

2.4 ネットワーク層(IP)

(2) 隣接にバケツを渡したら、
バケツ(各データフロー)の
ことは忘れられる！

(1) ネットワーク層だけは、
すべてのコンピュータで
共通でないといけない！

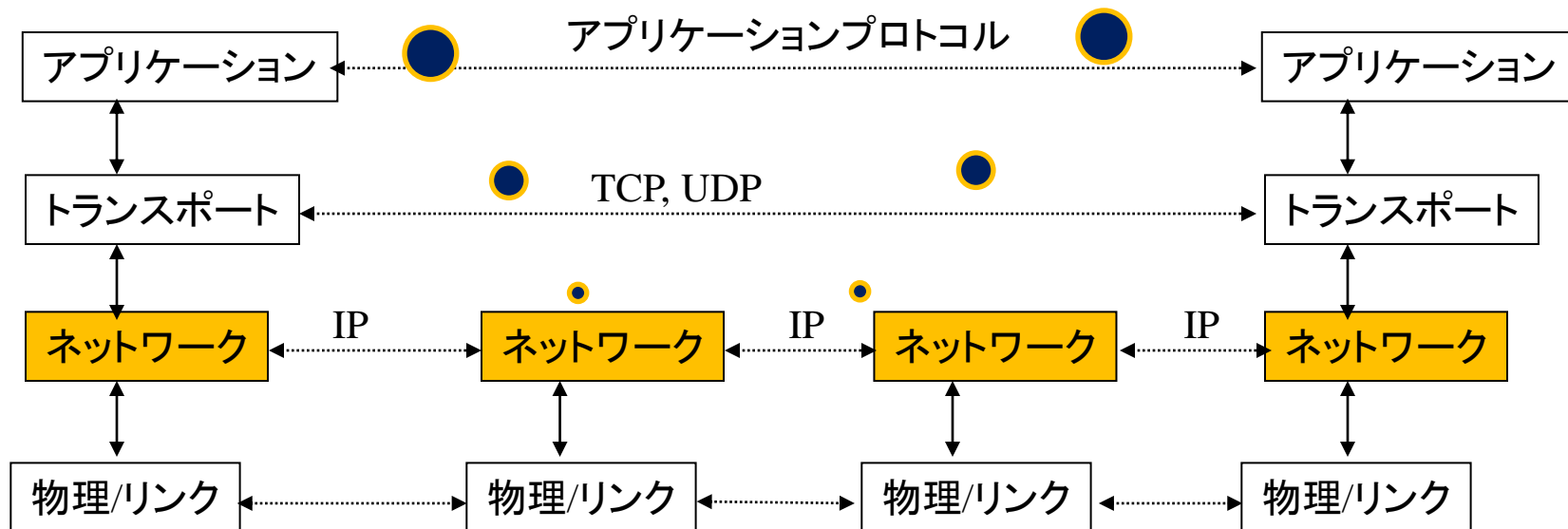


図1-12 TCP/IPの4レイヤモデル

IPの仕事

- 指定されたコンピュータの**インターフェース(IF)** へデータ(= IPパケット=デジタルの小包)を届ける
 - 相手の指定(Addressing)
 - データの中継(Routing)
- (*) **ベストエフォート(最大の努力)**
 - = 届かないかもしれない。。。
- **データの大きさの制限**
 - 大きなデータは分割(Fragment)
 - 受け取ったら元に戻す(Reassemble)

Microsoft Windows [Version 10.0.18363.720]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\hiro>ipconfig

Windows IP 構成

Wireless LAN adapter ローカル エリア接続* 1:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

Wireless LAN adapter ローカル エリア接続* 2:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

イーサネット アダプター イーサネット:

接続固有の DNS サフィックス : flets-east.jp
IPv6 アドレス : 240b:11:1e0:100:ecdc:ac77:e329:e12d
一時 IPv6 アドレス : 240b:11:1e0:100:1978:c972:4f93:5a90
リンクローカル IPv6 アドレス : fe80::ecdc:ac77:e329:e12d%15
IPv4 アドレス : 192.168.1.117
サブネット マスク : 255.255.255.0
デフォルト ゲートウェイ : fe80::225:dcff:fe33:55f3%15
192.168.1.1

Wireless LAN adapter Wi-Fi:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

イーサネット アダプター Bluetooth ネットワーク接続:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

モバイル ブロードバンド アダプター 携帯電話:

接続固有の DNS サフィックス :
IPv6 アドレス : 2001:240:241f:79d7:0:15:3e1d:2801
IPv6 アドレス : 2001:240:241f:79d7:8cf6:a164:c64d:d66
一時 IPv6 アドレス : 2001:240:241f:79d7:81bf:38cf:bbdb:ef57
リンクローカル IPv6 アドレス : fe80::8cf6:a164:c64d:d66%4
IPv4 アドレス : 100.66.238.218
サブネット マスク : 255.255.255.0
デフォルト ゲートウェイ : 2001:240:241f:79d7:0:15:3e1d:2802
fe80::15:3e1d:2840%4
100.66.238.1

インターネットの仕組み

1. ネットワーク の ネットワーク

- a. 情けは人の為ならず。(他人の小包も配送)
- b. 参加者のすべてが 所有者・運用者

→ あなたのものは私のもの、私のものはあなたのもの

2. 「デジタルの小包」を目的地まで 配送する。

- a. どんな もの(コンテンツ)でも 運べる。
- b. どんな 伝送媒体でも 使える。
- c. 隣人に「デジタルの小包」を渡したら、その小包のことは忘れる。

ベスト・エフォート



物流システムの仕組み

1

- (*) 『物流システム』で、「デジタルの小包」は、「コンテナ」、「パレット」に対応する。
- (*) 「人」も、「デジタルの小包」と同じことができる。

→ あなたのものは私のもの、私のものはあなたのもの

2. 「荷物」を、目的地まで 配送する。

a. どんな「荷物」でも、配送できる。

b. 「荷物」は、どんな 乗り物にも乗れる。

c. 「荷物」は、おろしたら、忘れて、
次の「荷物」のケアをする。

ベスト・エフォート



IPの仕事

- 指定されたコンピュータのインターフェース(IF) へデータ(= IPパケット=デジタルの小包)を届ける
 - 相手の指定(Addressing)
 - データの中継(Routing)
- (*) ベストエフォート(最大の努力)**
= 届かないかもしれない。。。
- データの大きさの制限
 - 大きなデータは分割(Fragment)
 - 受け取ったら元に戻す(Reassemble)

難しいことは、
エンドで！
最近は、ブラウザ
に機能を実装

途中の中継者
(ネット)は単純にして、高
処理能力を

サーバも
エンドノード
(ネットじゃな
い)

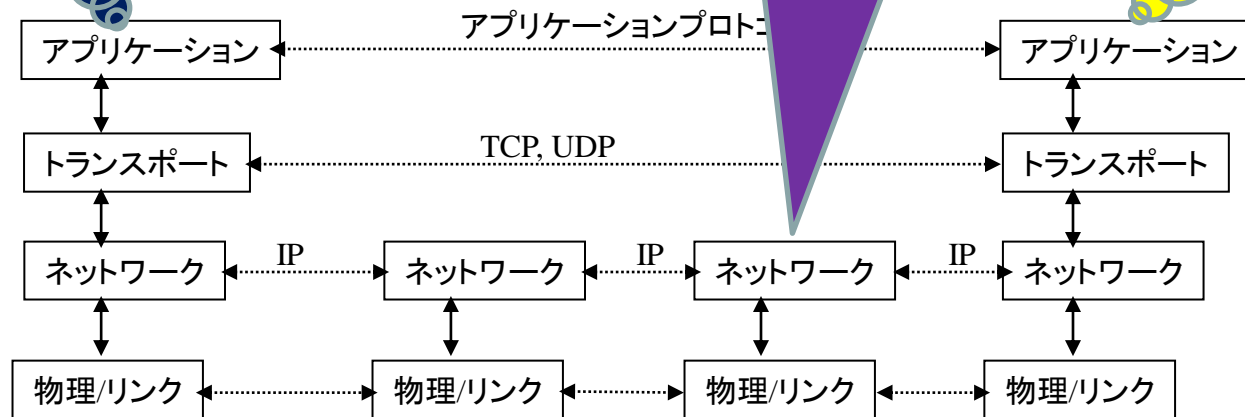


図1-12 TCP/IPの4レイヤモデル

東日本大震災(3.11)発災 直後

■ 機能したものの

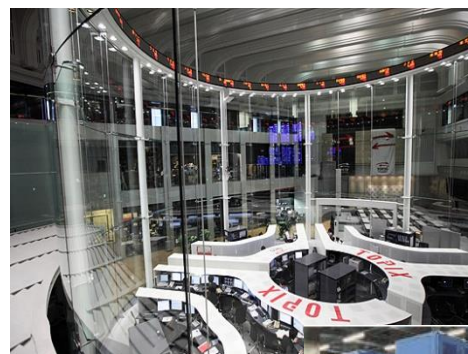
- (バッテリー駆動)携帯端末
- SNS(twitter, facebook)
- Web
- データセンター
- Satellite

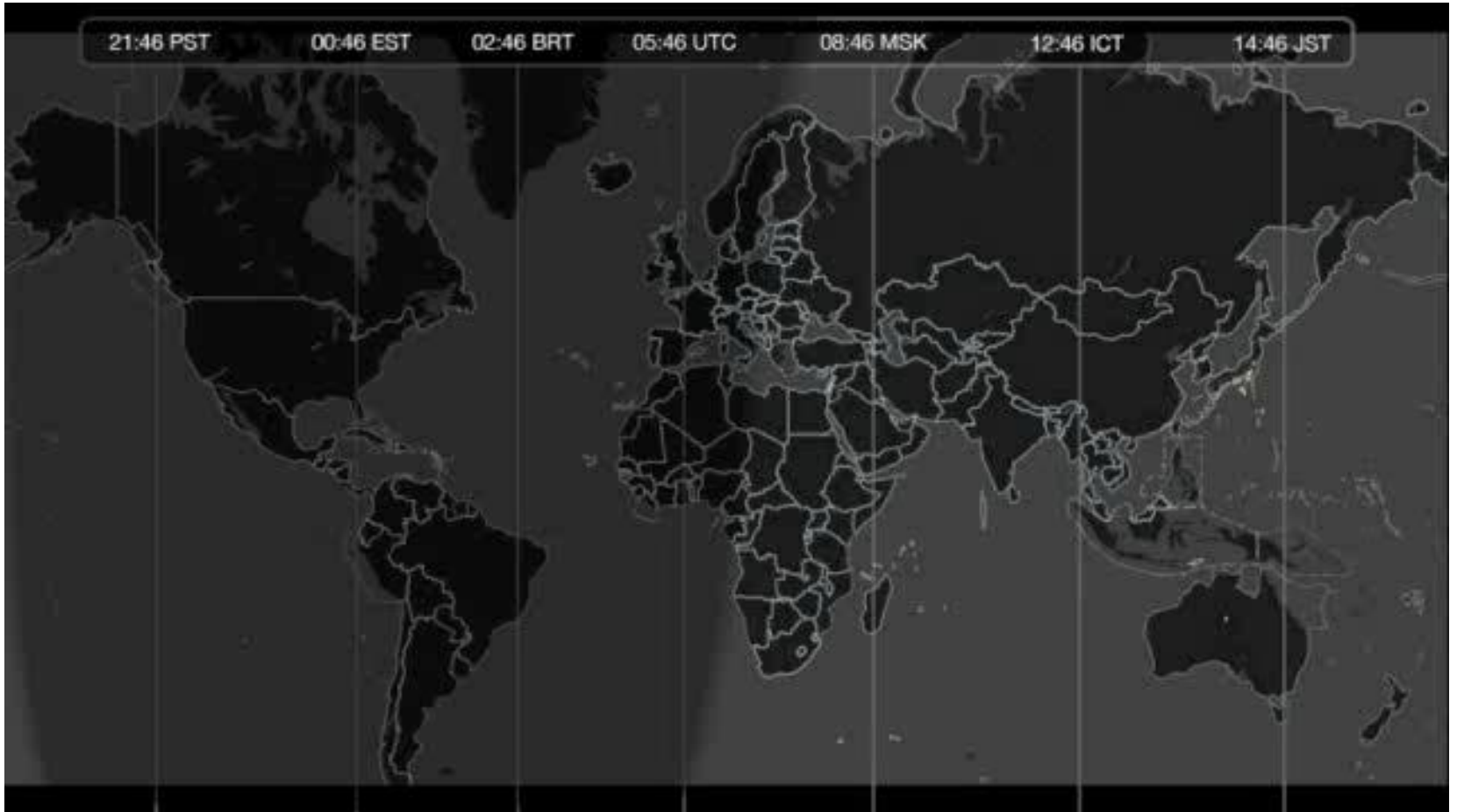
■ 機能しなかったものの

- 企業内停電対策
- 固定・携帯 電話
- SMS・携帯メール

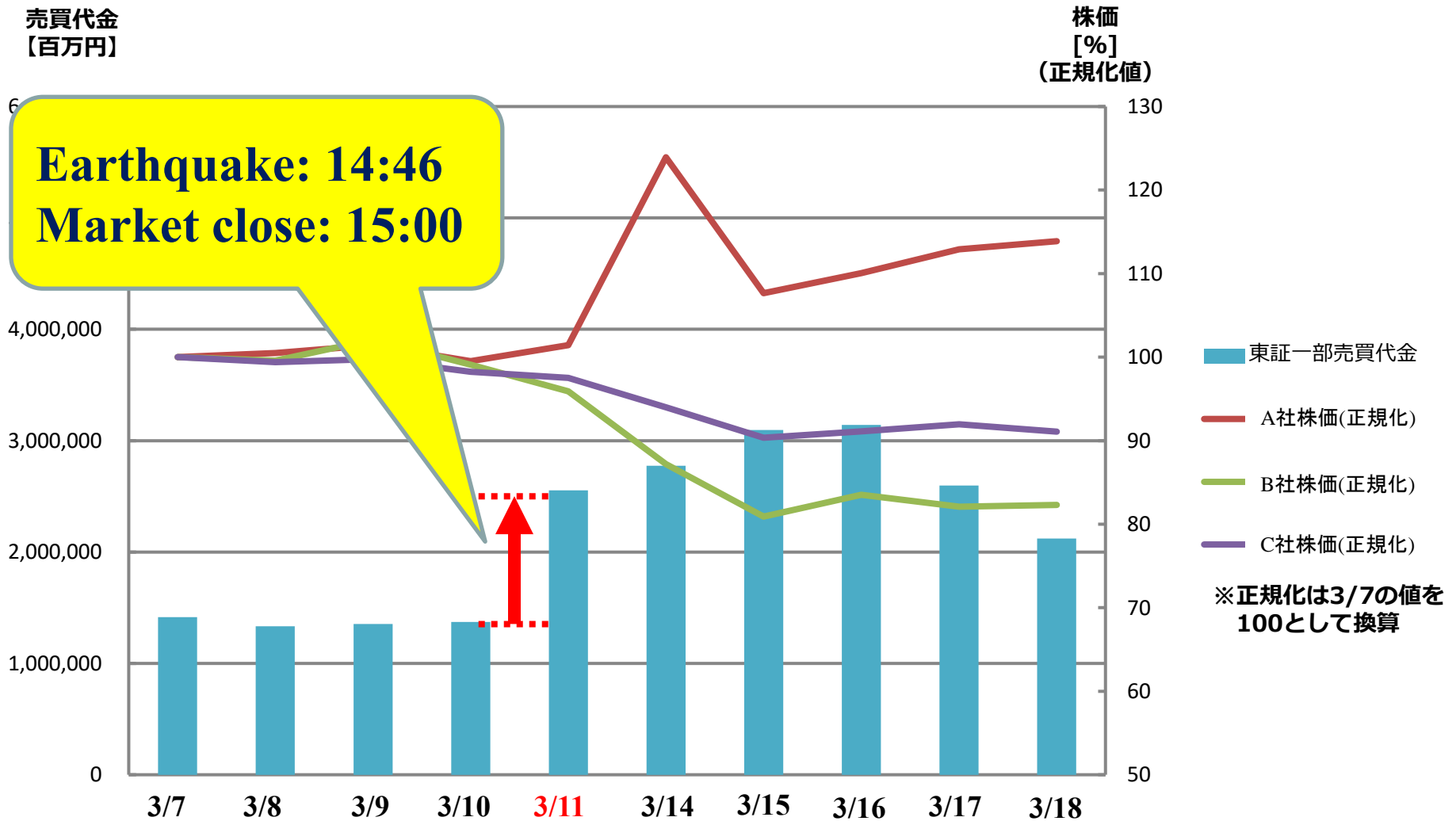


<Source: Prof.Jun Murai>





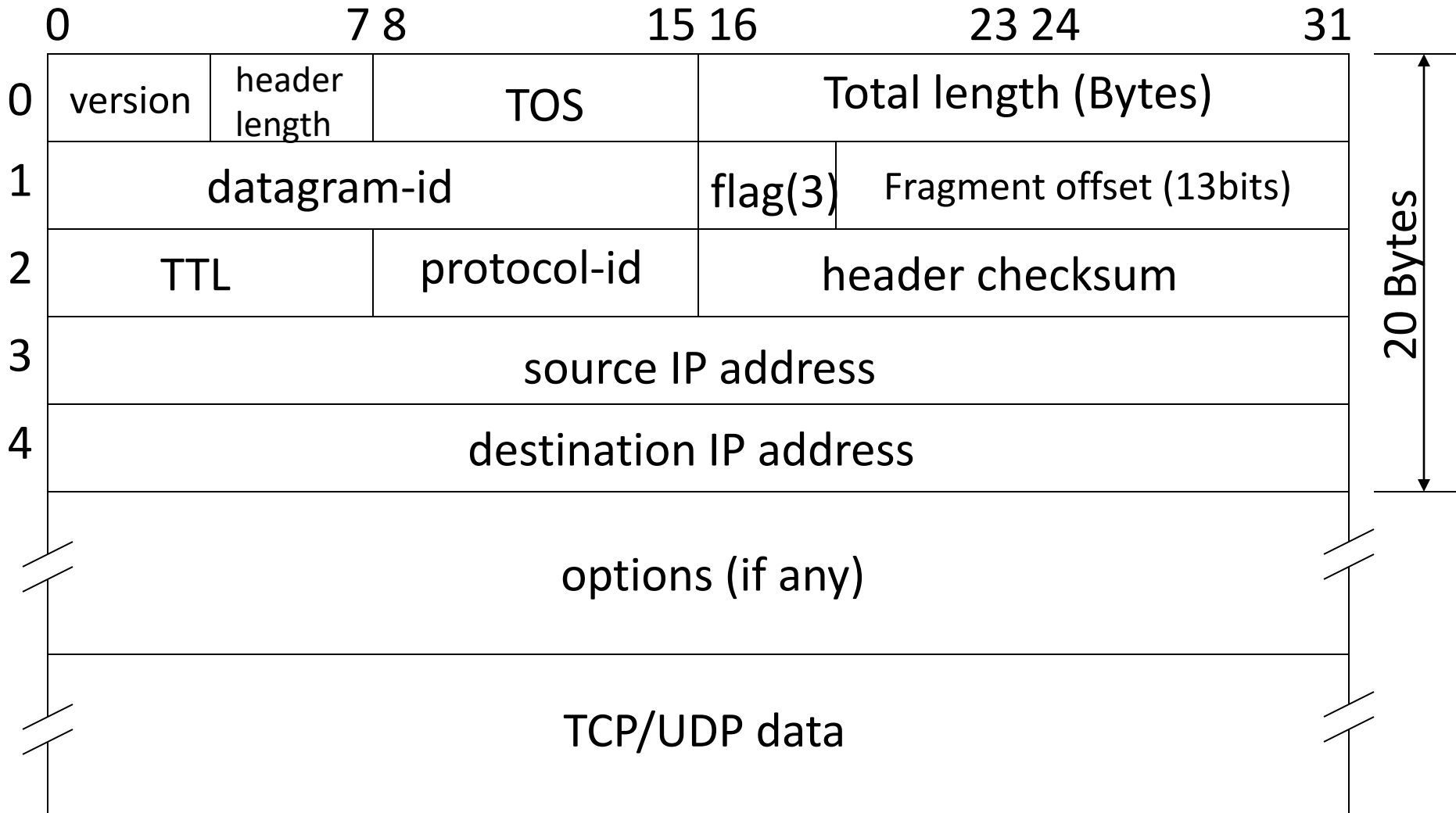
Stock Exchange in Japanese Market around 3.11 (2011)



