの負荷が増大する
- 経路情報の数を抑制するには？

1つのネットワークに対して  
1つのネットワークアドレスを割り当てる

## 1ネットワーク1クラス

- 1000個のホストを持つネットワーク
  - クラスC(ホスト数256)だと足りない
  - クラスB(ホスト数6万5千)だと多すぎる？
- クラスCを4つあげれば足りるけど、経路情報も4つになってしまう
- じゃあクラスBをあげよう！

## クラスBがなくなっちゃう！

- インターネットの発展に伴い、接続ネットワークが増加
- クラスBを奮発していたけど、クラスBネットワークは1万6千しか作れない
- 仕方ないのでクラスCを複数個あげる

**当然経路情報が急増！！**

## クラスを捨てろ！

- クラスは8ビット単位でしかネットワークの大きさを定義できないので、アドレス利用の無駄が大きい
- アドレスクラスは経路情報爆発の原因の一つ
- ルータの性能的限界があるので経路情報はなんとか抑えたい

## CIDR

- CIDR...Classless Inter-Domain Routing
- ネットワークアドレスの区切りを8ビットごとではなく、どこでも区切れるようにする
- IPアドレスの先頭ビットでクラスを識別する手法は廃止

クラスフル から クラスレス へ

## CIDR表記

202 . 12 . 30 . 38

11001010	0001100	00011110	00100110
----------	---------	----------	----------



ネットワークアドレス

先頭ビットが110なので、クラスフルな考えのもとでは「クラスC」

ネットワークアドレスは24ビット  
ホスト数 256

## CIDR表記

202 . 12 . 30 . 38 / 22

11001010	0001100	000111	10	00100110
----------	---------	--------	----	----------



ネットワークアドレス

202. 12. 30. 38 / 22  
というCIDR表記のもとでは  
ネットワークアドレスは22ビット  
ホスト数 1024

## CIDRなら...

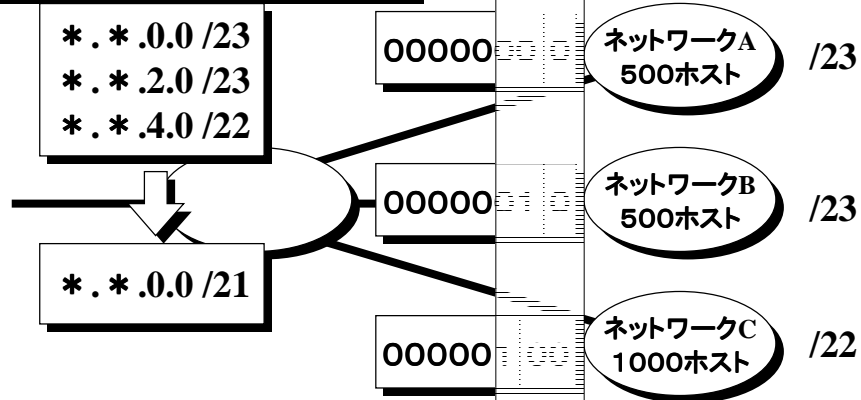
- ネットワークに対してちょうどよい大きさのアドレスを割り当てることができる
- 複数のクラスフルアドレスを割り当てていたネットワークも一つのアドレスブロックにできるので経路情報を節約できる
- ネットワークトポロジに従った割り振りを行うことでさらに経路情報を減らせる



## 経路情報の集約

Aggregation (集約・集成)

第3オクテット



## 無駄はなくなったけど...

- CIDRの導入により、アドレス割り当ての無駄は減少
- 経路情報はうまく集約(aggregate)できた
- でも...インターネットの発展に対して32ビットのアドレスは小さすぎる

## 32ビットってどのくらいの大きさ？

- 32ビット = 2の32乗  $\approx$  約40億
- 世界人口を60億人とすると...
  - みんなにあげるにはちょっと足りない...
- 携帯電話や家庭用ゲーム機、インターネット常時接続サービスなどを考えると、今後さらにIPアドレス要求は大きくなる

## アドレス節約しなくちゃ

- IPアドレスはインターネットに接続しているすべてのホストに一意につけられていなければならない
- じゃあ、インターネットに直接接続する必要のないホストには割り当てなくてよい？
  - 社内ネットワークのみに接続しているホスト
  - プロキシサーバを介してインターネットにアクセスしているホスト

