

前回の復習

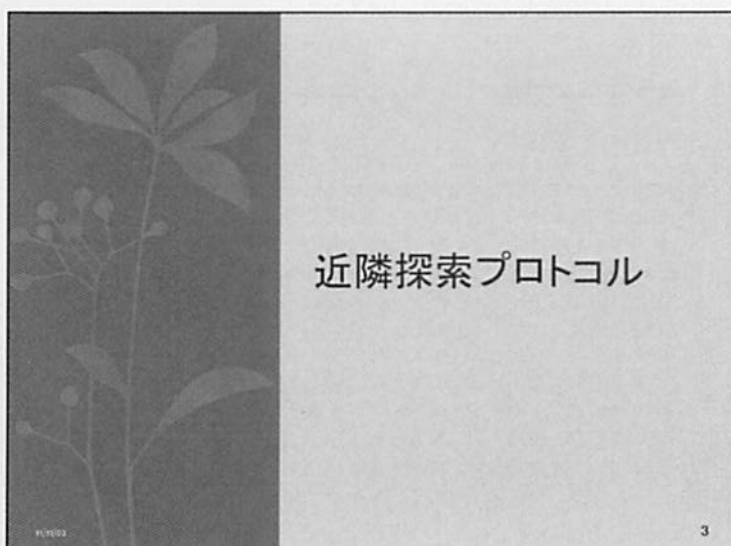
- Internet Protocol / IP アドレス
 - IP
 - IP アドレス
 - サブネット

本日の流れ

- 近隣探索プロトコル
 - ARP
 - NDP
- IP の仕組みと仕様
 - IP パケット
 - End-to-End モデル
- 経路制御の仕組み

11/11/02

2



近隣探索プロトコル

- 誰がどの MAC address / IP address を持っているか、を確認するためのプロトコル
 - 130.69.251.130 という IP address を持っているのは誰ですか？
- ARP : Address Resolution Protocol
 - IPv4 で利用される
- NDP : Neighbor Discovery Protocol
 - IPv6 で利用される

11/11/02

4

ARP Address Resolution Protocol

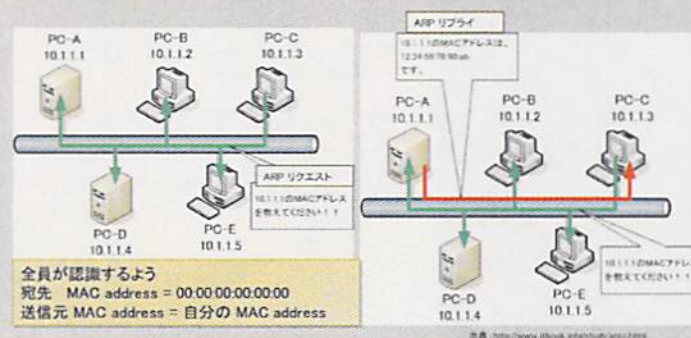
- 下位層アドレスと上位層アドレスを関連づける
- MAC address と IP address の対応付け

```
eno: flags=8863<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
inets fe80::217:f2ff:fe0e:d6d0:eno prefixlen 64 scopeid 0x5
inet 130.69.251.130 netmask 0xffff00 broadcast 130.69.251.255
inets 2001:200:180:299:217:f2ff:fe0e:d6d0 prefixlen 64 autoconf
ether 00:17:f2:0e:d6:d0
media: autoselect (1000baseT <full-duplex,flow-control>) status: active
```