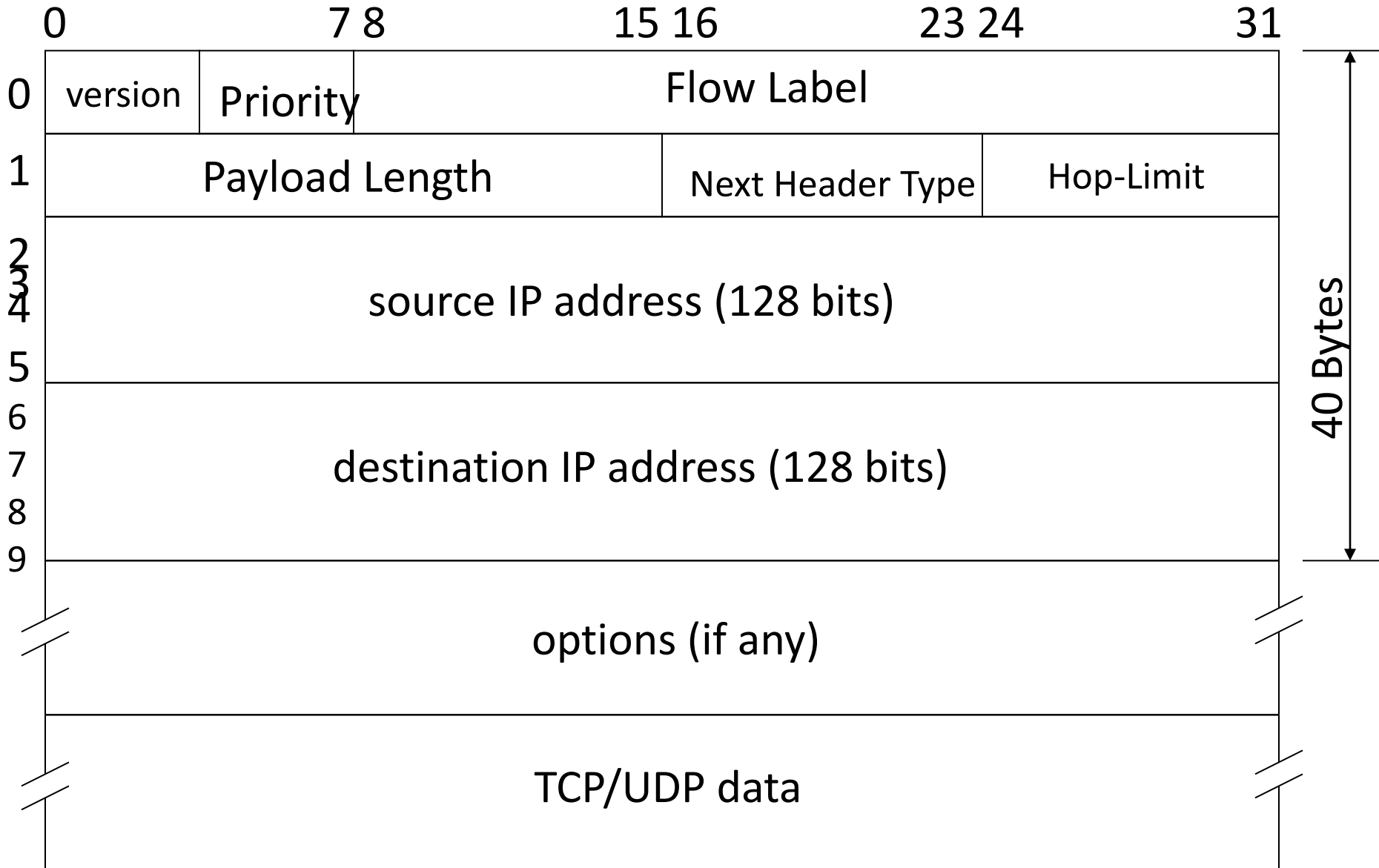
IPアドレス

- 32ビット(IPv4) と 128ビット(IPv6)の2進数
 - 例: 10011101 01010010 11110110 01111000
- IPv4
 - 8ビットずつ区切って10進数で表したものをドット(ピリオド)でつないで表記
 - 例: 157.82.246.120
- IPv6
 - 16ビットずつ区切って Hex で表したものを、コロン(:) でつないで表記
 - 例 2001:0db8:beef:cafe:0000:0000:0000:123

IP version 4 (IPv4) Header Format

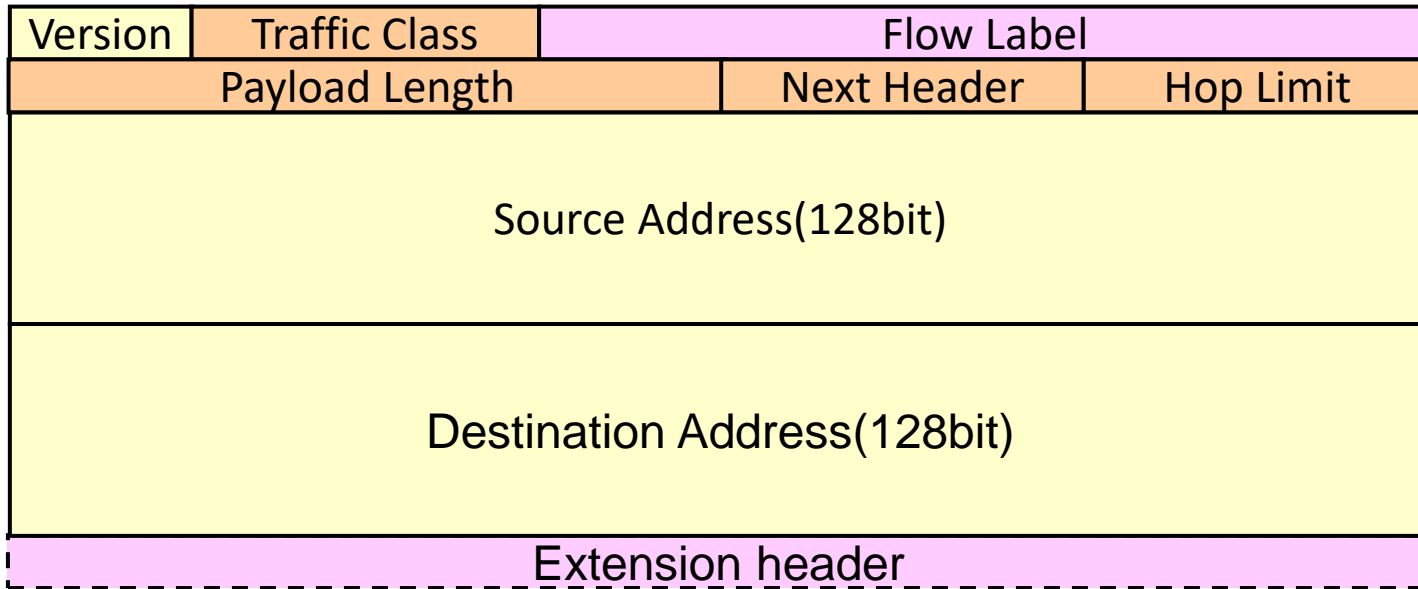


IP version 6 (IPv6) 基本Header Format



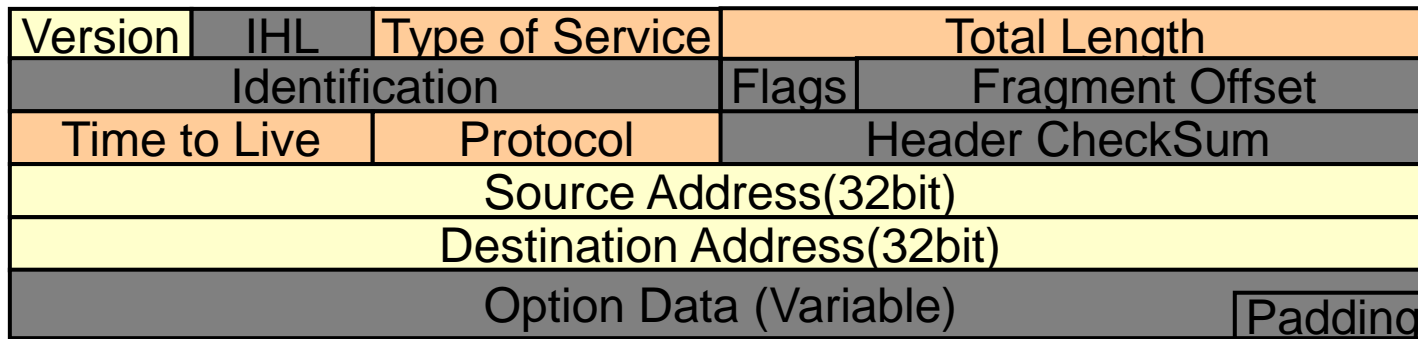
IPv6 Header Format

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1



IPv4 Header Format

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1



- Newly defined in IPv6
- Field name is changed in IPv6
- Deleted field

IPv6 状況

1. GAFA+M, BAT はすべて対応済
2. 速くしたい人は、IPoE 化！
(*) PPPoE は、厳しい状況
3. IPv4 as-a-Service
with IPv6 Single Stack へ

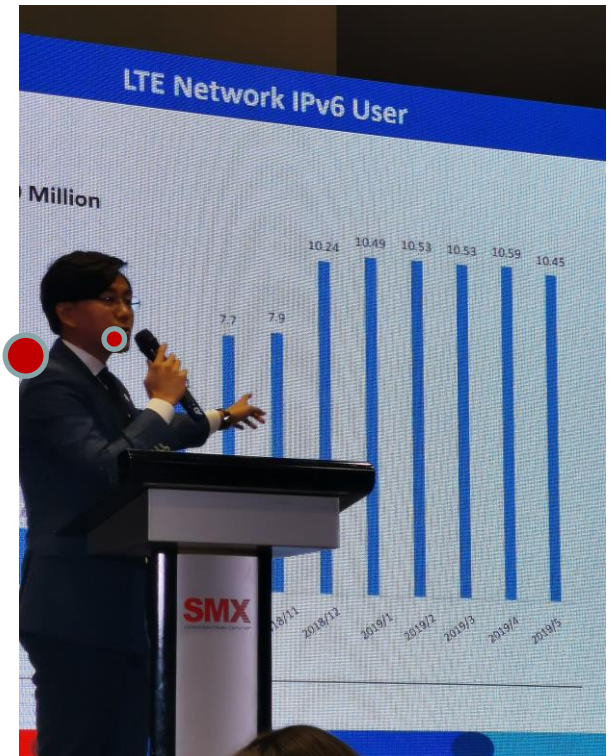
\$40.00 / IPv4 address

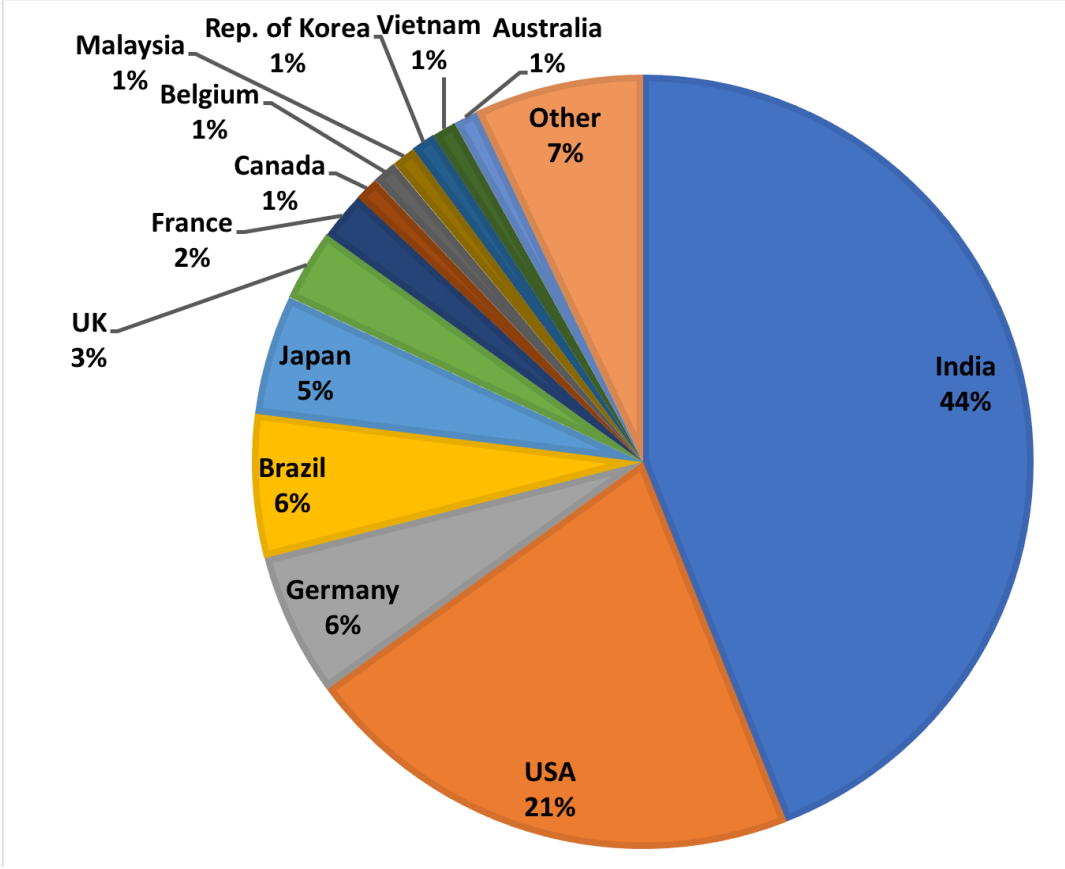


外国の状況

- インド：モバイルで一気に普及
- 中国：政府が推進を
{再}決定(2018年)

Googleの測定では
見えません....!!!





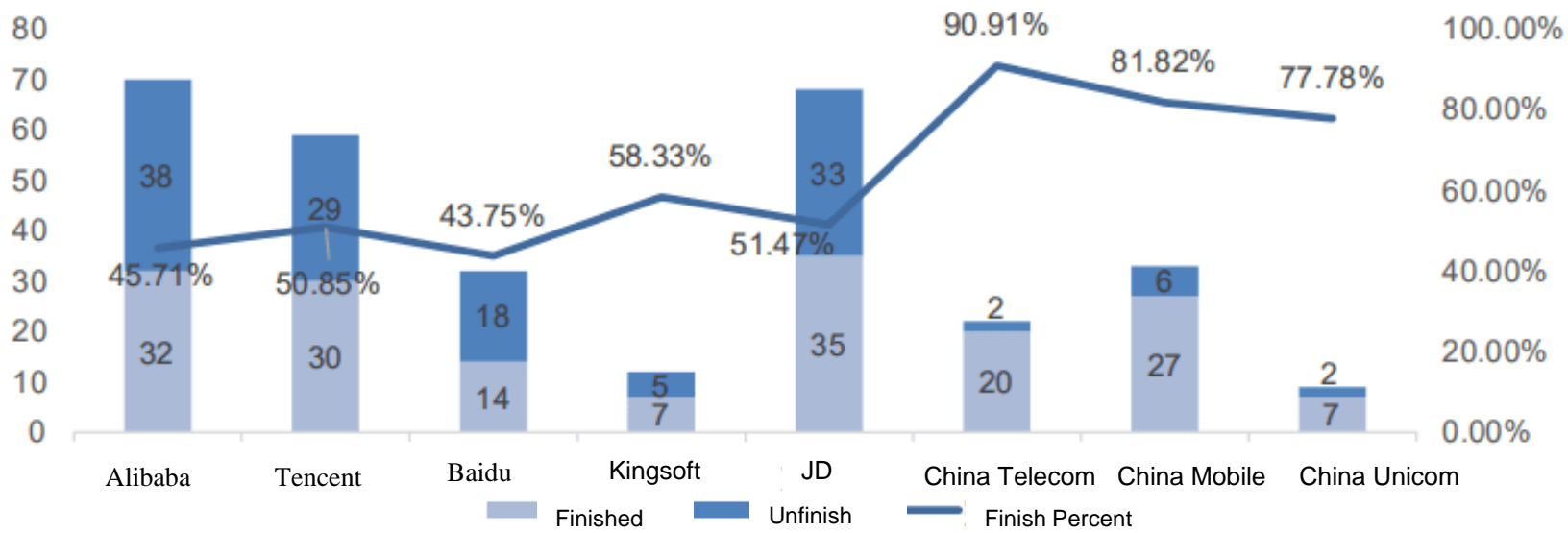
<https://www.internetsociety.org/resources/2018/state-of-ipv6-deployment-2018/>

Rank	ISP	Country	IPv6 Users (estimated)
1	Reliance Jio	IN	237,600,764
2	Comcast	US	36,114,435
3	AT&T	US	22,305,974
4	Vodafone India	IN	18,368,165
5	Verizon Wireless	US	15,422,684
6	Idea Cellular	IN	14,681,694
7	Deutsche Telekom AG	DE	14,261,836
8	T-Mobile USA	US	14,057,105
9	KDDI Corporation	JP	11,871,952
10	Sky Broadband	GB	11,829,610
11	Claro	BR	10,235,805
12	Softbank	JP	8,613,145
13	Orange	FR	7,924,119
14	AT&T Wireless	US	7,694,881
15	Cox Communications	US	6,316,462
16	Kabel Deutschland	DE	5,835,590
17	SK Telecom	KR	5,764,073
18	NTT Communications	JP	5,596,206

Rank of IPv6 users in 2018

[Source]
Internet Society web site





IPv6 Hot News in April **2021**

1. NGNでの IPv6普及率
→ **30% 超えた** → **80%に到達!!!!**
 2. 携帯3社(DoCoMo, au, SB)
→ **2021年7月39.2%** → **終盤から急加速**
 3. クラウド・サービス・プロバイダ
 - ✓ Hyper Giants: **AWS, MicroSoft, Facebook**
 - (*) **Twitter** も IPv6化を宣言
 - ✓ 国内プロバイダ: IIJ, さくらインターネット
- **IPv4-as-a-Service with IPv6 Single Stack**
→ **vSIX WG が起動(2021年)**



IPv6シングルスタックによるアドレス利用拡大に向けて

スマートフォンの普及、IoTデバイスの増加により、ネットワーク接続端末が増加

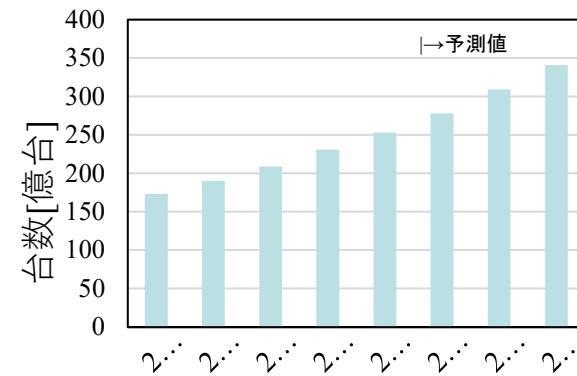


電子決済、在庫管理



電子決済、社内映像配信

世界のIoTデバイス数の推移及び予測^[1]



[1] 令和3年版情報通信白書 IoTデバイスの急速な普及
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd105220.html>

グローバルIPv4アドレス、プライベートIPv4アドレスが枯渇

IPv6シングルスタックにより、今後のネットワーク接続端末数の増加に対応

ドコモからは、IPv6シングルスタックの実現のための実装についてお話しします

IPv6 address notation

◆ IPv4 address notation

Binary digit notation (32bits)

11000000 10101000 00000000 00000001

For every 8bits, display in decimal number and separate with “.”