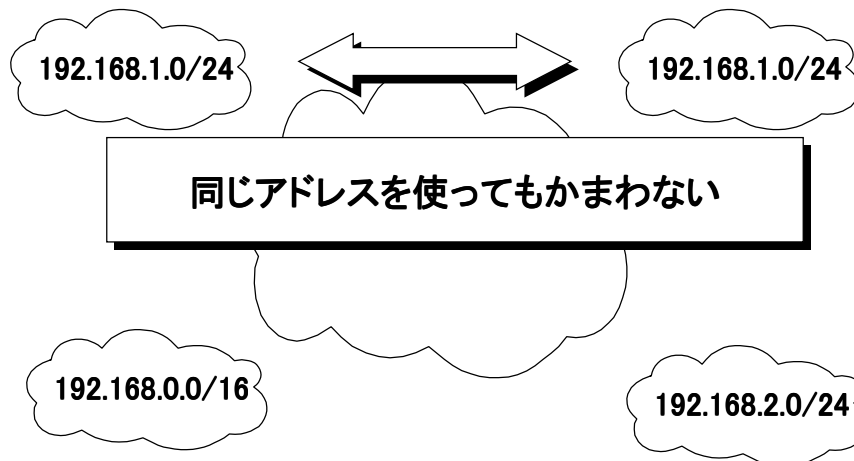
## グローバルとプライベート

- IPアドレスには、インターネット上で一意に割り当てられなければならないグローバルアドレスと、閉じた環境の中で自由に使えるプライベートアドレスがある
- プライベートアドレスを用いたネットワークはインターネットに直接接続できない
- プライベートアドレスは異なるネットワークで同じアドレスを使うことができる

## プライベートアドレス

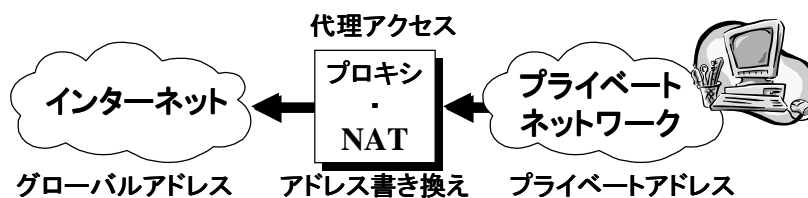
- RFC1918 で以下のアドレスがプライベートアドレスとして定義されている
  - 10.0.0.0 ~ 10.255.255.255 (10.0.0.0 /8)
  - 172.16.0.0 ~ 172.31.255.255 (172.16.0.0 /12)
  - 192.168.0.0 ~ 192.168.255.255 (192.168.0.0 /16)
- プライベートアドレスはインターネットに直接接続しない限り自由に使ってよい

## プライベートアドレスの利用



## プライベートアドレスの活用

- プライベートアドレスのネットワークは直接インターネットに接続できないが、プロキシサーバやNATを用いることで間接的に接続可能



## インターネットの一般化と要求

- インターネットが発展し一般化したのに伴い、新しい適用分野や、新しい機能要求が出てきた
  - プラグ&プレイ      DHCP +  $\alpha$
  - モバイル              Mobile IP
  - セキュリティ        IPSec
  - リアルタイム通信    Diffserv, RSVP
  - Etc...

## IPv4の問題のおさらい

- アドレスの不足
- 経路制御情報の増大
- 細分化、ヘッダ処理によるルータ負荷
- サービス要求に対する機能拡張

## 問題は解決したか？

- CIDRは有効に機能し、割り当ての節約・経路情報の集約はある程度成功
  - でも根本的にアドレスが足りない
- NATとプライベートアドレスでアドレスはかなり節約されている
  - NATでは動作しないIPアプリケーションも多い
- 細分化、ヘッダ処理は依然存在
- 機能拡張は後付け機能なので互換性や普及がイマイチ

## じゃあ作り直そう

- という流れで IP というプロトコルの見直しからやろうじゃないか、ということに。

→ IPv6 へ

## 構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv6の今
- IPv6のこれから

## ありがとうIPv4 こんにちはIPv6

- IPv4は20年以上にわたりインターネットを支えてきた基幹技術
- しかしいつまでもIPv4にしがみついているわけにはいかない
- 危機はいまそこにある
- 根本的な解決を目指してIPv6へ

## IP Next Generation

- 1991年7月
  - IPアドレスが足りなくなる、という研究を受けて IETFが調査開始
- 1992年11月
  - RFC1380 アドレスの先行き調査結果
  - 次世代のインターネットプロトコル検討開始
- 1993年12月
  - RFC1550 IPngへの機能要求

## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行



## 提案されたプロトコル

- **CATNIP** 壮大な理想だけど未完成...
  - TCP, OSI, Novell を共通利用
- **SIPP** アドレス64ビットじゃ足りないんじゃない？
  - IPv4を拡張し、アドレスを64ビットへ拡大
- **TUBA** 従来のIPv4との整合性に問題ありそう
  - IPを置き換えるプロトコル。可変長アドレス

## IPv6への道

- 1995年1月
  - RFC1752 SIPPをベースにアドレスを128bit化
  - IPng(next generation)から IPv6 (IP version 6)へと正式に改名
- 1995年12月
  - RFC1884 IPv6 Addressing Architecture
    - 1998年7月に RFC2373 として改定
- 1998年末 IPv6関係RFC大改定
  - RFC2460 IPv6 Specification, etc...

## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

## IPv6 のアドレス空間

- アドレスの長さは128ビット！
  - IPv4 の4倍の長さ
  - IPv4 の $2^{96}$ 倍のアドレス数
- $2^{128}$ 個のアドレス数
  - だいたい  $3.4 \times 10^{38}$  個
  - ばら撒いても陸地  $1\text{cm}^2$ あたり  $2.2 \times 10^{20}$ 個
- とにかく想像できないくらいたくさん！

## IPv6のアドレス表記

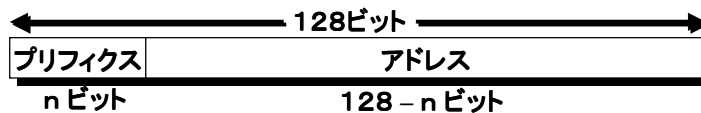
- 128bitはとっても長い！
- IPv4と同じように書くと...
  - 123.123.123.123.123.123.123.123.123.123.  
123.123.123.123
- 16ビットごとに区切って16進数で書く
- 区切り文字は“:”(コロン)
  - FFDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210

## IPv6 のアドレス省略表記

- 連続する0のブロックは省略できる
  - 1080 : 0 : 0 : 0 : 8 : 800 : 200C : 417A  
1080 : : 8 : 800 : 200C : 417A
  - 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : FF01 : 9123  
:: FF01 : 9123
- 省略できるのは1ヶ所だけ
  - 0 : 0 : 0 : FF01 : 9123 : 0 : 0 : 0  
:: FF01 : 9123 : 0 : 0 : 0  
:: FF01 : 9123 :: ← こうは書けない

## IPv6 アドレスの種類

- アドレス形式プリフィクス
  - IPv6 アドレスの種類を指定



001	集約可能なグローバルユニキャストアドレス
1111 1110 10	リンクローカルユニキャストアドレス
1111 1110 11	サイトローカルユニキャストアドレス
1111 1111	マルチキャストアドレス

## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

## 経路情報の集約

- 経路情報を集約するためには...
  - クラスレスなアドレス構造
  - ネットワークの構造に応じた割り振り
  - 同じネットワークには連続したアドレスブロックを割り振る
- IPv6 は IPv4 での経験を元に集約可能 (Aggregatable) なアドレス構造となっている。

## 集約可能グローバルユニキャストアドレス

- ネットワークトポロジに応じた階層構造を持つアドレス

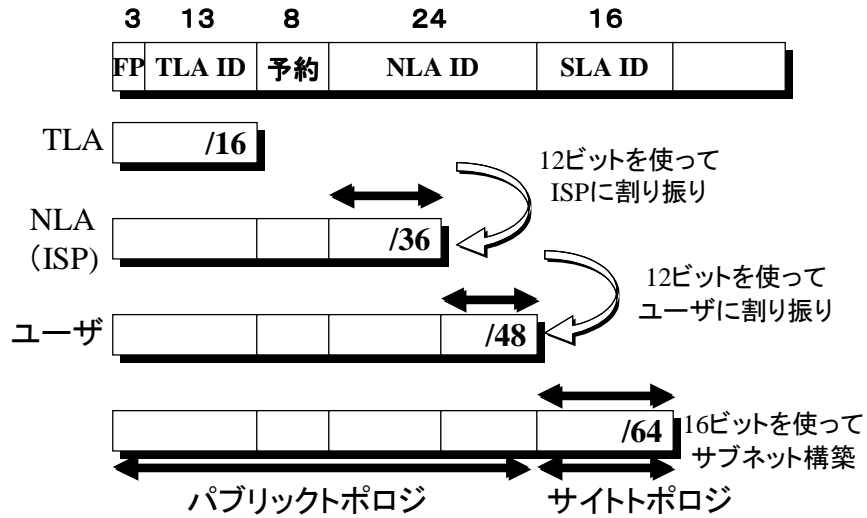
3	13	8	24	16	64
FP	TLA ID	予約	NLA ID	SLA ID	インタフェースID