11/11/01

5

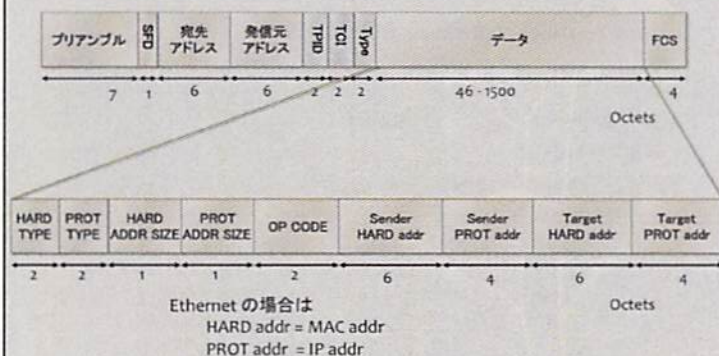
ARP の動作概要



11/11/01

6

ARP フォーマット



11/11/01

7

ARP テーブル

sekiya[~]% arp -an

```
? (130.69.251.79) at 0:e:c:9:43:58 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.95) at 0:d:b:60:8c:47 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.114) at 0:11:43:10:de:59 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.116) at 0:c:29:fd:58:24 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.118) at 0:a:95:a6:ae:c6 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.120) at 0:10:18:14:8e:cc on en0 [ethernet]
? (130.69.251.231) at 0:7:eb:2f:75:3e on en0 [ethernet]
? (130.69.251.235) at 0:3:e3:62:fc:45 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.237) at 0:1e:4f:58:6d:3b on en0 [ethernet]
? (130.69.251.251) at 0:1e:7a:82:de:0 on en0 [ethernet]
? (130.69.251.255) at ff:ff:ff:ff:ff:ff on en0 [ethernet]
```

11/11/01

8

IPv6 NDP

- 基本的な仕組みは ARP と同一
- 何が異なる?
 - NDP は ICMPv6 という IPv6 の機能の一部を用いて実現
 - ARP はそれ自体が IP と並ぶ Layer 3 (ネットワーク層) のプロトコル
- 問い合わせ手法
 - ARP は宛先 MAC address を 00:00:00:00:00:00 という特殊なアドレスを用いることで同一ネットワーク上の全員に対して問い合わせを行う
 - => broadcast
 - NDP は multicast という仕組みを用いて、同一ネットワーク上の全員に対して問い合わせを行う