192.168.0.1

◆ IPv6 address notation

Binary digit notation (128bit)

0010000000000001 0000110110111000 1011111011101111 1100101011111110
0000000000000000 0000000000000000 0000000000000000 0001001000110100

For every 16bits, display in Hex number and separate with “:”

2001:0db8:beef:cafe:0000:0000:0000:1234

Leading zero in 16bits field can be abbreviated

2001:db8:beef:cafe:0:0:0:1234

Compress the zeros with “::” Can be done only **once** for each address

2001:db8:beef:cafe::1234

IPv6 Unicast Address

Global Unicast Address



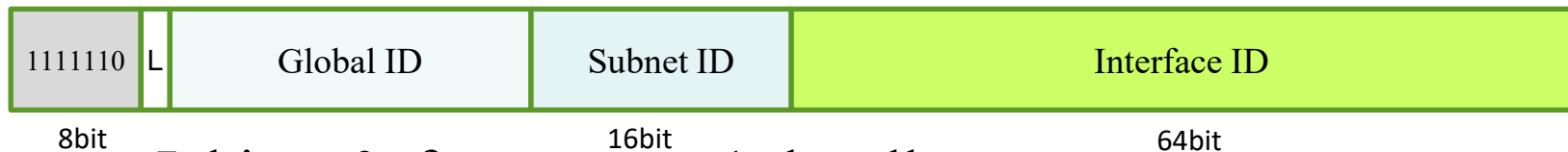
- Globally unique address e.g. 2001:db8::1

Link-Local Unicast Address



- Unique address within one link (segment) (fe80::/10)
Used for the communication within the link such as plug & play

Unique Local Unicast Address (ULA)



L bit 0: future use 1: locally
assigned pseudo-random Global ID

- Local address that could be used freely (fd00::/8)
- Substitute for deprecate-site local address

IPv6 Multicast Address (1)

- One to many communication
 - Sent to specific groups such as live streaming of a video
 - Mainly used by NDP (Neighbor Discovery Protocol) in IPv6

Multicast Address

11111111	Flag ORPT	Scope	Group ID
8bit	4bit	4bit	112bit

Flag	Function
T flag	0: Permanently-assigned (“well-known”) address assigned by IANA 1: non-permanently-assigned multicast address
P flag	1: Unicast-Prefix-based multicast address (RFC3306) * when P=1, then T must be 1
R flag	1: For Rendezvous Point (RP) mapping in PIM-SM (RFC3956) * if R=1 then (P=1&T=1)

Scope: Limit the scope of the multicast group

0000 (0)	Reserved	0101 (5)	site-local scope
0001 (1)	interface-local scope	1000 (8)	organizational-local scope
0010 (2)	link-local scope	1110 (E)	global scope
0100 (4)	admin-local scope	1111 (F)	Reserved

IPv6 Anycast Address

Anycast address

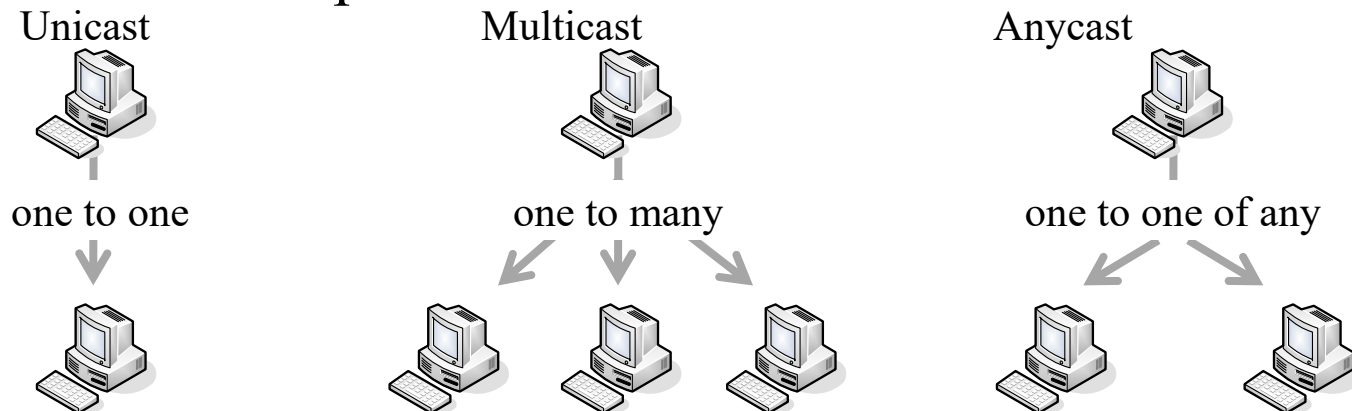
- Assigned to multiple nodes. Packets are sent to the nearest node in routing distance.
- Anycast addresses are syntactically indistinguishable from unicast addresses.
- Example usage: Root DNS

Subnet Router Anycast Address

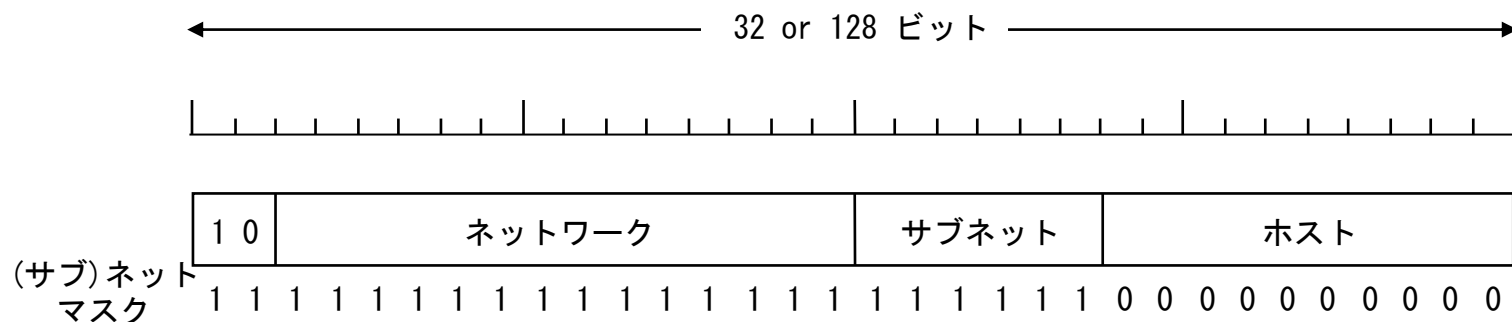


- Packets sent to this address will be delivered to one router on the subnet.

Communication comparison



サブネット



cf. 市外局番-市内局番-加入者番号

- 組織の外からはサブネットは見えない
- ドット表記または「IPアドレス/(サブ)ネットマスク長」で表記

IPv4 プライベートアドレス

- 10.0.0.0/8 (クラスA × 1)
- 172.16.0.0/12 (クラスB × 16)
- 192.168.0.0/16 (クラスC × 256)

【注意】 もう、クラス は、存在しません。

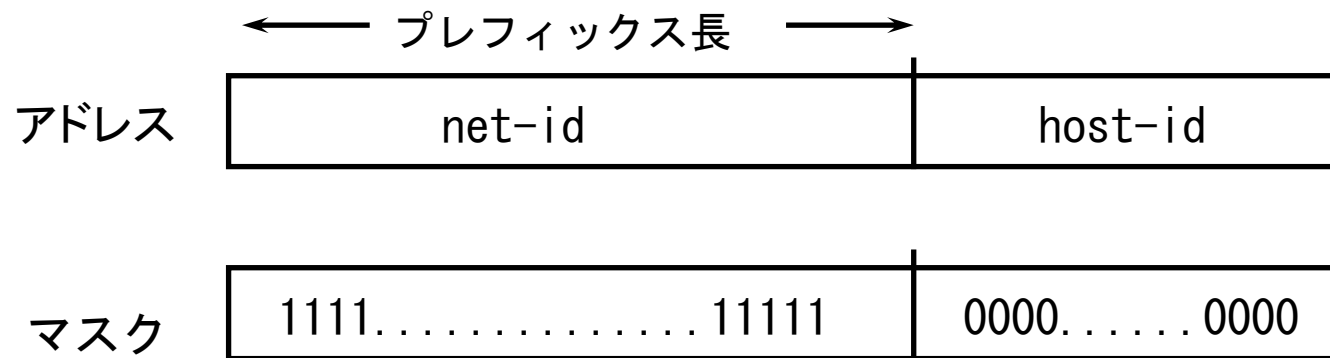
/8 : クラス A

/16 : クラス B

/24 : クラス C

ネットマスクとプレフィックス

- ネットワーク部は可変
- プレフィックス長によるネットワーク番号表記



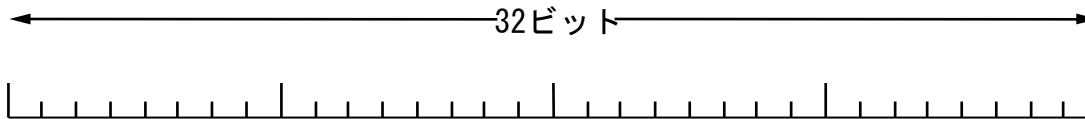
例) 133.201.2 / 24

└─── ネットワーク番号

└─── プレフィックス長

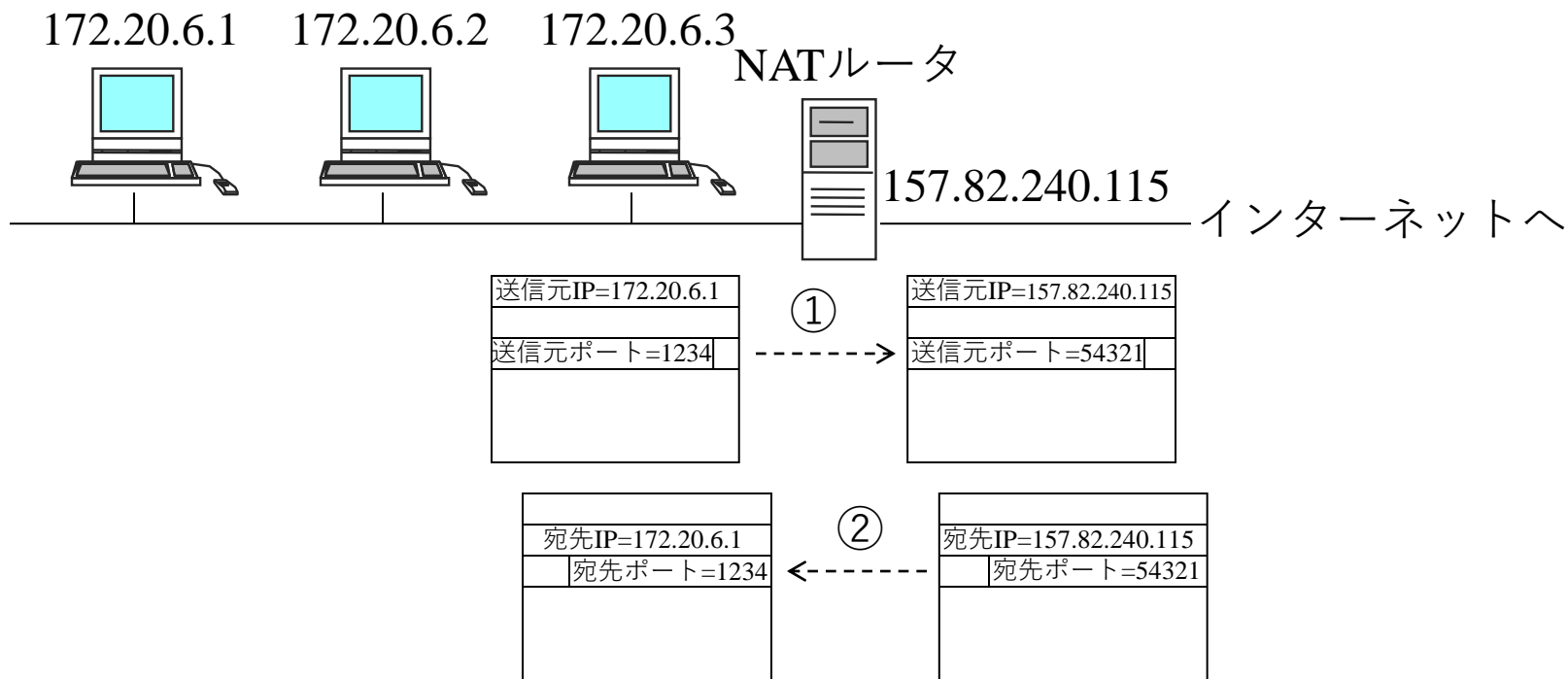
IPアドレスのクラス

{という概念があった。。。歴史}



クラス			アドレス範囲	
A	0	ネットワーク	ホスト	1. 0. 0. 0~ 127. 255. 255. 255
B	1 0	ネットワーク	ホスト	128. 0. 0. 0~ 191. 255. 255. 255
C	1 1 0	ネットワーク	ホスト	192. 0. 0. 0~ 223. 255. 255. 255
D	1 1 1 0	マルチキャスト・アドレス		224. 0. 0. 0~ 239. 255. 255. 255
E	1 1 1 1 0	将来の使用に備え予約		240. 0. 0. 0~ 247. 255. 255. 255

NAPT (Network Address and Port Translation)

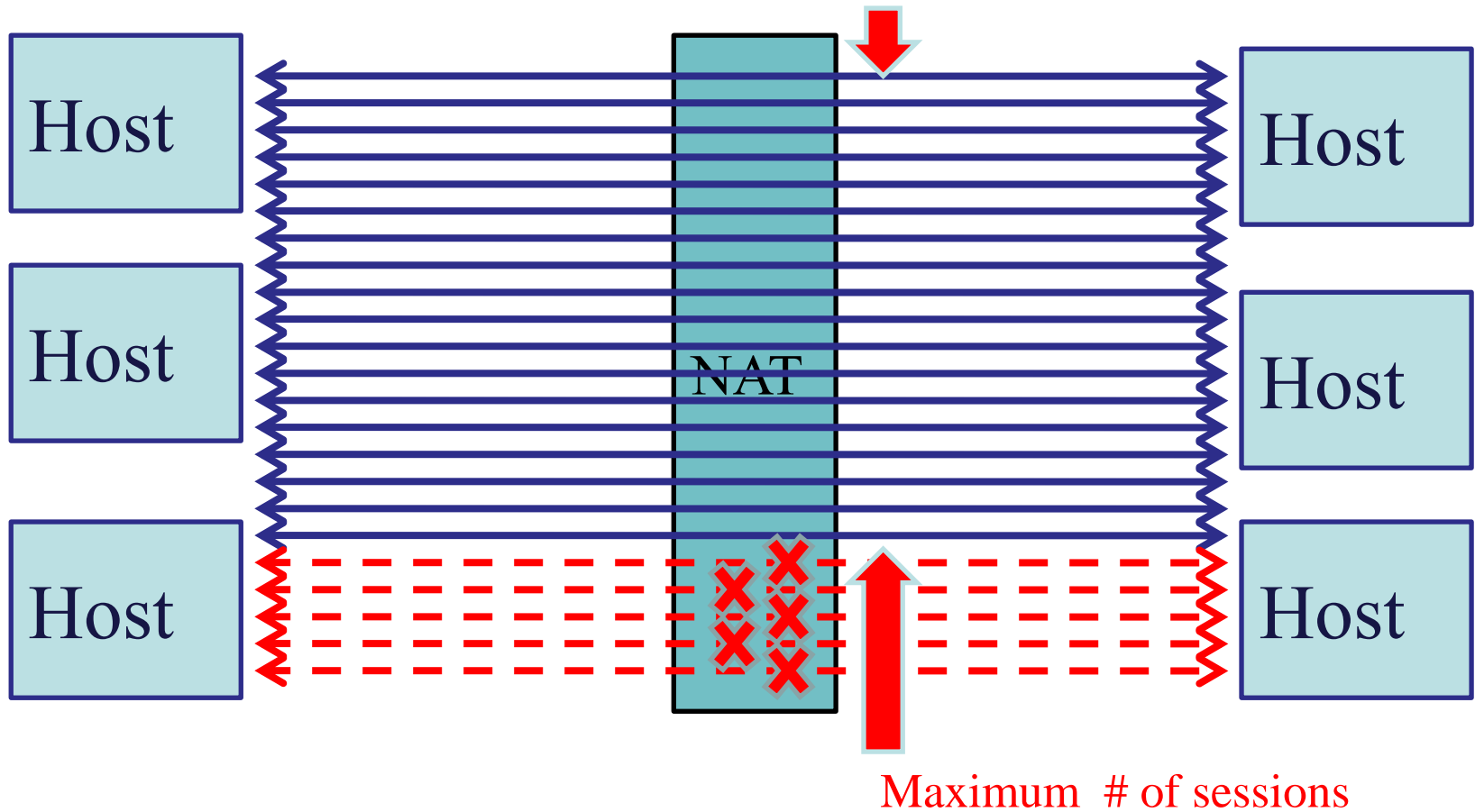


- ① 内から外に向かう packets があると NAT ルーターはポート番号を割当
- ② その後外から来る packets についても IP アドレスとポート番号を変換