パブリックトポロジ

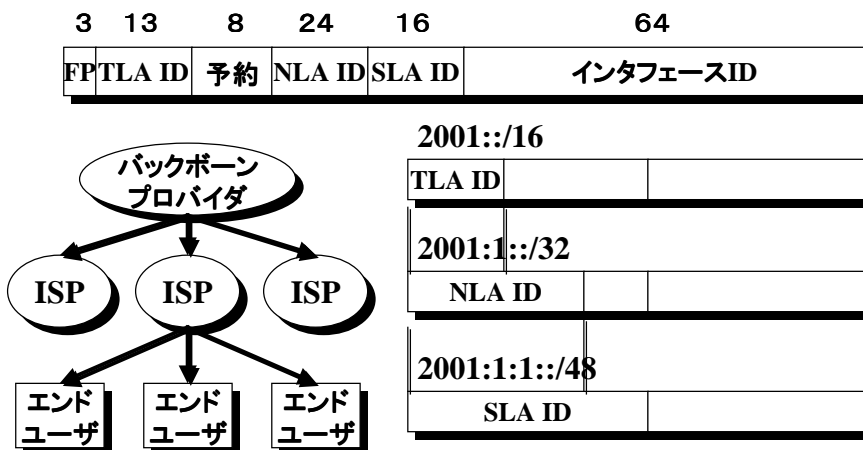
サイト  
トポロジ

FP	アドレス形式プリフィクス「001」
TLA ID	最上位階層集約子
NLA ID	次階層集約子
SLA ID	サイト階層集約子
インタフェースID	インタフェース識別子

## アドレス割り振りの例



## 階層的な割り振り



## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

## IPv4 のヘッダ

Ver	IHL	TOS	データグラム長	
ID		フラグ	オフセット	
TTL	プロトコル	ヘッダチェックサム		
発信元IPアドレス				
送信先IPアドレス				
オプション(可変長)				

- IHL(ヘッダ長)、オプション
  - 可変長が諸悪の根源
- TOS
  - 使われていない
  - でも優先付けは必要
- ID、フラグ、オフセット
  - 細分化があるから
- プロトコル
  - 上位層プロトコルは知らなくていい
- ヘッダチェックサム
  - 意味ない

## IPv6 のヘッダ

Ver	クラス	フローラベル	
	ペイロード長	次ヘッダ	中継制限
発信元IPアドレス			
送信先IPアドレス			

- クラス、フローラベル
  - 優先度の設定
- ペイロード長
  - 基本ヘッダより後ろの長さ
- 次ヘッダ
  - オプションヘッダが続く場合の種類
- 中継制限
  - データグラムの最大中継数

## いろいろな機能はオプションで

- IPv6 ヘッダは基本情報のみでサイズ固定
- 拡張機能は独立ヘッダとして連結する

IPv6 ヘッダ	拡張 ヘッダ	拡張 ヘッダ	TCP ヘッダ	アプリケーション データ
-------------	-----------	-----------	------------	-----------------

基本ヘッダは固定長なので処理が単純  
必要な機能情報だけを付加できる  
将来的な拡張にも柔軟に対応可能



## 経路中での細分化禁止

- ルータ負荷の原因である細分化禁止
- 経路途中での細分化を起こさないようにするためには...
  - ネットワークにはMTUが存在する
  - MTU以上のIPデータグラムを送ってはいけない
  - 始点から終点までで経由するすべてのネットワークのMTUを調べ、その最小値をデータグラムサイズとする
- IPv6 は経路上の最小MTUを探索する

## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

## ルータが教えてくれるさ！

- IPv6なら、ネットワークに接続するとルータが設定に必要な情報をインタフェースに教えてくれる
- インタフェースはルータからのネットワーク情報と、自分のインタフェースIDでアドレスを生成



ネットワークID

インタフェースID

128ビットの IPv6 アドレス

## なんでこんなに簡単なの？

- ネットワークインタフェースにはもともと一意な番号が割り振られている
- それを利用すればインターネット上で一意なアドレスを作るのは容易
- インタフェースIDだけで64ビットもある
- ネットワークIDの目的は経路情報の集約

## DHCP と何が違うの？

- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) はあらかじめプールされたアドレスの割り当てを受けるもの
  - DHCP 用アドレスを予約しておく必要がある
  - 毎回違うアドレスが割り当てられる可能性もある
- IPv6 の自動設定はインタフェースが持つID にネットワーク情報を付加してアドレスを生成するもの
  - アドレスは最初からインタフェースが持っている
  - 同じネットワークならアドレスは変わらない

## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

## プロトコルレベルでの機能拡張

- セキュリティ機能
  - 通信するインタフェース間の認証と機密性を保持
  - IPv4 での IPsec を標準装備
- 通信の優先度を指定可能
  - リアルタイム通信が必要なものには高い優先度を設定
  - 利用方法などはまだ研究段階