11/11/01

9

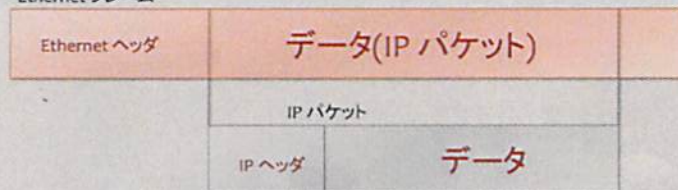
IP の仕組みと仕様

11/11/01

10

IP パケットの位置

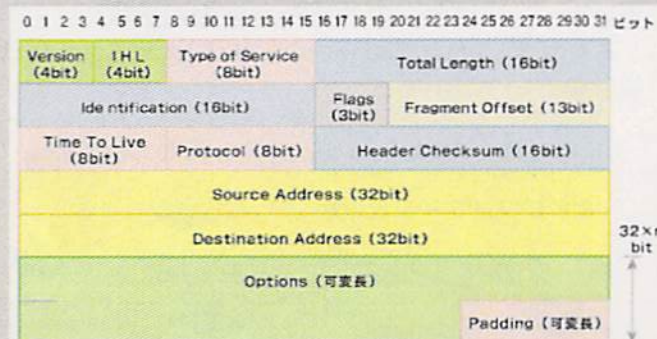
Ethernet フレーム



11/11/01

11

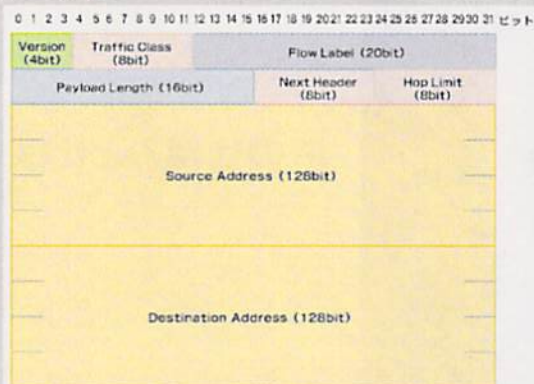
IPv4 ヘッダー

出典: <http://www.atmarkit.co.jp/network/html/ipv4-03/ipv4-03.html>

11/11/01

12

IPv6 ヘッダー

出典: <http://www.atmarkit.co.jp/network/kenka/ipv6-d/ipv6-eh.html>

r1/r1/02

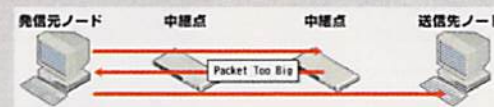
13

IPv4 ヘッダーと IPv6 ヘッダー

- IPv4 に比べ IPv6 の方が構造はシンプル

- いらぬものを削除
 - Protocol フィールド
 - Fragment Offset フィールド
 - Header Checksum フィールド 等

- IPv6 ヘッダは固定長
 - 機器による高速処理が可能
 - 途中分割の禁止による高速化

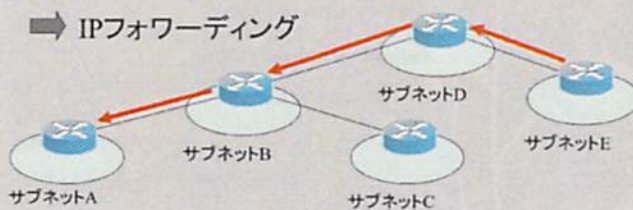


r1/r1/03

14

IP パケットの転送(フォワーディング)

- インターネットは無数のサブネットを相互接続
- あるサブネットから別のサブネットに到達するためには複数のルータが中継



r1/r1/02

15

L3 機器と L2 機器

- 同じネットワーク(サブネット)同士を延長する
 - L2 機器
 - リピータとかスイッチとかハブとか呼ばれる



- 違うネットワーク(サブネット)を接続
 - L3 機器
 - ルータと呼ばれる

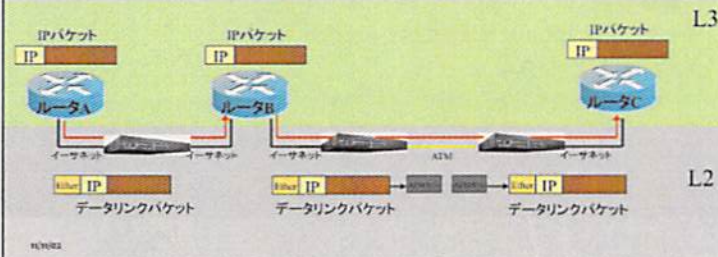


r1/r1/03

16

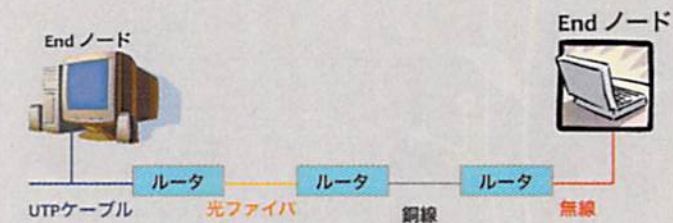
IPによるパケットの伝送

- 複数のデータリンクを相互に接続
- 大規模なネットワークを構築
- ルータによって各ネットワーク(セグメント)間を接続
- IPはデータリンクのトポロジを意識しない
- データリンクは1本の通信回線に見える

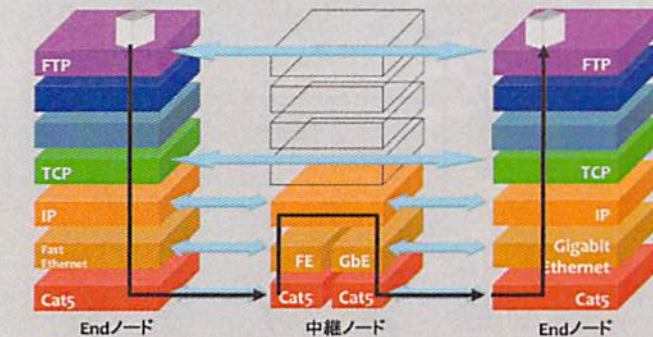


End-to-Endの通信モデル

- Endノード同士(データ送信者と受信者)がデータの送受信をコントロール
- 中継ノード(ルータ)はデータを転送するだけ
- Endノードと中継ノードでは、データ転送に対する責任範囲(役割)が異なる



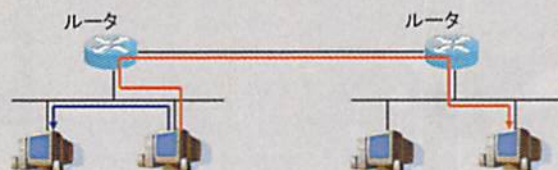
TCP/IPによるデータ伝送の流れ



経路制御

経路

- 通信先へ到達するために、IPパケットを送信・転送するための宛先情報
- 宛先が同一リンク上なら直接配送
- 宛先が同一リンク上でない場合は中継ノード(ルータ)を経由