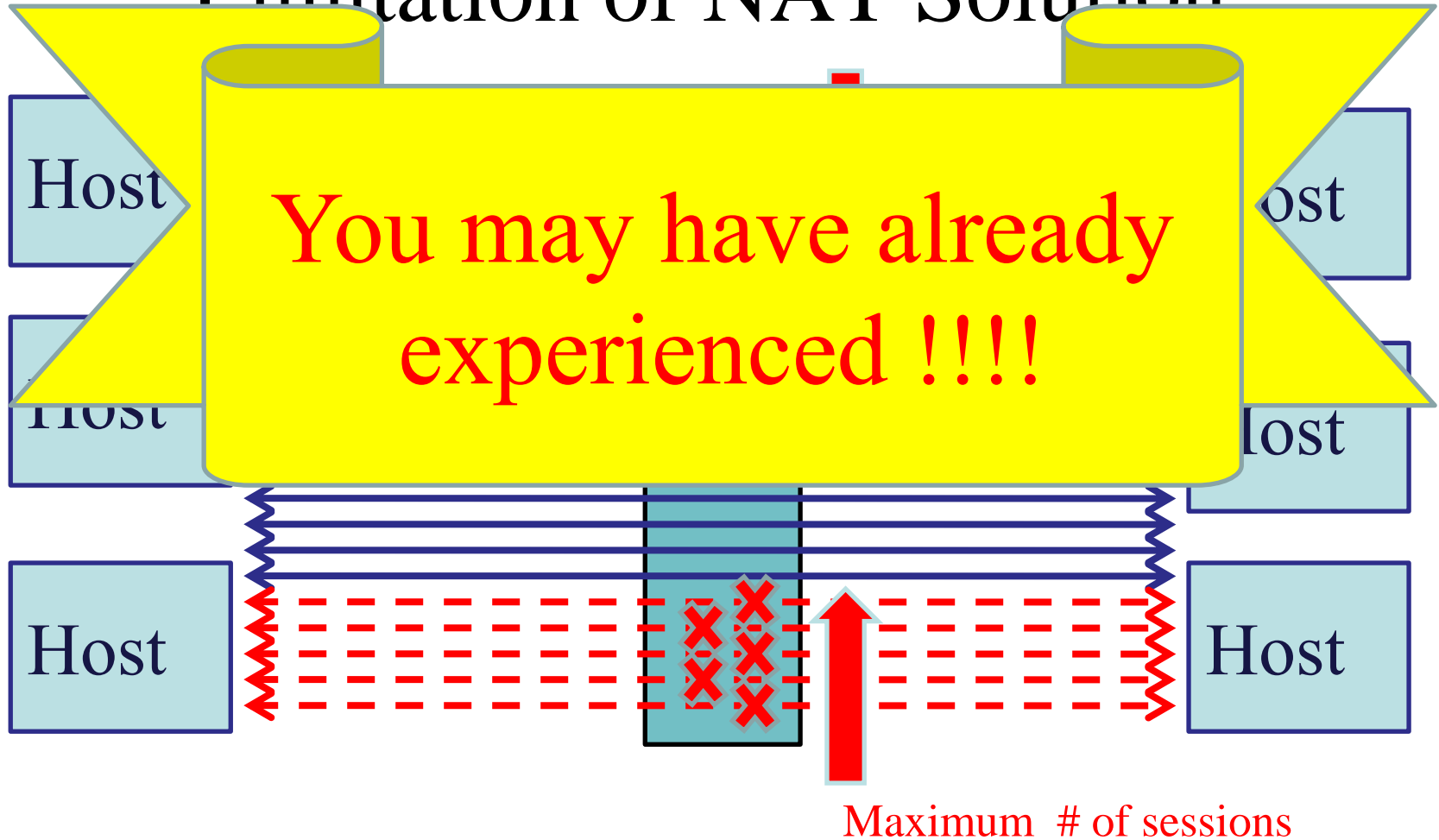
However.....

- **Limitation** on the number of session states for NAT operation
 - Each user could use certain number of sessions
 - How many sessions ?
 - Even as the best case, **65,536** is the maximum number of sessions, **shared by customers** accommodated into a single IPv4 address
 - ➔ When the number of users is **2,000**, it will be **only 30 sessions**
- ➔ This means.....

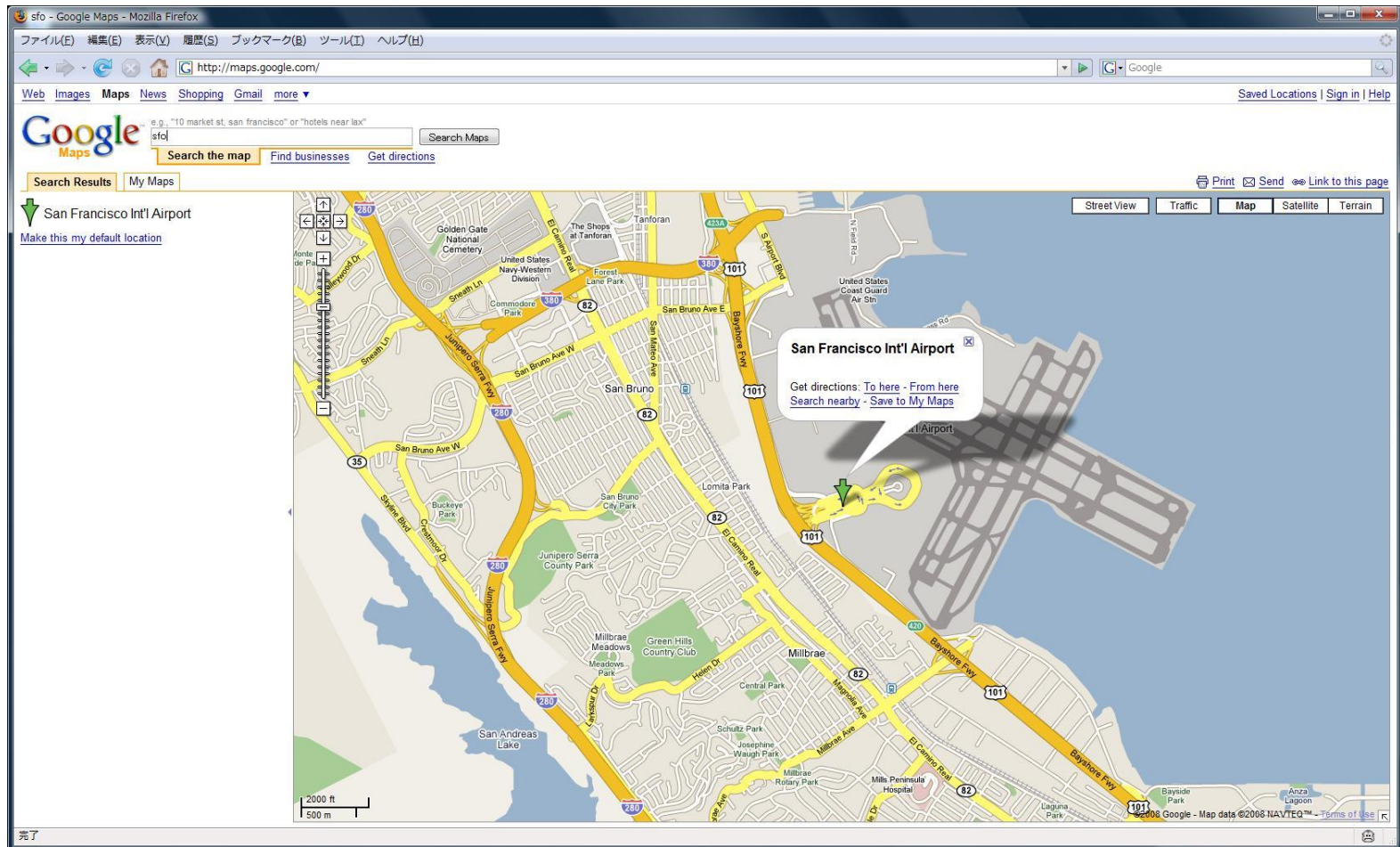
Limitation of NAT Solution



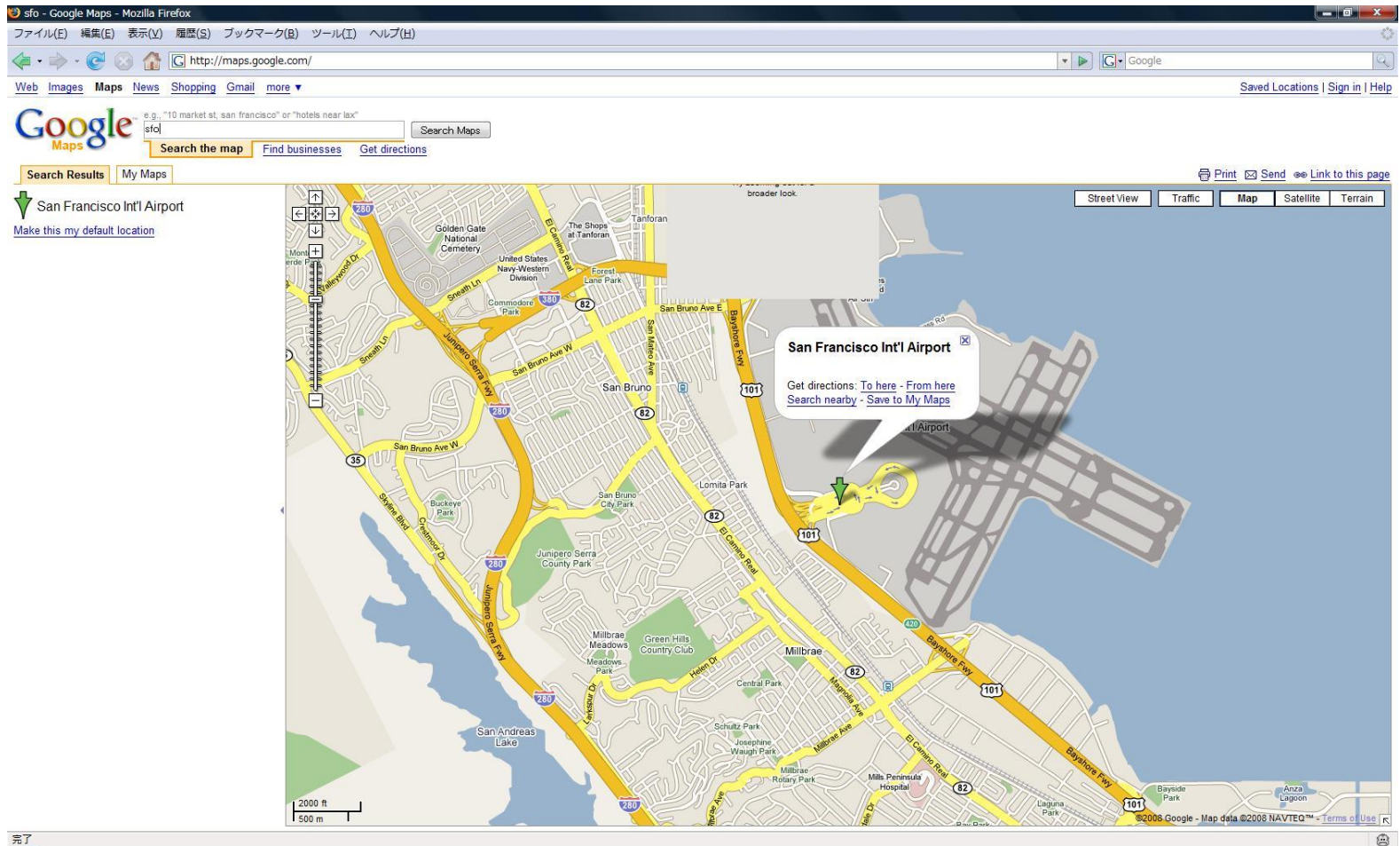
Limitation of NAT Solution



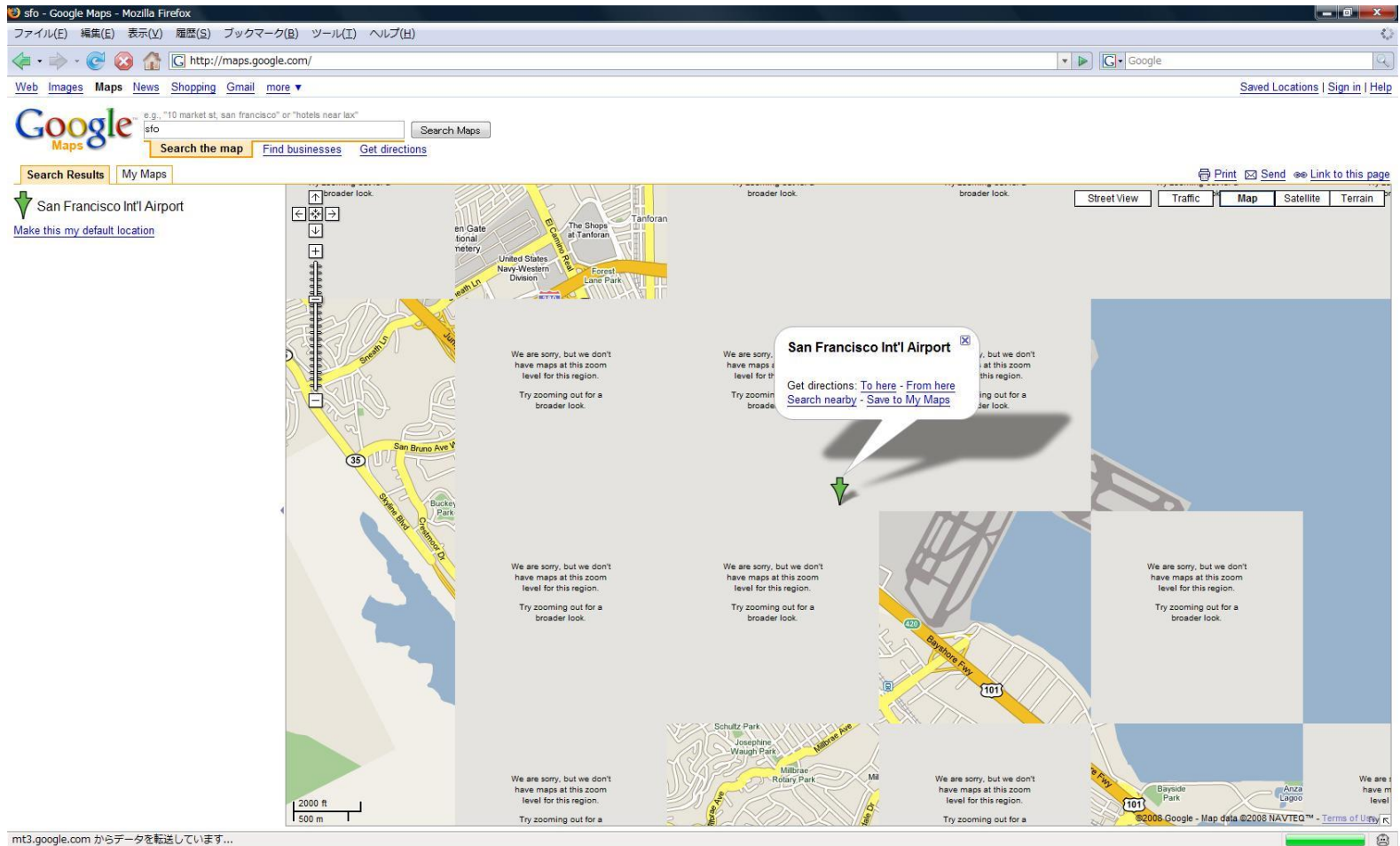
Max 30 Connections



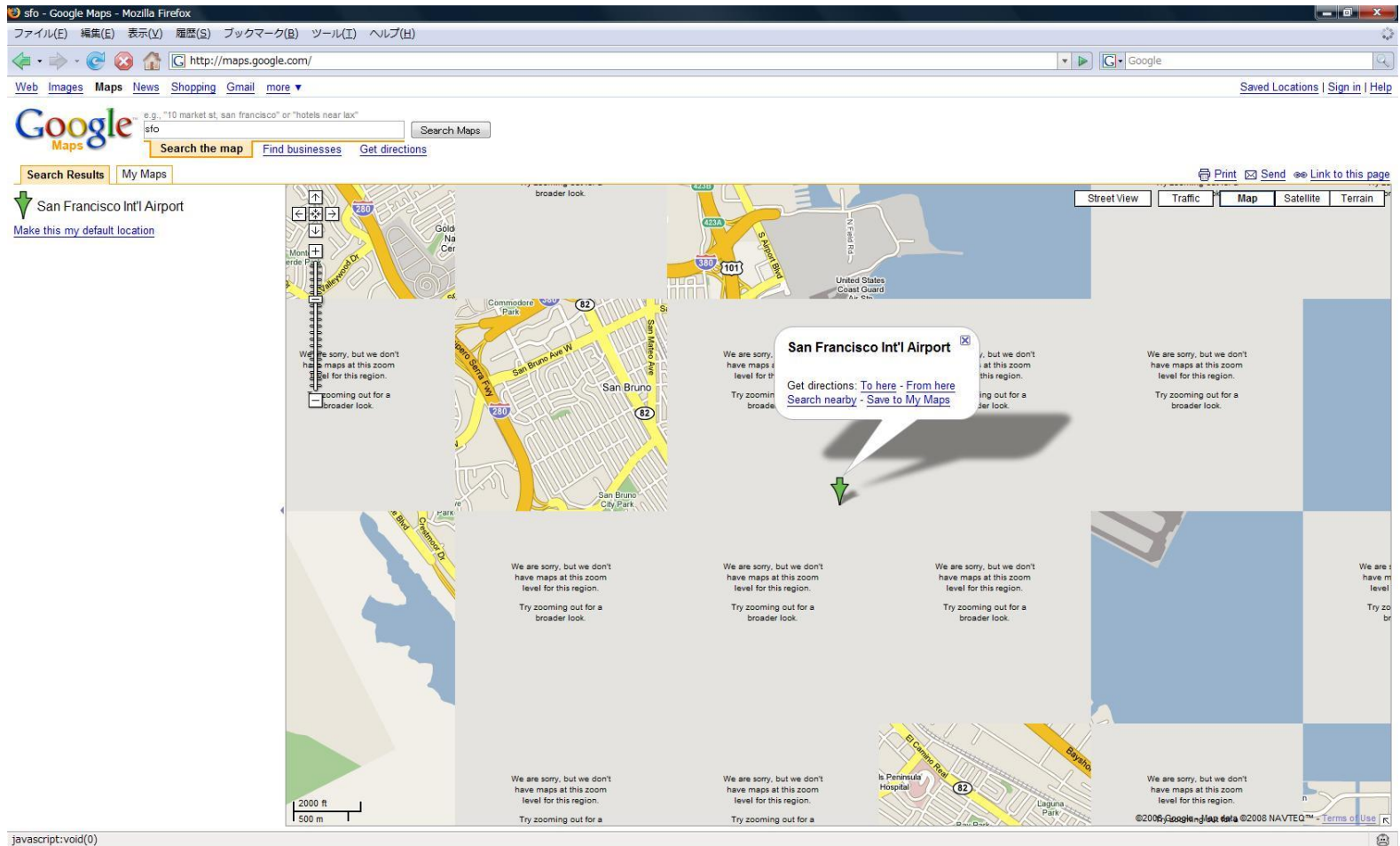
Max 20 Connections



Max 15 Connections



Max 10 Connections



Max 5 Connections



Some examples of major Web site

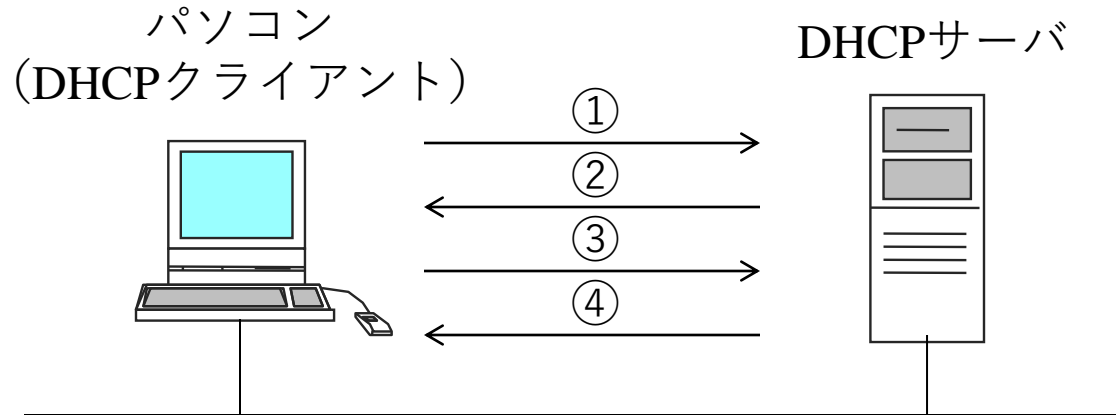
Application	# of TCP sessions
No operation	5~10
Yahoo top page	10~20
Google image search	30~60
ニコニコ動画	50~80
OCN photo friend	170~200+
iTunes	230~270
iGoogle	80~100
楽天(Rakuten)	50~60
Amazon	90
HMV	100
YouTube	90