## IPsec

- 通信を行う相手が正しい相手であるかどうかの確認ができる。(認証)
- 通信内容を経路途中で覗き見されないようにすることができる。(暗号化)
- IPv6 の拡張ヘッダを用いて実装

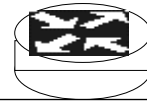
## 機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

## IPv4からIPv6への移行

- 移行を行うために必要なことは何か？
- IP のプロトコル変更により必要となるサービスのな変更は何か？
- どのタイミングでどのように移行すればよいのか？
- IPv4 は使えなくなってしまうのか？

## IP の変更による影響



アプリケーション層	メール SMTP	WWW HTTP	アプリケーション	ルータ制御 アプリケーション
トランスポート層	TCP	UDP	オペレーティング システム	ルータ制御 OS
インターネット層	IP			経路制御部
ネットワーク インタフェース層	イーサ ネット	ATM	ネットワーク インタフェース	ネットワーク インタフェース

**IPを用いるすべての部分に変更が必要！**

## 変更が必要な点

- アプリケーション
  - IPv6 のアドレス表記の入出力
  - TCP/IP とのアプリケーションインタフェース部分
- オペレーティングシステム
  - IPv6 のアドレス表記の理解
  - IPv6 固有の機能の実装
  - インタフェースドライバの IPv6 対応
- ルータ
  - IPv6 の経路情報の管理

## DNS のIPv6 対応

- インターネットの基幹サービスはDNS
  - DNS はドメイン名と IP アドレスの変換を行う
  - DNS の正引き(ドメイン名→ IP アドレス)に対して IPv6 の情報を登録(AAAA レコード)
  - DNS の逆引き( IP アドレス→ドメイン名)のために IPv6 のアドレス空間を新しく作成
- DNS の実装である BIND は対応済み

## 移行の流れ

- あるタイミングでインターネット上のすべてのネットワークを IPv4 から IPv6 へ一斉に置き換えることはできない
- ネットワーク単位で移行を進める
- ネットワークの中でも IPv4 と IPv6 を少しずつ置き換えていく
- いずれすべてが IPv6 の世界に移行する

## ネットワーク内の移行

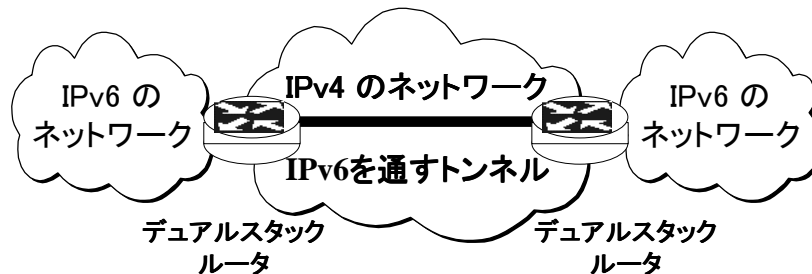
- デュアルIPスタック
  - IPv4 と IPv6 の両方のプロトコルを扱える

アプリケーション層		IPv4 と IPv6 の両方を扱える ホスト、ルータが可能
トランスポート層		
IPv4	IPv6	ネットワーク内で IPv4 と IPv6 を共存
ネットワーク インタフェース層		徐々に全体を IPv6 へと 移行させていく