21

経路を管理するための仕組み

- 経路表
 - ルータ、ホストが保持する経路の一覧表
 - 宛先がこの方面ならこちらにパケットを投げなさいというリスト
- 経路検索
 - パケットを転送する際に、経路表から該当する転送先を検索
- 経路制御
 - 各ルータに正しい経路表を設定する仕組み
- 経路制御プロトコル
 - 経路制御をルータ間で自動的に行う仕組み

22

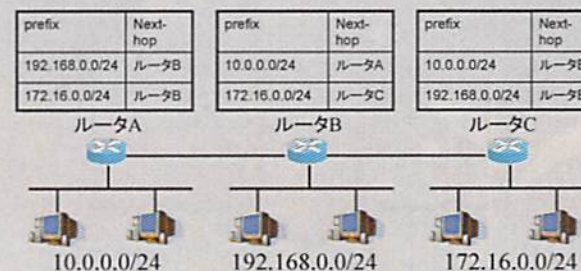
経路表の情報

- 宛先プレフィクス
 - ネットワークアドレス + ネットマスクで表現される、IPアドレスの範囲
 - 例 203.178.143.0/25
- ネクストホップ
 - 宛先アドレスに到達するための次の転送先
- 送信インターフェース
 - どのインタフェースからパケットを送信するのか

23

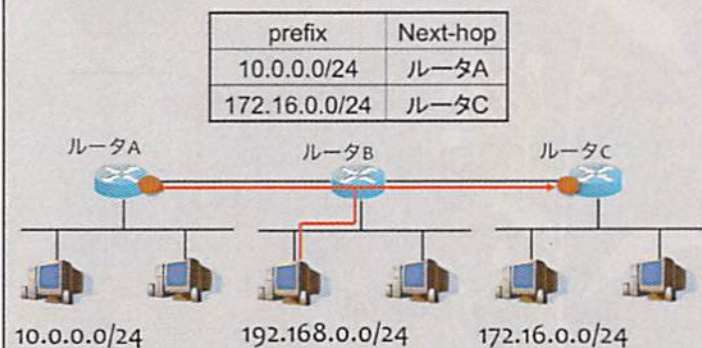
経路表

- 全てのインターネットノードは経路表を持つ
- ホストは default route (ルータの IP アドレス) だけを知っている
- ルータは多くの経路を保持



24

経路表と IP Forwarding



25

ホストの経路表(例)

* netstat -rn

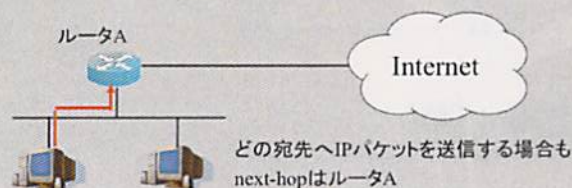
sekiya@host-24-21[~]% netstat -rnfinet
Routing tables

```
Internet:
Destination      Gateway         Flags      Refs      Use  Netif Expire
default          133.93.24.1    UGSc       20        18   en0
127              127.0.0.1      UCS        0         0   lo0
127.0.0.1        127.0.0.1      UH         3   110856  lo0
133.93.24/21     link#4         UCS        2         0   en0
133.93.24.1      0:0:5e:0:1:18 UHLW       20        0   en0   450
133.93.24.21     127.0.0.1      UHS        0         0   lo0
133.93.31.255    ff:ff:ff:ff:ff UHLWb      0        12   en0
169.254          link#4         UCS        0         0   en0
```

26

Default Route

- 経路表のどのエントリにも合致しない IP パケットを送信・転送する際に用いる経路
- 自分が知らないネットワークが宛先となっているパケットは、経路を知っているであろうルータに渡す
 - 上流のルータへ向けることが多い
- ホストは default route だけ設定することが多い
- Default route は、0.0.0.0/0 (IPv4) ::0/0 (IPv6) として表現される



27

ルータの経路表(例)