ARP (Address Resolution Protocol)

- ネットワーク層 (ex. IP) アドレスからMACアドレスを見い出す方法
- ネットワークアドレスを格納したパケットをブロードキャスト
 - そのアドレスを持つ端末が応答

DHCP

(Dynamic Host Configuration Protocol)

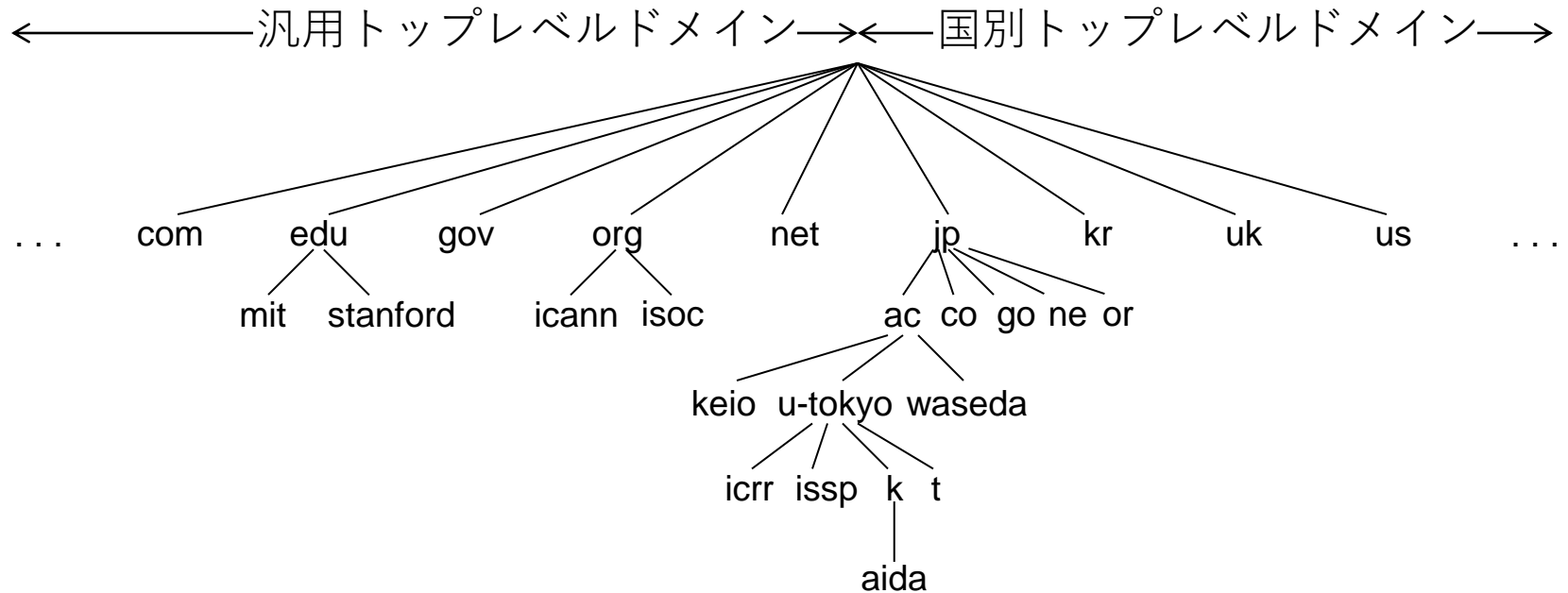


- ① パソコンは接続しているネットワークにDHCP DISCOVERをブロードキャスト
- ② DHCPサーバはDHCP OFFERでIPアドレス、ネットマスク、デフォルトゲートウェイ、DNSサーバアドレス等を返答
- ③ パソコンは使用しようとするIPアドレスをDHCP REQUESTでDHCPサーバに送信
- ④ DHCPサーバはDHCP ACKでIPアドレスの使用を確認

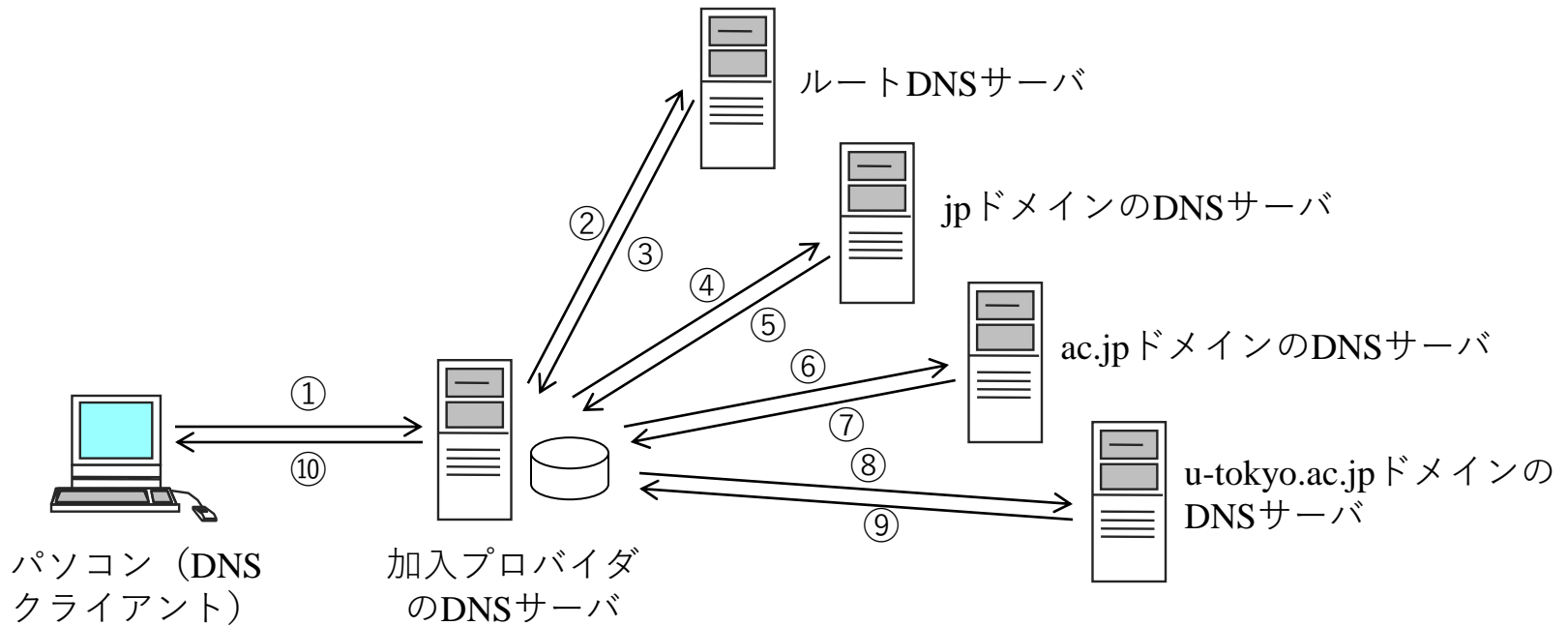
ニックネーム

- IPアドレスは数字のみで覚えにくい
→英数字+ハイフンからなるニックネーム
- NIC (Network Information Center)が世界中のコンピュータのニックネームとIPアドレスの対応表(hosts.txt)をFTPで公開
 - 頻繁に更新する必要
 - ニックネームの衝突

DNS (Domain Name System)



DNSの問い合わせ手順

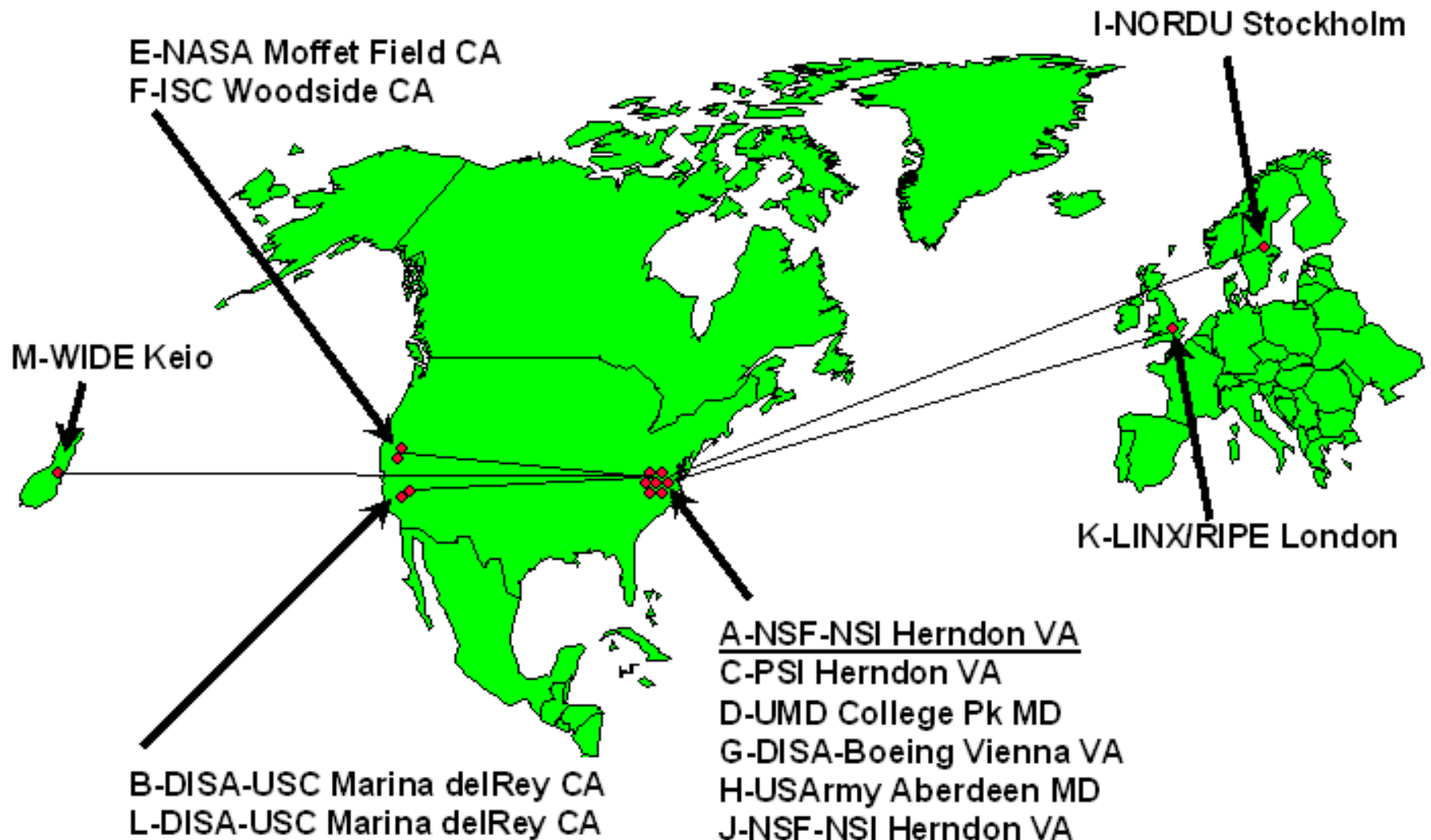


- ① パソコンは加入しているプロバイダのDNSサーバに問い合わせを送る
- ② プロバイダのDNSサーバはルートDNSサーバに問い合わせを送る
- ③ ルートDNSサーバはjpドメインのDNSサーバのIPアドレスを返す
- ④ プロバイダのDNSサーバはjpドメインのDNSサーバに問い合わせを送る
- ⑤ jpドメインのDNSサーバはac.jpドメインのDNSサーバのIPアドレスを返す
- ⑥ プロバイダのDNSサーバはac.jpドメインのDNSサーバに問い合わせを送る
- ⑦ ac.jpドメインのDNSサーバはu-tokyo.ac.jpドメインのDNSサーバのIPアドレスを返す
- ⑧ プロバイダのDNSサーバはu-tokyo.ac.jpドメインのDNSサーバに問い合わせを送る
- ⑨ u-tokyo.ac.jpドメインのDNSサーバはIPアドレスを返す
- ⑩ プロバイダのDNSサーバはIPアドレスをパソコンに返す

DNS Root Servers

1 Feb 98

Designation, Responsibility, and Locations



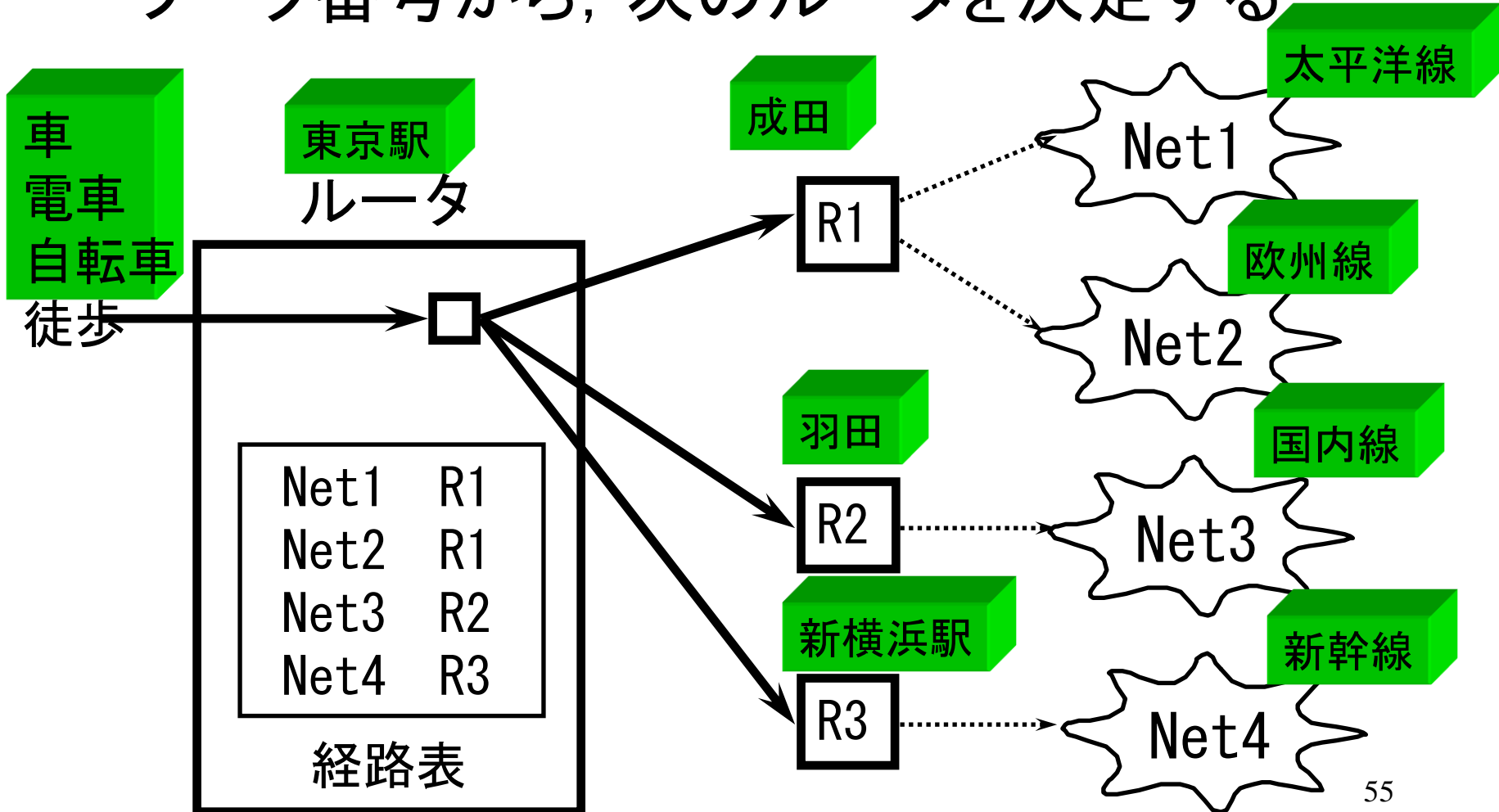
2.6 経路制御

パケットの転送

- パケットを中継する装置：ルータ
- 届いたパケットが自分宛なら処理
- 自分と同じサブネットのホスト宛ならARPで宛先のMACアドレスを見出して転送
- 自分と異なるサブネットのホスト宛なら自分と同じサブネット上にある他のルータに転送