## ネットワーク間通信の移行

- IPv4 の世界で IPv6 ネットワークが通信をするためには？

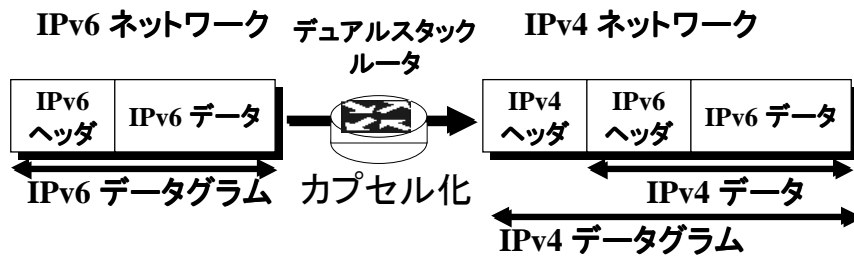
### IPv6 over IPv4 トンネリング



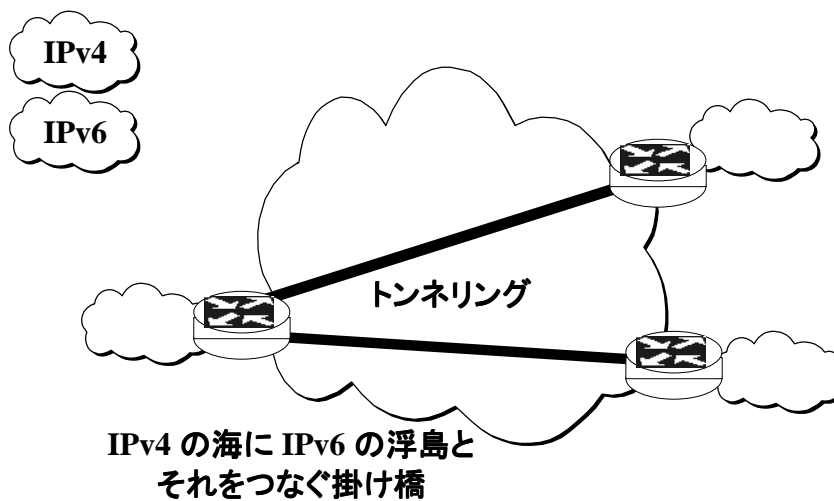


# トンネリング？

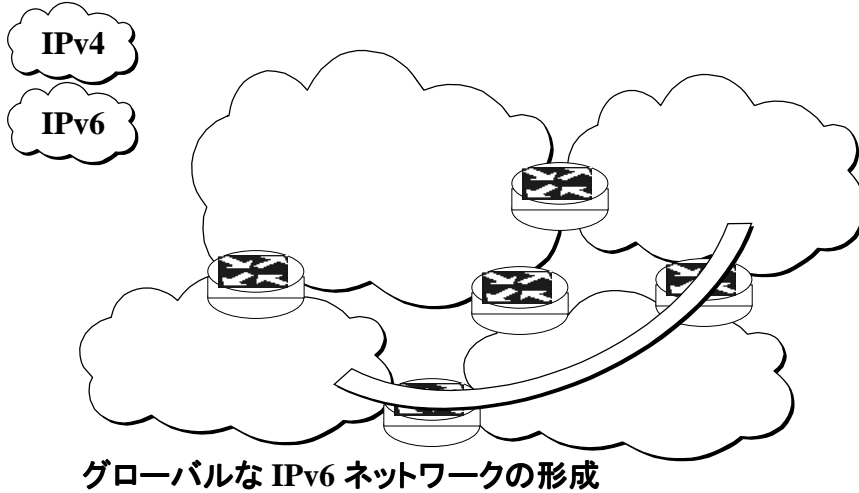
- 異なるプロトコルパケットを、通信経路のプロトコルでカプセル化して相手ネットワークまで転送する技術



# 移行のストーリー(1)



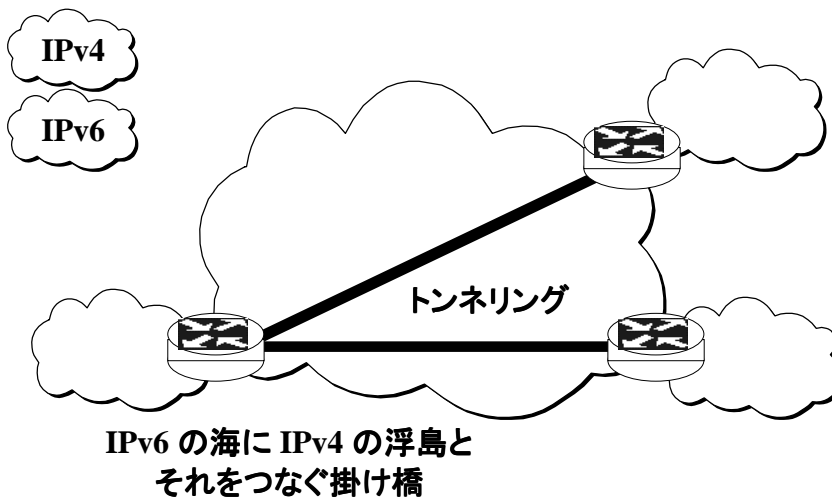
## 移行のストーリー(2)



Internet Week 2000 [2000/12/18]

©Copyright 2000 Japan Network Information Center

## 移行のストーリー(3)



Internet Week 2000 [2000/12/18]

©Copyright 2000 Japan Network Information Center

## IPv4 って使えなくなっちゃうの？

- IPv4 は徐々に IPv6 で置き換えられていくと考えられるが、IPv4 が使えなくなるわけではない
- インターネットの基幹が IPv6 に置き換えられてもトンネリングなどを用いて通信することは可能
- IPv6 への移行はいずれ必ず行われる。IPv4 に特化しないサービス・ネットワーク運用を視野に入れておく必要はある