* show ip route

```
1332 12.67.7.0/24      203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1333 12.68.46.0/24     203.178.140.215 ve 5    200/3    B
1334 12.68.47.0/24     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1335 12.68.61.0/24     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1336 12.68.84.0/22     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1337 12.68.88.0/22     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1338 12.68.107.0/24    203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1339 12.68.137.0/24    203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1340 12.68.140.0/24    203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1341 12.68.144.0/23     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1342 12.68.156.0/23     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1343 12.68.172.0/24     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1344 12.68.216.0/21     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1345 12.68.235.0/24     192.50.36.49   ve 13    200/2    B
1346 12.68.241.0/24     203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1347 12.69.32.0/24      203.178.141.142 ve 51    200/3    B
1348 12.69.39.0/24      203.178.141.142 ve 51    200/3    B
```

28

経路表の例 : IPv4

```

cisco1#show ip cef
Prefix      Next Hop      Interface
133.23.0.0/16  203.178.138.231  GigabitEthernet2/0.4
133.24.0.0/16  203.178.138.231  GigabitEthernet2/0.4
133.25.0.0/16  203.178.138.231  GigabitEthernet2/0.4
133.26.0.0/16  203.178.138.231  GigabitEthernet2/0.4
133.27.0.0/16  203.178.137.78   GigabitEthernet1/0.100
133.27.1.240/29  attached
133.27.1.240/32  receive
133.27.1.241/32  133.27.1.241     GigabitEthernet1/0.120

```

宛先ネットワーク	Next-Hop	出力インタフェース
133.27.0.0/16	203.178.137.78	GigabitEthernet1/0.100

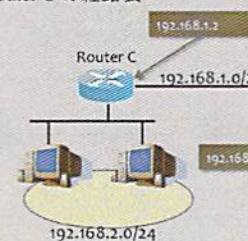
11/11/02

29

静的経路制御

prefix	Next-hop
default	192.168.1.1

Router C の経路表

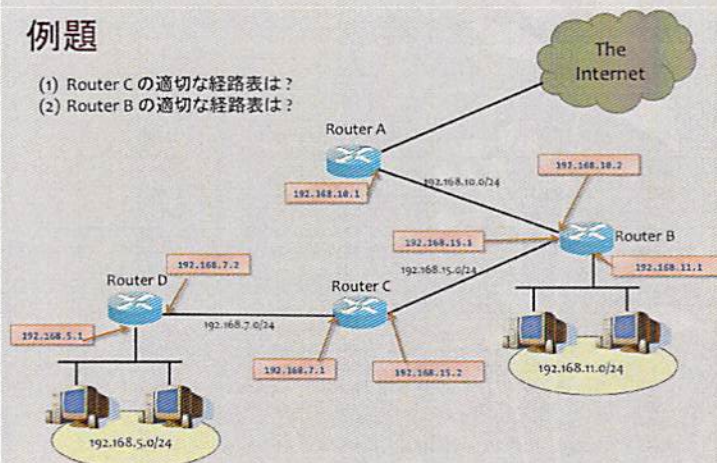


11/11/02

30

例題

- (1) Router C の適切な経路表は ?
- (2) Router B の適切な経路表は ?