経路制御

- ルータは受信したパケットの送り先のネットワーク番号から、次のルータを決定する



経路制御のお仕事。

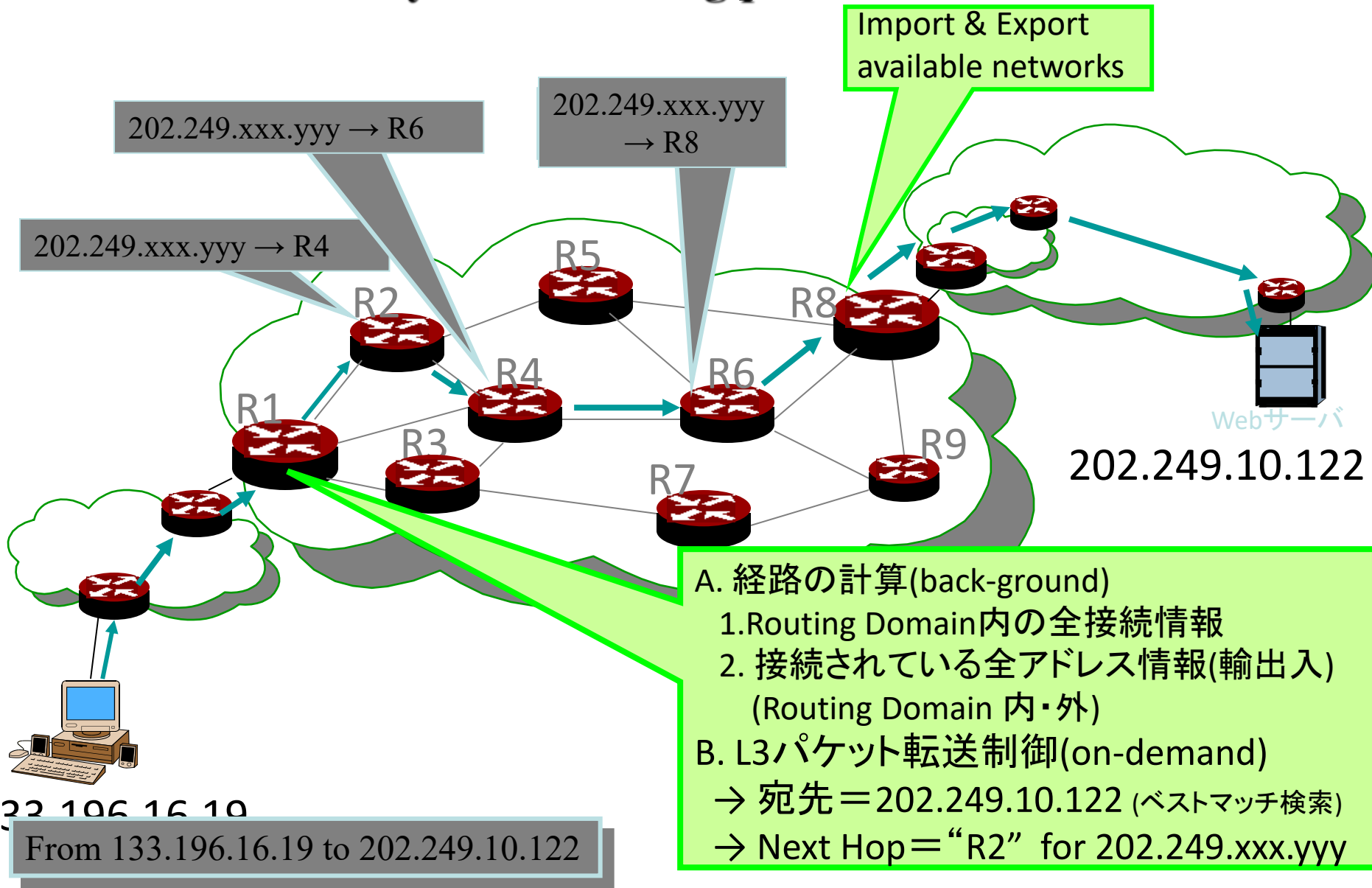
- 数学的な表現
 - あるノード(目的地)をルート(根)とするツリーを形成する。ツリーは、多数存在可能であるが、あるコスト関数を用いて唯一のツリーを選択させる。
 - これを、すべてのノードに対して生成する。
 - 全世界規模の完全なツリーを管理することは困難なので、上手に再帰的(Recursive)な構造を持ち込む。
- ツリー；
 - 閉じた部分を持たないトポロジー

デフォルトルート

- インターネット中の全てのネットワークをルーティングテーブルに書くことは困難
- 「その他のネットワーク」を一括してアドレス0.0.0.0、ネットマスク0.0.0.0で表現
- 「デフォルトゲートウェイ」のみ設定することも多い

IP経路(ルーティング)制御

- What a dynamic routing protocol does -



Import & Export available networks

202.249.xxx.yyy → R6

202.249.xxx.yyy → R8

202.249.xxx.yyy → R4

Webサーバ

202.249.10.122

- A. 経路の計算(back-ground)
 1. Routing Domain内の全接続情報
 2. 接続されている全アドレス情報(輸出入) (Routing Domain 内・外)
- B. L3パケット転送制御(on-demand)
 - 宛先 = 202.249.10.122 (ベストマッチ検索)
 - Next Hop = "R2" for 202.249.xxx.yyy

133.196.16.19
From 133.196.16.19 to 202.249.10.122

Dynamic Routing Protocols

[Unicast Routing]

- (1) IGP (Interior Gateway Protocol)
 - (a) RIP (Routing Information Protocol)
 - (b) OSPF (Open Shortest Path First)
- (2) EGP (Exterior Gateway Protocol)
 - (c) BGP4 (Border Gateway Protocol version 4)

[Multicast Routing]

- (i) DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)
- (ii) MOSPF (Multicast OSPF)
- (iii) PIM (Protocol Independent Multicast protocol)
- (iv) MBGP (Multicast BGP)

Dynamic Routing Protocols

[経路計算アルゴリズム]

- (1) 距離ベクトル(Distance Vector) 方式 ; DV型
- (2) リンク状態 (Link State) 方式 ; LS型
- (3) パスベクトル (Path Vector) 方式 ; PV型
- (4) ソースルーティング (Source Routing) 方式

Routing Type	DV型	LS型	PV型	Object	IPv6
RIP	Yes			routed	RIPng
OSPF		Yes		gated	OSPFv6
BGP4			Yes	gated	BGP4+
DVMRP	Yes			mrouted	—
MOSPF	Yes		—	—	
PIM	n/a	n/a	n/a	—	—
MBGP			Yes	—	—

Distance Vector Routing Protocol

- Bellman-Ford アルゴリズム (or Bellman-Fulkerson)
 - 1969年頃のARPANETにおいて使用
 - Developed by Xerox-PARC as XNS-RIP
 - Nodeから到達可能な宛先アドレスへの距離(Distance)情報。すなわち、到達可能な宛先アドレスへの最適経路のベクトル情報を管理し、最も距離(Distance)が小さなj経路を、宛先ネットワークへの最適経路と判断する。
 - ルーティングドメインの接続情報は持たない。
 - ① Distance Vector :
宛先ネットワークに対する最短の距離情報ベクトル
 - ② 次ホップノード情報

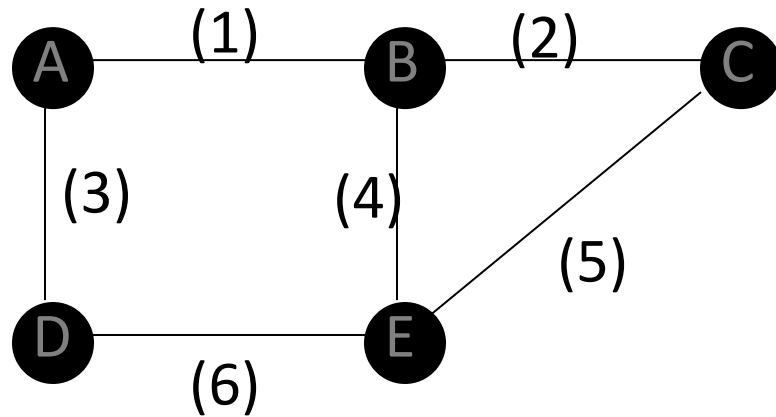
{dst_net, distance, next_hop_node}

Routing Information Protocol (RIP)

- RIP for IPv4 ; RFC 1058/1721/1722/1723/1724
RIP for IPv6 ; RFC 2080
- routed (ルートデーモン) in BSD, SunOS
 - 最大ホップ数 ; 15 ホップ
 - Cold-Start 方式; 経路の計算に最大450秒(=15x30秒)必要
 - 30秒ごとにDistance Vectorデータベース情報の交換
 - ノード/リンクの状態変化もホップホップに伝播
 - UDP(port=520)を用いたデータベース(Distance Vector)の交換。
 - 180秒返事がないと故障と判断する(keep-alive方式)
 - 最適経路の計算式 ;
 - $D(i,j)$; distance vector
 - $d(i,j)$; node_i と node_j 間の距離

$$D(i,j) = \min [d(i,k) + D(k,j)] \quad (\text{for all } k)$$

Routing Information Protocol (RIP)



(1) 0 sec

From A to	Link	Cost
A	local	0



(2) 30 sec

From A to	Link	Cost
A	local	0
B	(1)	1
D	(3)	1

←
B → A

←
D → A

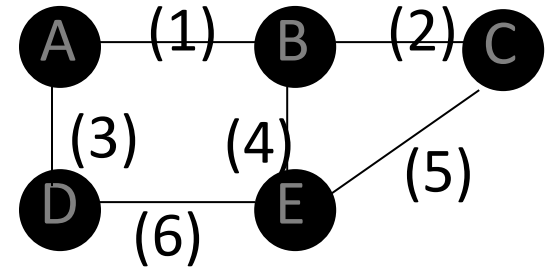
From B to	Link	Cost
B	local	0

From D to	Link	Cost
D	local	0

Routing Information Protocol (RIP)

(2) 30 sec

From A to	Link	Cost
A	local	0
B	(1)	1
D	(3)	1



From B to	Link	Cost
A	(1)	1
B	local	0
C	(2)	1
E	(4)	1

From D to	Link	Cost
A	(3)	1
D	local	0
E	(6)	1

← B → A

← D → A

(3) 60 sec

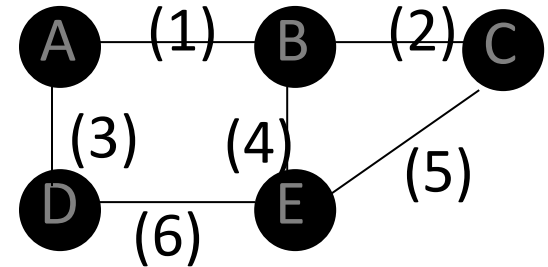
From A to	Link	Cost
A	local	0
B	(1)	1
C	(1)	2
D	(3)	1
E	(1)	2

← Select one from even two path
→ {(1),2} vs {(3), 2}

Routing Information Protocol (RIP)

(3) 60 sec

From A to	Link	Cost
A	local	0
B	(1)	1
C	(1)	2
D	(3)	1
E	(1)	2



From B to	Link	Cost
A	(1)	1
B	local	0
C	(2)	1
D	(1)	2
E	(4)	1

From D to	Link	Cost
A	(3)	1
B	(3)	2
C	(6)	2
D	local	0
E	(6)	1

←.....

B → A

←.....

D → A

(4) 90 sec

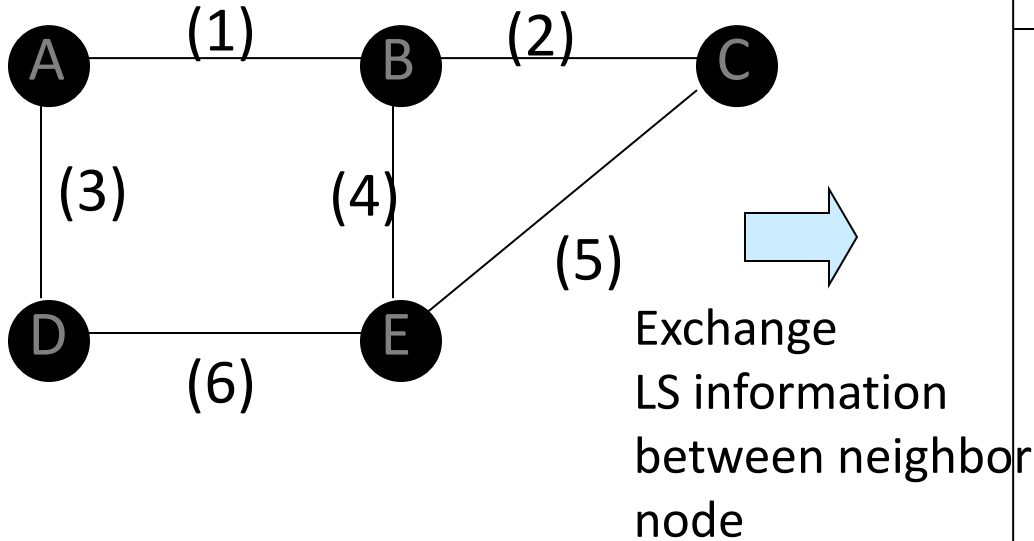
From A to	Link	Cost
A	local	0
B	(1)	1
C	(1)	2
D	(3)	1
E	(1)	2

Link State Routing Protocol

- SFP (Shortest Path First) 方式
 - 1970年頃のARPANETにおいて使用
 - 大規模化への対応(Distance Vectorの課題の克服)
 - ルーティングドメイン内の各ノード間の接続トポロジー情報と、ノード間の接続リンクのコスト値(Attribute value)のデータベースを持つ。
 - リンク状態データベースは、ルーティングドメイン内のすべてのノードで同一。
 - 同一のデータベース情報、同一の経路計算アルゴリズムを適用して各ノードで独立に最適経路(自ノードから宛先ネットワークへ最小コストで到達するために取るべき次ホップノードの選択)の計算を行う。
 - リンクコストの積算値が極小となる経路を「最小コストの経路」とする。
 - 宛先ネットワークごとに、最小コストを提供する
 - Spanning_Tree の形成

Open Shortest Path First (OSPF)

[Link State Data-Base]



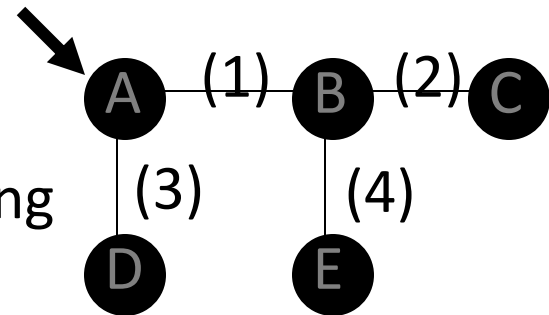
From	To	Link-id	Distance
A	B	1	1
A	D	3	1
B	A	1	1
B	C	2	1
B	E	4	1
C	B	2	1
C	E	5	1
D	A	3	1
D	E	6	1
E	B	4	1
E	C	5	1
E	D	6	1

↓ Calculate spanning tree

At Node "A"

To	Next-Hop	Link-id
B	B	1
C	B	1
D	D	3
E	B	1

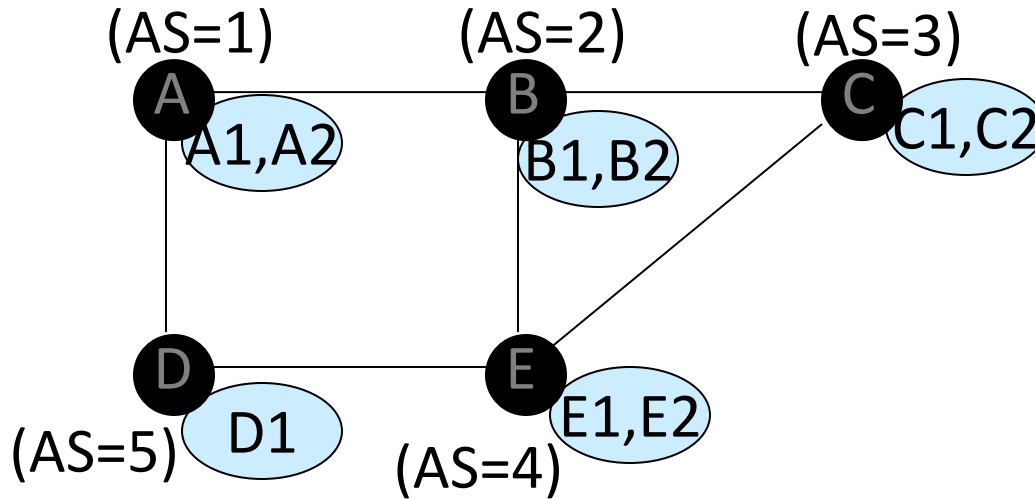
← Build routing table



Path Vector Routing Protocol

- 1982年頃のRFC827 (EGP; Exterior Gateway Protocol)
 - NSFNETバックボーンと地域バックボーンの相互接続を目的として開発された(RFC1093)。
 - 各ネットワークの運用・制御ポリシーを反映させることのできるルーティングプロトコル。
- AS (Autonomous System)間での経路制御;
 - 16 bits で表現される 自律ネットワーク(AS番号)間で、各宛先ASのネットワークへ到達するための経路を、AS番号の順序列(Path-Vector)、あるいはAS番号の集合を用いて表現する。各ASの境界ルータ(Boarder Router)は、隣接ルータ(Peering Router)と、自ASから、すべての到達可能な宛先ASへの到達経路(path)を広告する。Path(AS番号の順序列)の集合情報を利用するので、Path-Vector方式と呼ばれている。

Path Vector Routing



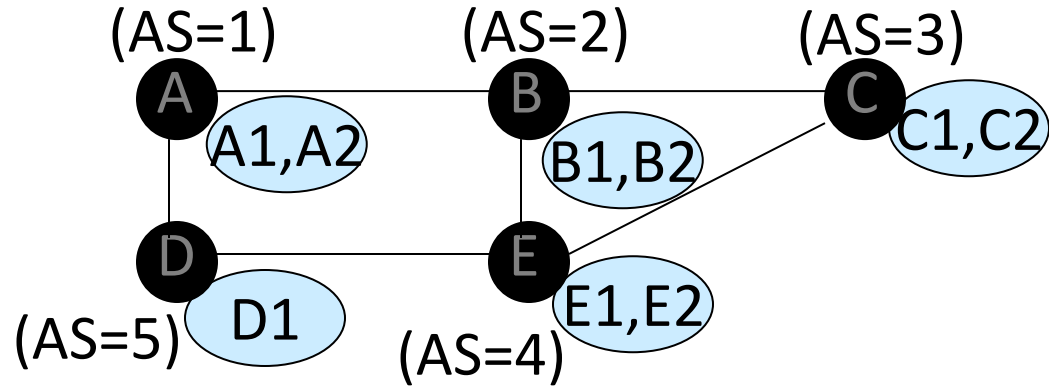
[Path Vector Data-Base in node A]

From	To	Path	Next-Router
A	B1	A,B	B
A	B2	A,B	B
A	C1	A,B,C	B
A	C2	A,B,C	B
A	D1	A,D	D
A	E1	A,D,E	D
A	E2	A,B,E	B

[Path Vector Data-Base in node C]

From	To	Path	Next-Router
C	B1	C,B	B
C	B2	C,B	B
C	A1	C,B,A	B
C	A2	C,E,D,A	B
C	D1	A,E,D	E
C	E1	A,E	E
C	E2	A,B,E	B

Path Vector Routing



(1) Step 1

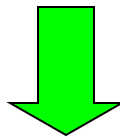
From	To	Path	Next-Router
A	B1	A,B	B
A	B2	A,B	B
A	D1	A,D	D

[From B]

From	To	Path	Next-Router
B	E1	B,E	E
B	E2	B,E	E
B	C1	B,C	C
B	C2	B,C	C

[From D]