## 構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv6の今
- IPv6のこれから

## IPv6 の現状

- IP としての基本的な部分はほぼ決まった
- 拡張機能の部分はまだ検討中のものが多い
  - 経路制御に関するプロトコル
  - セキュリティに関するアルゴリズム・鍵管理
  - データグラム転送の優先度に関する仕様

## 6bone

- IPv6 のプロトコル設計段階から運用されている実験用ネットワーク
- 実験用のアドレスブロック pseudo-TLA (pTLA) を割り振っている
- IPv6 のプロトコル仕様の検証、各実装の相互接続性、ソフトウェア・ハードウェアの動作検証に果たした役割は大きい
- 日本でも 6bone に接続する形で 6bone-jp が WIDE Project 主導の元で運用されている

## 6bone-jp と NSPIXP-6

- 6bone-jp
  - WIDE が 6bone から pTLA を取得し運用
  - 接続する組織は WIDE から NLA を取得
- NSPIXP-6
  - 1999年8月に運用開始された IPv6 によるインターネット相互接続点
  - IPv6 による基幹ネットワーク構成のための基盤

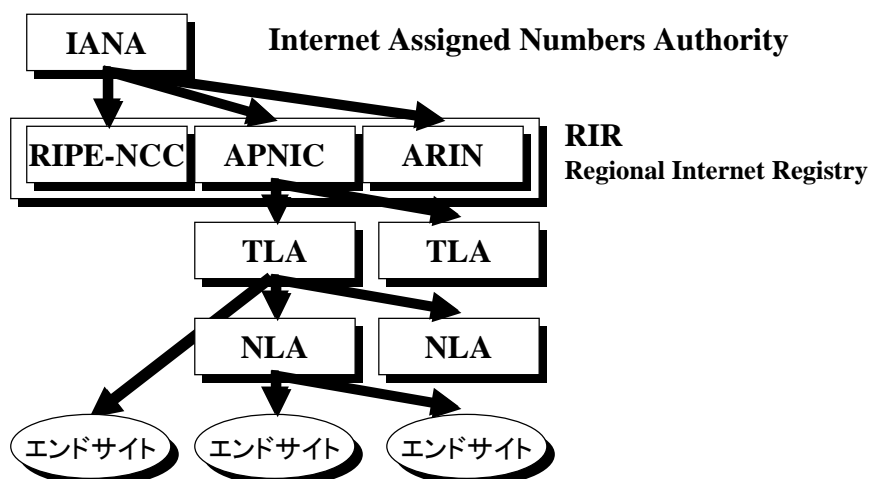
## IPv6 正式運用へ

- 6bone では実験用のアドレスを用いて IPv6 ネットワークが運用されてきた
- IPv6 のアドレス割り振り基準に基づいた、正式運用アドレスの割り振りが1999年7月に開始された
- ISPがこの正式なアドレスを取得して IPv6 接続サービスを始めつつある

## IP アドレスの階層的配分

- インターネット上で一意な IP アドレスを割り振るために、階層的なレジストリ構造が作られている
- ユーザは好きなアドレスを勝手に利用することはできず、必ずレジストリにアドレスの利用申請を行い、それにより配分されたアドレスを利用しなければならない

## IPv6 アドレスの割り振り階層

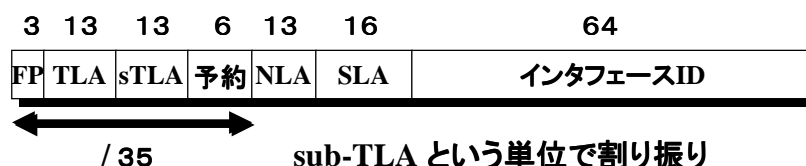
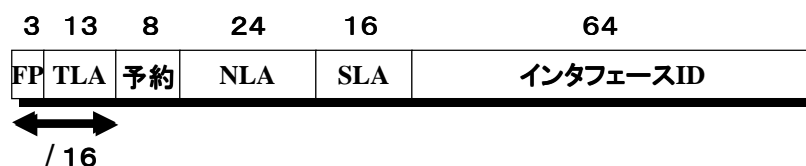


## IPv6アドレスが欲しい！

- IPv6 ネットワークを構築したいのでアドレスが欲しいんですが...
  - どのくらいの大きさのアドレスブロックがもらえるのでしょうか？
  - TLA なのか NLA なのか SLA なのか？
  - アドレスの要求はどこに出せばいいの？

## IPv6 は生まれたてなので...

- 一番大きい割り振り単位の TLA は大きすぎる



## sub-TLA の割り振り条件

- 既に IPv6 ネットワークを運用し、他の3つ以上の sub-TLA IPv6 ネットワークとピアリングしていること
  - に加えて、以下のどちらかを満たすこと
- IPv6 アドレスを40の SLA 顧客サイトに割り当てていること
- sub-TLA を割り振られてから12ヶ月以内に IPv6 サービスを提供すること