From	To	Path	Next-Router
D	A1	D,A	A
D	A2	D,A	A
D	E1	D,E	E
D	E2	D,E	E



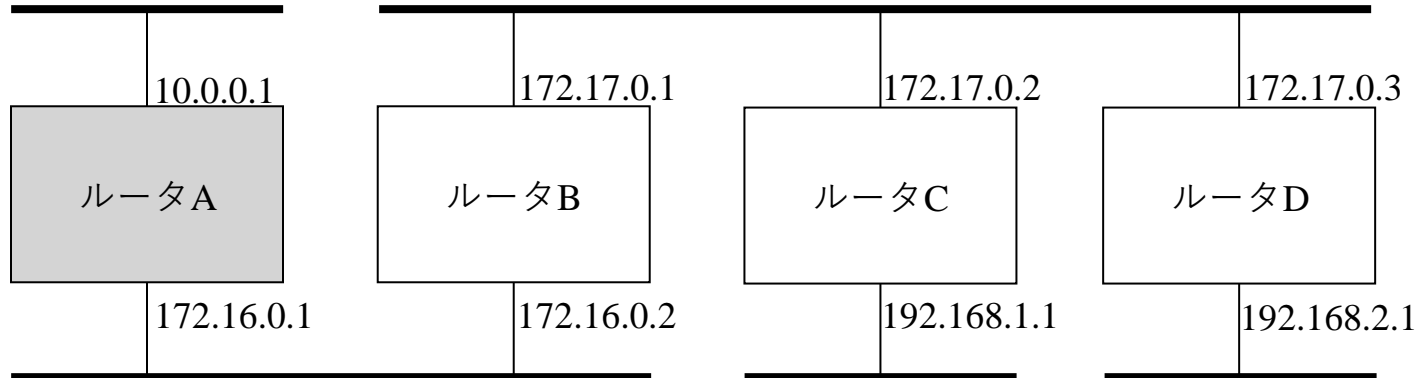
(2) Step 2

From	To	Path	Next-Router
A	B1	A,B	B
A	B2	A,B	B
A	C1	A,B,C	B
A	C2	A,B,C	B
A	D1	A,D	D
A	E1	A,D,E	D
A	E2	A,B,E	B

パケットの転送

- パケットを中継する装置：ルータ
- 届いたパケットが自分宛なら処理
- 自分と同じサブネットのホスト宛ならARPで宛先のMACアドレスを見出して転送
- 自分と異なるサブネットのホスト宛なら自分と同じサブネット上にある他のルータに転送

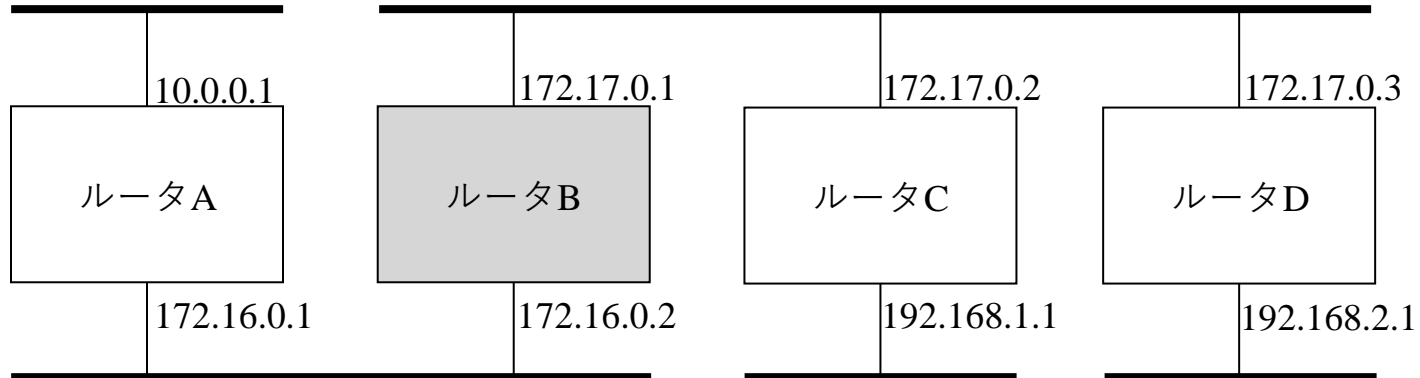
ルーティングテーブル



ルータAのルーティングテーブル

宛先(サブ)ネットワーク	(サブ)ネットマスク	転送先
10.0.0.0	255.0.0.0	10.0.0.1
172.16.0.0	255.255.0.0	172.16.0.1
172.17.0.0	255.255.0.0	172.16.0.2
192.168.1.0	255.255.255.0	172.16.0.2
192.168.2.0	255.255.255.0	172.16.0.2

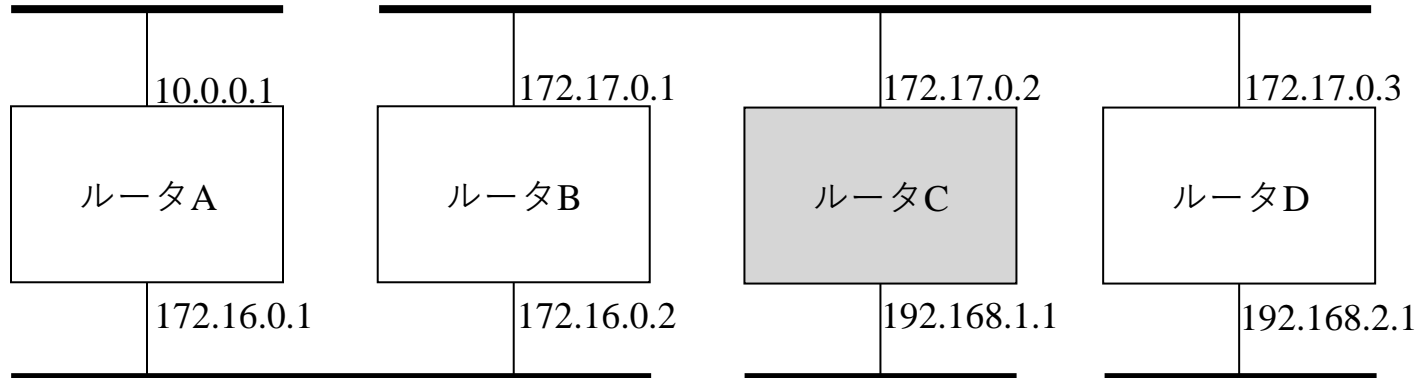
ルーティングテーブル



ルータBのルーティングテーブル

宛先(サブ)ネットワーク	(サブ)ネットマスク	転送先
10.0.0.0	255.0.0.0	172.16.0.1
172.16.0.0	255.255.0.0	172.16.0.2
172.17.0.0	255.255.0.0	172.17.0.1
192.168.1.0	255.255.255.0	172.17.0.2
192.168.2.0	255.255.255.0	172.17.0.3

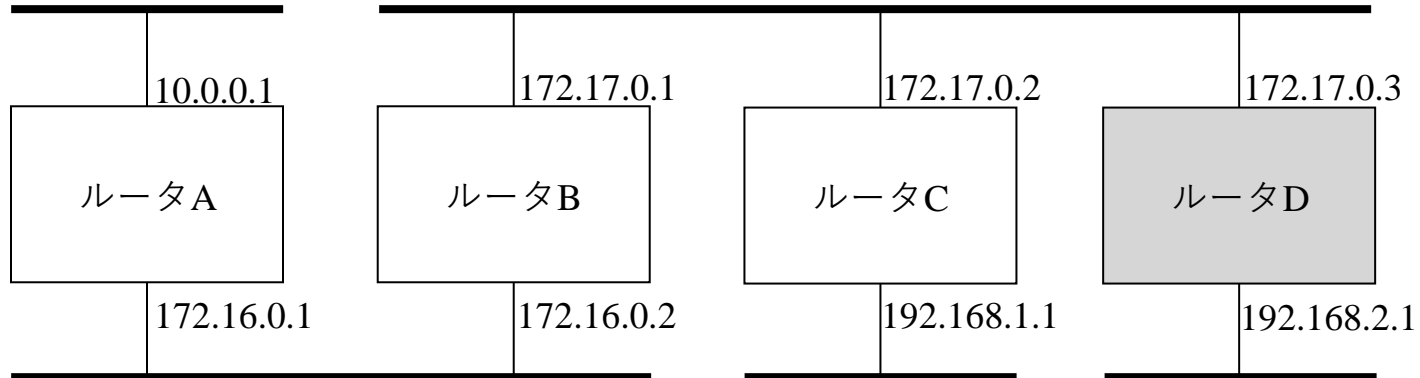
ルーティングテーブル



ルータCのルーティングテーブル

宛先(サブ)ネットワーク	(サブ)ネットマスク	転送先
10.0.0.0	255.0.0.0	172.17.0.1
172.16.0.0	255.255.0.0	172.17.0.1
172.17.0.0	255.255.0.0	172.17.0.2
192.168.1.0	255.255.255.0	192.168.1.1
192.168.2.0	255.255.255.0	172.17.0.3

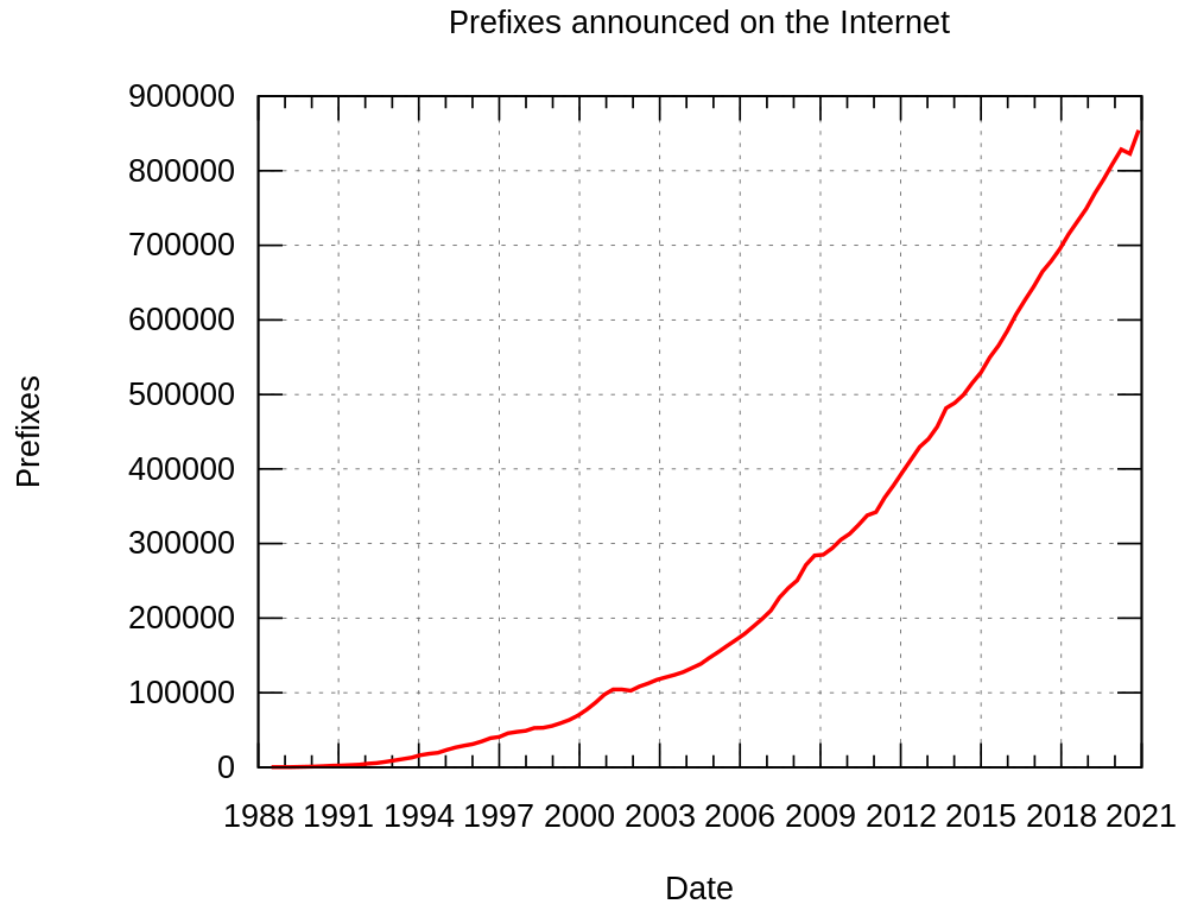
ルーティングテーブル



ルータDのルーティングテーブル

宛先(サブ)ネットワーク	(サブ)ネットマスク	転送先
10.0.0.0	255.0.0.0	172.17.0.1
172.16.0.0	255.255.0.0	172.17.0.1
172.17.0.0	255.255.0.0	172.17.0.3
192.168.1.0	255.255.255.0	172.17.0.2
192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.2.1

Q. 具体的なネットワークの数と計算処理速度の関係がとくわからなかったので教えていただきたいです。



Q. 具体的なネットワークの数と計算処理速度の関係がとくわからなかったので教えていただきたいです。

→ 簡単な計算。 平均パケット長 = 20バイト、経路数 = 100万(10^6)、
回線速度 = 100Gbps(最新は 400Gbpsくらい)だと、、、

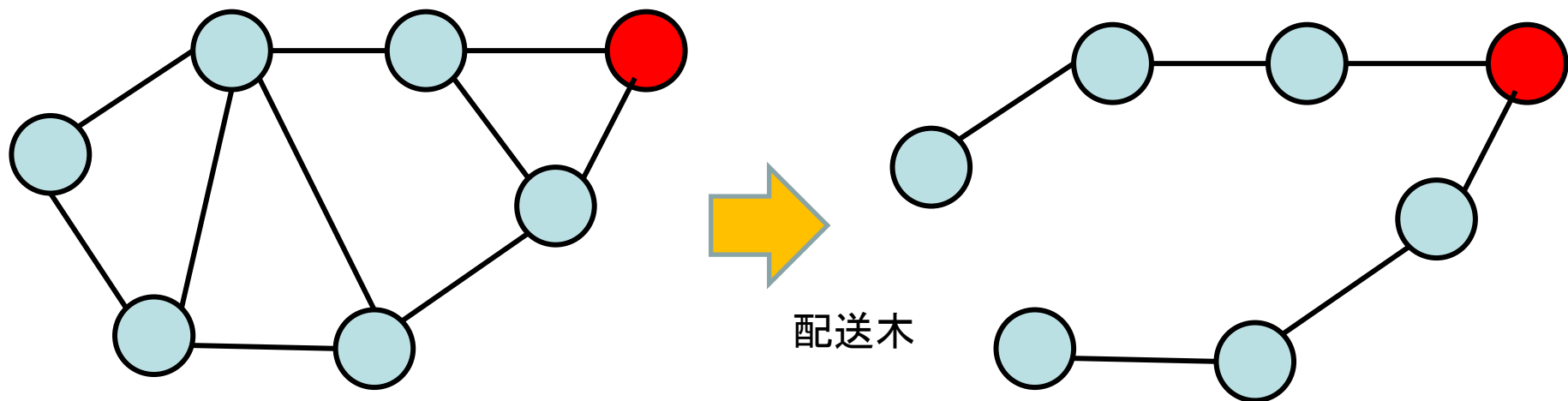
→ PPS(Packet Per Second) は、 $100 \times 10^9 / 160 = 0.625 \times 10^9$

→ 1.6 nsec の間に、 10^6 エントリーの表を検索!!!!

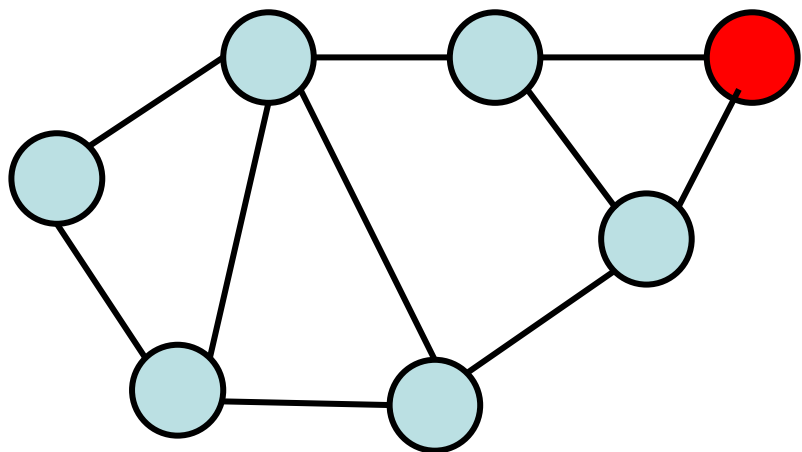
ちなみに、CPUクロック数を $5\text{GHz} = 5 \times 10^9 \text{ Hz}$ とすると、
0.2 nsec/clockになるので、8 clocks で 10^6 エントリー
の表を検索ということに !!!

Anycast Routing

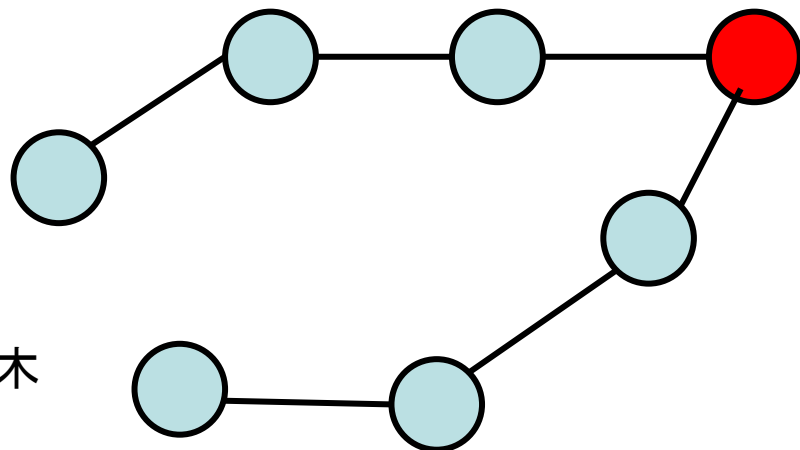
- 同じルーティングエントリー(ネットワーク情報)を、インターネット上の別の場所から広告する。
 - “自動的”に、配送木が分割される。
 - (1) “自動的”負荷分散、(2) “自動的”障害対策