## sub-TLA の初期の割り振り条件

- IPv4 ネットワークが他の3つ以上のネットワークとピアリングしていること
- sub-TLA の割り振りを受けてから12ヶ月以内に IPv6 サービスを提供すること
  - に加えて、以下のどちらかを満たすこと
- 40以上の顧客に IPv4 アドレスを割り当て済みであること
- 6bone に6ヶ月以上参加し、pTLA を3ヶ月以上運用していること



## どうしたらアドレスがもらえる？

- sub-TLA を取得する場合は、RIR に直接申請を行う
- APNIC は APNIC 会員にしか sub-TLA の割り振りを行っていないので、APNIC から割り振りを受けるためには APNIC 会員になる必要がある
- JPNIC は APNIC 会員であり、JPNIC 会員である組織は JPNIC を通して申請を行うことで APNIC 会員になることなく sub-TLA を申請できる

## sub-TLA 割り振り状況

- APNIC... 2001:200::/23
  - 19組織 (JP:9, KR:5, TW:2, CN:1, SG:1, AU:1)
- ARIN... 2001::400::/23
  - 10組織 (US:8, CA:1, MX:1)
- RIPE-NCC... 2001:600::/23
  - 22組織 (DE:7, FR:2, GB:2, etc...)

2000年11月9日現在

## sub-TLA もらえないんだけど...

- sub-TLA の申請資格があるのはインターネットの基幹を構成する大手のプロバイダ
- 一般的な ISP は NLA として sub-TLA を持つ組織からアドレスの割り振りを受けることになる
- sub-TLA を割り振られた組織が NLA 以下にどのように割り振りを行うかはその組織のポリシー
- ただし、グローバルな割り振りポリシーに従う必要はある

## JPNIC IPv6 窓口

- IPv6 sub-TLA 申請、IPv6 に関するお問い合わせなどは...

**ipv6-support@nic.ad.jp**

- IPv6 に関する情報は...

<http://www.nic.ad.jp/jp/regist/ip/index.html>  
から IPv6 のページへ

## ハード・ソフトの IPv6 対応

- オペレーティングシステム
  - Windows は Windows2000 でIPv6対応
  - UNIX では WIDE の KAME Project による実装が事実上の標準
- ルータ
  - 日立、NEC、富士通などが基幹系ルータを開発
  - 松下、YAMAHAなどがSOHO用ルータを開発
  - Cisco、EricssonなどもIPv6対応を進めている

## サービスの IPv6 対応

- 既に国内大手ISPは sub-TLA を取得
- 既に IPv6 接続サービスを開始している ISP も出てきている
- 接続形態はトンネル形式が多いが、ネイティブ接続を始めたところもある
- IPv6 を用いてどのようなサービスが提供されるかが重要

## /48固定長割当の危機

- IPv6 ではエンドサイトには最低でも /48 のアドレスが割り当てられるのがポリシー
- RIRより、エンドサイトには規模に応じて /48 より小さな割当をするのがよいのでは、という意見が出た
- エンドサイトへの割当は /48 固定であるべき、という方向で収束しつつある

## 構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv6の今
- IPv6のこれから

## IPv6のこれから

- インターネットが IPv4 から IPv6 へと移行するのは必然の流れ
- IPv4 のネットワークがいつまで主流であるかは予想が難しい
- IPv6 は拡張機能などで検討中の部分も多いが、基本的なプロトコル部分だけでも移行価値は大きい

## 2001年は IPv6 元年？

- IPv6 を利用するためのネットワーク環境は整いつつある
- 次は、IPv6 を使って何をするか、ということ
- 何かトリガがあれば、爆発的に普及する可能性もある

## 関連サイト

- IETF (Internet Engineering Task Force)
  - <http://www.ietf.org/>
- IETF IPng working group
  - <http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-main.html>
- 6bone
  - <http://www.6bone.net/>
- 6bone-jp
  - <http://www.v6.sfc.wide.ad.jp/>

## インターネットレジストリ

- IANA
  - <http://www.iana.org/>
- ICANN
  - <http://www.icann.org/>
- APNIC
  - <http://www.apnic.net/>
- JPNIC
  - <http://www.nic.ad.jp/>

## 関連 RFC

- RFC2373: IPv6 Addressing Architecture
- RFC2374: An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format
- RFC2401: Security Architecture for the Internet Protocol
- RFC2460: IPv6 Specification
- RFC2461: Neighbor Discovery for IPv6
- RFC2462: IPv6 Stateless Address Autoconfiguration
- RFC2463: ICMPv6 for IPv6