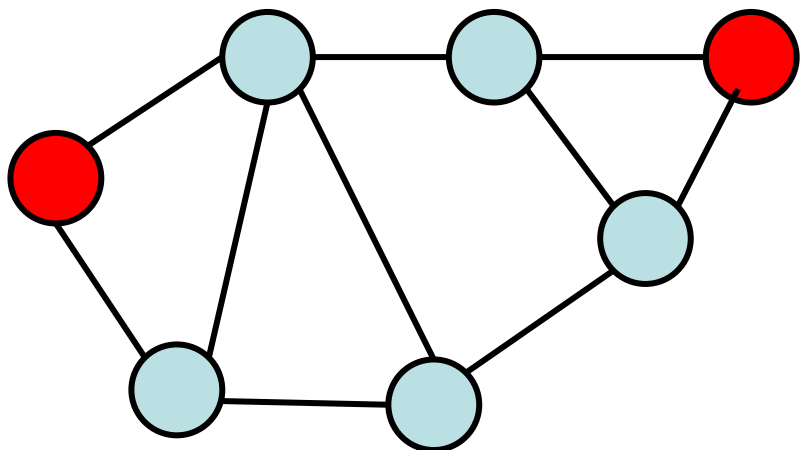
Anycast Routing



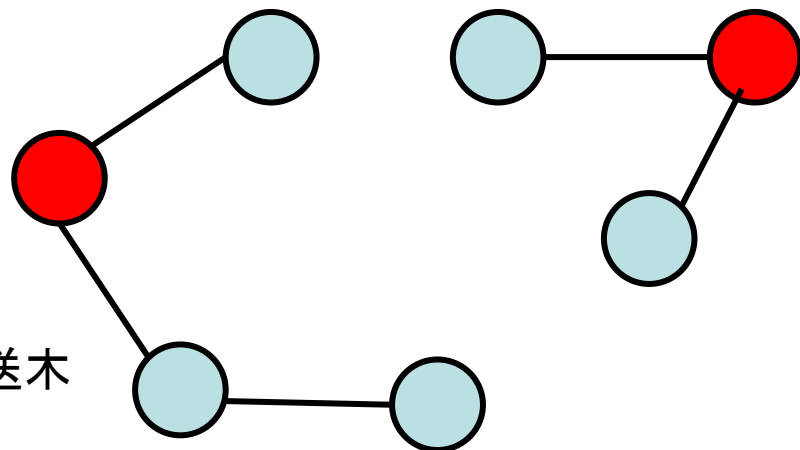
配送木

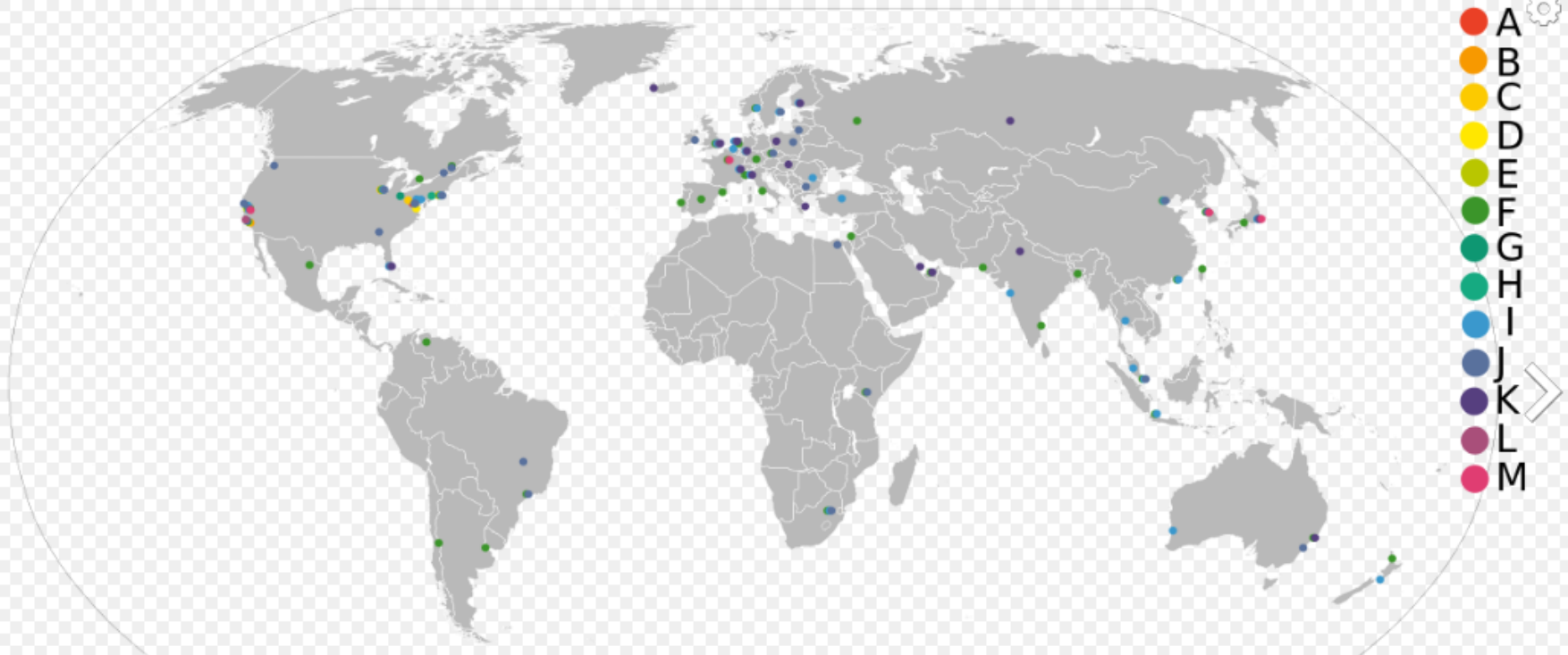


Anycast Routing



配送木





Anycast Routing を用いて、Load Distribution と Resiliency を実現している

Microsoft Windows [Version 10.0.18363.720]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\hiro>ipconfig

Windows IP 構成

Wireless LAN adapter ローカル エリア接続* 1:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

Wireless LAN adapter ローカル エリア接続* 2:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

イーサネット アダプター イーサネット:

接続固有の DNS サフィックス : flets-east.jp
IPv6 アドレス : 240b:11:1e0:100:ecdc:ac77:e329:e12d
一時 IPv6 アドレス : 240b:11:1e0:100:1978:c972:4f93:5a90
リンクローカル IPv6 アドレス : fe80::ecdc:ac77:e329:e12d%15
IPv4 アドレス : 192.168.1.117
サブネット マスク : 255.255.255.0
デフォルト ゲートウェイ : fe80::225:dcff:fe33:55f3%15
192.168.1.1

Wireless LAN adapter Wi-Fi:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

イーサネット アダプター Bluetooth ネットワーク接続:

メディアの状態 : メディアは接続されていません
接続固有の DNS サフィックス :

モバイル ブロードバンド アダプター 携帯電話:

接続固有の DNS サフィックス :
IPv6 アドレス : 2001:240:241f:79d7:0:15:3e1d:2801
IPv6 アドレス : 2001:240:241f:79d7:8cf6:a164:c64d:d66
一時 IPv6 アドレス : 2001:240:241f:79d7:81bf:38cf:bbdb:ef57
リンクローカル IPv6 アドレス : fe80::8cf6:a164:c64d:d66%4
IPv4 アドレス : 100.66.238.218
サブネット マスク : 255.255.255.0
デフォルト ゲートウェイ : 2001:240:241f:79d7:0:15:3e1d:2802
fe80::15:3e1d:2840%4
100.66.238.1

netstatコマンド

```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18363.720]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\hiros>netstat -r
=====
インターフェイス一覧
17...4c 1d 96 11 12 60 .....Microsoft Wi-Fi Direct Virtual Adapter
31...4e 1d 96 11 12 5f .....Microsoft Wi-Fi Direct Virtual Adapter #2
15...f8 75 a4 18 77 da .....Intel(R) Ethernet Connection (6) I219-V
20...4c 1d 96 11 12 5f .....Intel(R) Wireless-AC 9560 160MHz
10...4c 1d 96 11 12 63 .....Bluetooth Device (Personal Area Network)
4...88 99 a5 53 50 58 .....Generic Mobile Broadband Adapter
1.....Software Loopback Interface 1
=====

IPv4 ルート テーブル
=====
アクティブ ルート:
ネットワーク宛先      ネットマスク      ゲートウェイ      インターフェイス      メトリック
0.0.0.0                0.0.0.0            192.168.1.1        192.168.1.117          35
0.0.0.0                0.0.0.0            100.66.238.1       100.66.238.218         326
100.66.238.0           255.255.255.0     リンク上          100.66.238.218         326
100.66.238.218        255.255.255.255   リンク上          100.66.238.218         326
100.66.238.255        255.255.255.255   リンク上          100.66.238.218         326
127.0.0.0              255.0.0.0         リンク上          127.0.0.1              331
127.0.0.1              255.255.255.255   リンク上          127.0.0.1              331
127.255.255.255       255.255.255.255   リンク上          127.0.0.1              331
192.168.1.0            255.255.255.0     リンク上          192.168.1.117          291
192.168.1.117         255.255.255.255   リンク上          192.168.1.117          291
192.168.1.255         255.255.255.255   リンク上          192.168.1.117          291
224.0.0.0              240.0.0.0         リンク上          127.0.0.1              331
224.0.0.0              240.0.0.0         リンク上          192.168.1.117          291
224.0.0.0              240.0.0.0         リンク上          100.66.238.218         326
255.255.255.255       255.255.255.255   リンク上          127.0.0.1              331
255.255.255.255       255.255.255.255   リンク上          192.168.1.117          291
255.255.255.255       255.255.255.255   リンク上          100.66.238.218         326
=====
固定ルート:
なし
```

```

192.168.1.0      255.255.255.0      リンク上      192.168.1.117      291
192.168.1.117   255.255.255.255    リンク上      192.168.1.117      291
192.168.1.255   255.255.255.255    リンク上      192.168.1.117      291
      224.0.0.0      240.0.0.0      リンク上      127.0.0.1          331
      224.0.0.0      240.0.0.0      リンク上      192.168.1.117      291
      224.0.0.0      240.0.0.0      リンク上      100.66.238.218     326
255.255.255.255 255.255.255.255    リンク上      127.0.0.1          331
255.255.255.255 255.255.255.255    リンク上      192.168.1.117      291
255.255.255.255 255.255.255.255    リンク上      100.66.238.218     326
=====

```

固定ルート:
なし

IPv6 ルート テーブル

アクティブ ルート:

```

If メトリック ネットワーク宛先      ゲートウェイ
15  291  ::/0      fe80::225:dcff:fe33:55f3
4   326  ::/0      2001:240:241f:79d7:0:15:3e1d:2802
4   326  ::/0      fe80::15:3e1d:2840
1   331  ::1/128   リンク上
4   326  2001:240:241f:79d7:0:15:3e1d:2801/128
      リンク上
4   326  2001:240:241f:79d7:81bf:38cf:bbdb:ef57/128
      リンク上
4   326  2001:240:241f:79d7:8cf6:a164:c64d:d66/128
      リンク上
15  291  240b:11:1e0:100::/64      リンク上
15  291  240b:11:1e0:100:1978:c972:4f93:5a90/128
      リンク上
15  291  240b:11:1e0:100:ecdc:ac77:e329:e12d/128
      リンク上
15  291  fe80::/64      リンク上
4   326  fe80::/64      リンク上
4   326  fe80::8cf6:a164:c64d:d66/128
      リンク上
15  291  fe80::ecdc:ac77:e329:e12d/128
      リンク上
1   331  ff00::/8      リンク上
15  291  ff00::/8      リンク上
4   326  ff00::/8      リンク上
=====

```

固定ルート:
なし

ICMP (Internet Control Message Protocol)

タイプ	名称
0	エコー応答
3	宛先到達不能
4	送信元抑制
5	方向変換
8	エコー要求
11	生存時間超過
12	パラメータ障害
13	タイムスタンプ要求
14	タイムスタンプ応答

ICMP

- Domain Name Request/Reply (RFC1788)

- ICMP redirection

Router discovery (RFC1256)

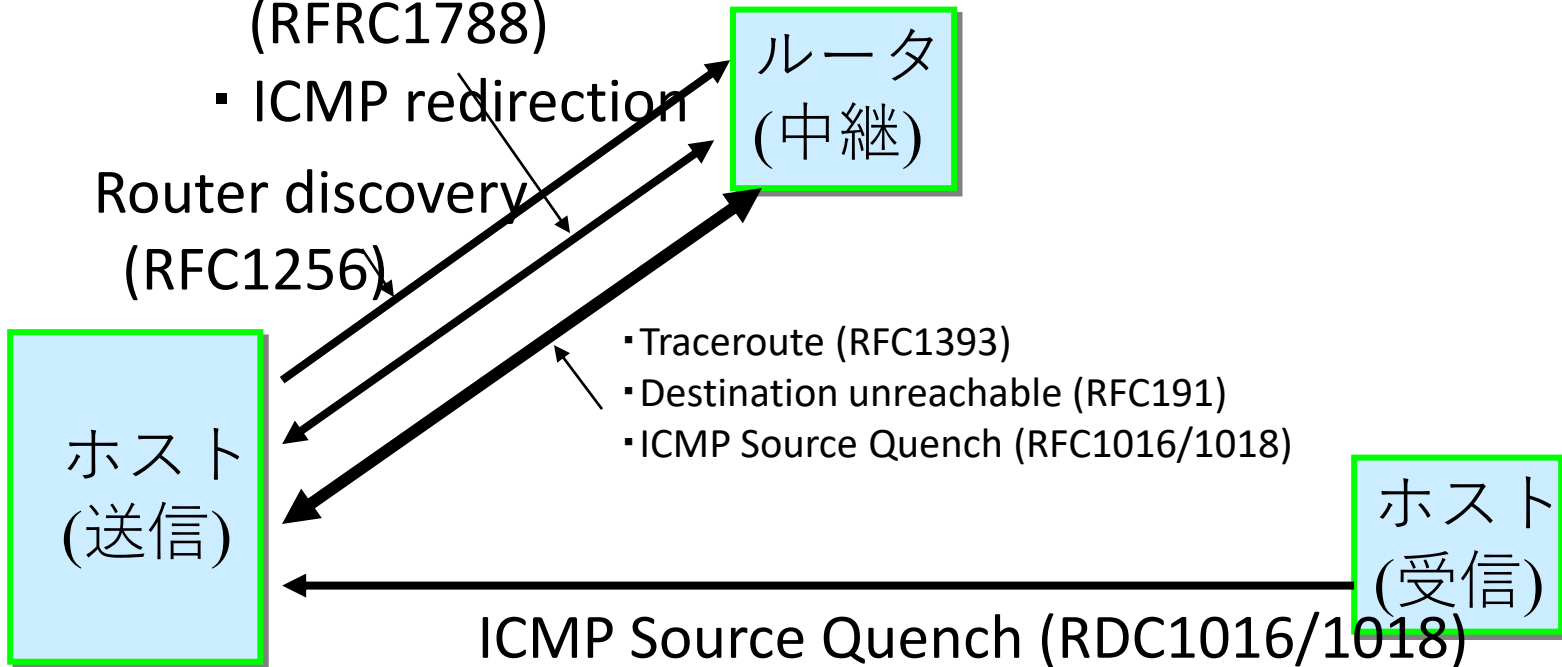
ルータ
(中継)

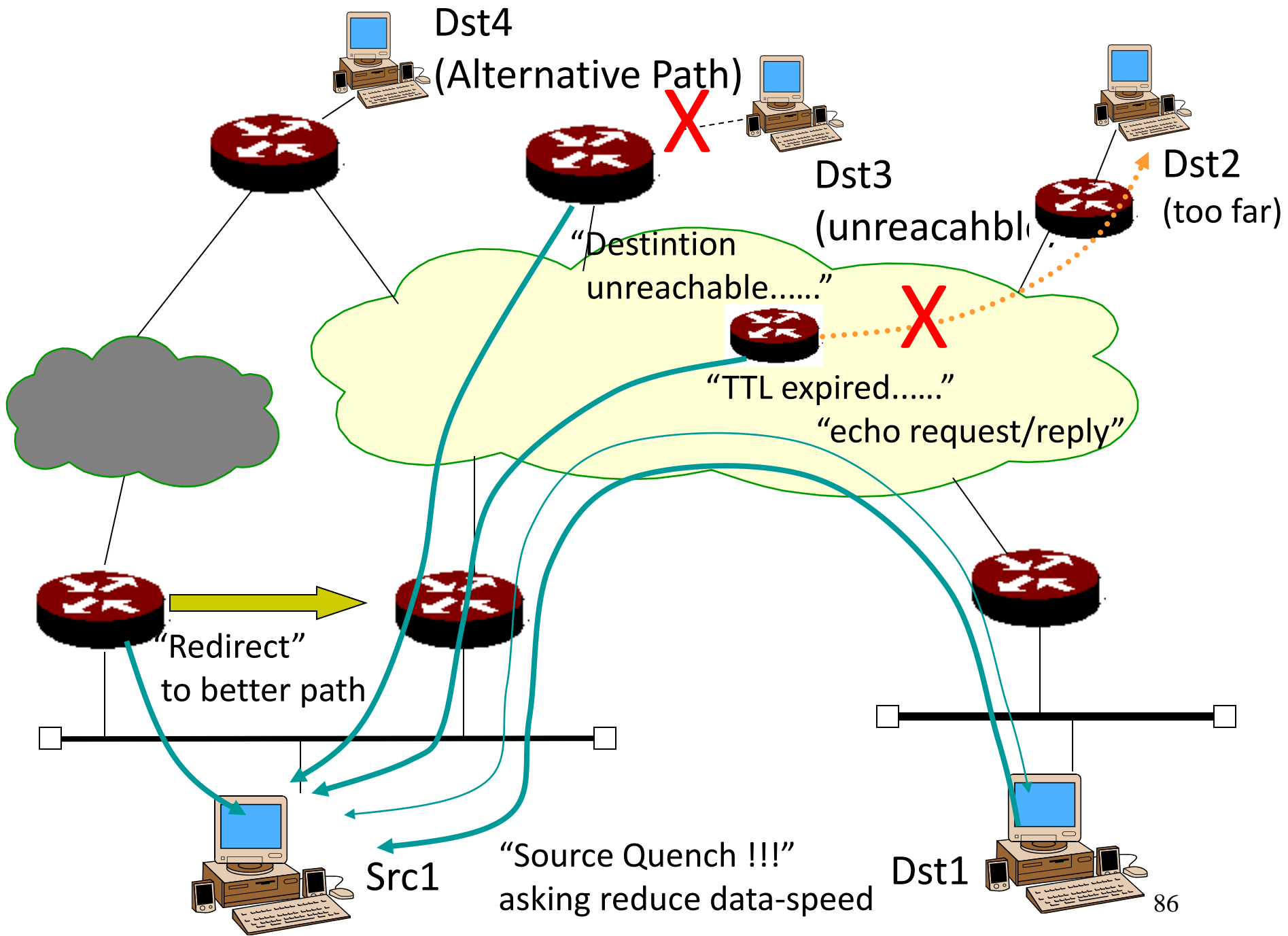
- Traceroute (RFC1393)
- Destination unreachable (RFC191)
- ICMP Source Quench (RFC1016/1018)

ホスト
(送信)

ホスト
(受信)

ICMP Source Quench (RFC1016/1018)





タイプ=3のコード

コード	説明
0	宛先ネットワーク到達不能
1	宛先ホスト到達不能
2	宛先プロトコル到達不能
3	宛先ポート到達不能
4	Don't Fragmentが指定されたパケットの分割が必要
5	ソースルート失敗
6	宛先ネットワーク不明
7	宛先ホスト不明
8	送信元ホスト隔離中
9	宛先ネットワークとの通信を管理上禁止中
10	宛先ホストとの通信を管理上禁止中
11	このサービス種別では宛先ネットワーク到達不能
12	このサービス種別では宛先ホスト到達不能

Traceroute Program

・ Ping 実行時のディスプレイ表示

```
bsdi% traceroute slip
traceroute to slip (140.252.13.65), 30 hops max, 40 bytes packets
 1 bsdi (140.252.13.35)  20 ms  10 ms  10 ms
 2 slip (140.252.13.65) 120 ms 120 ms 120 ms
```

・ tracerouteの動作原理;

→ ICMP time exceed message (type=11,code=0)を利用する。

1. TTL=1 ; On_the-LinkのNext_Hop_Node より先には到達できない。

→ Unreach destination_host due to Time_Exceeded

2. 2度(合計3度) 同一のTTLでICMPパケットの送信

3. TTL ← TTL+1

4. TTL=TTL+1 ; 1_hop先のNodeまでは到達可能になる。

If reachable → Stop

If unreachable

{

2度(合計3度)同一のTTLでICMPパケットの送信;

goto step3.;

}