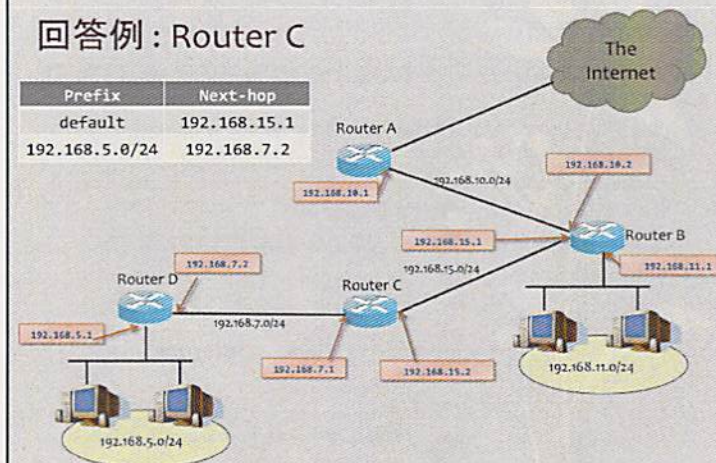


11/11/02

31

回答例 : Router C

Prefix	Next-hop
default	192.168.15.1
192.168.5.0/24	192.168.7.2

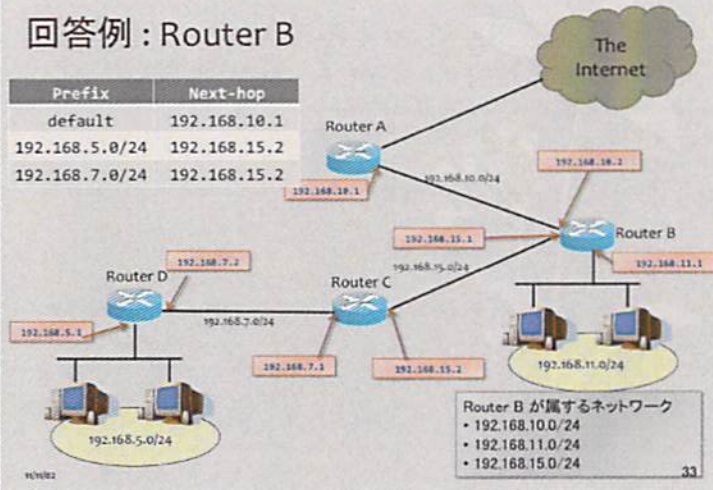


11/11/02

32

回答例 : Router B

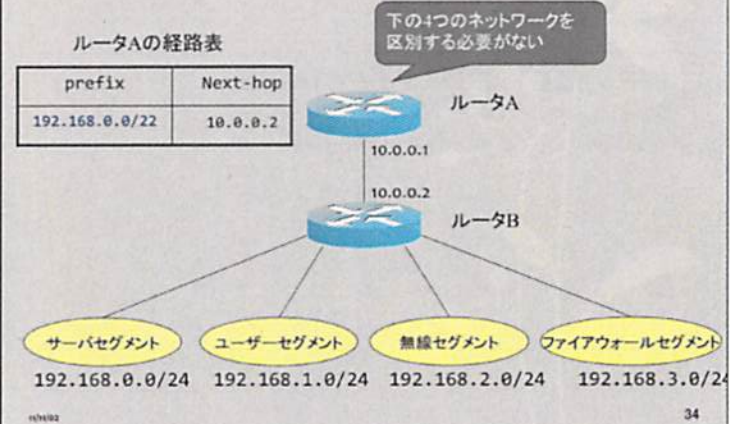
Prefix	Next-hop
default	192.168.10.1
192.168.5.0/24	192.168.15.2
192.168.7.0/24	192.168.15.2



経路の集約

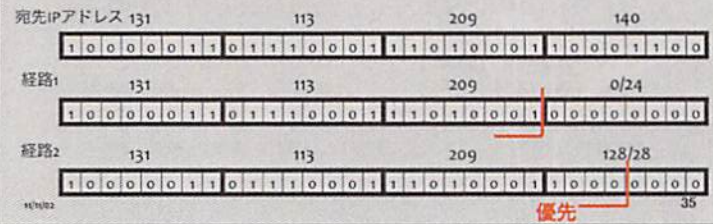
ルータAの経路表

prefix	Next-hop
192.168.0.0/22	10.0.0.2



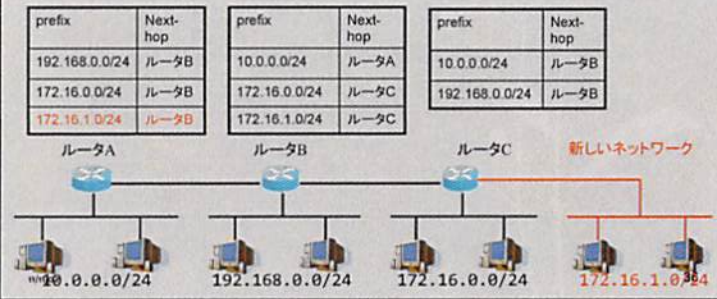
経路探索のルール

- 最長一致(Longest Match)ルール
- 宛先IPアドレスにmatchする経路が複数ある場合、最も長いネットワークアドレスがマッチする経路を優先
- 131.113.209.140 と通信するには？
 - 131.113.209.0/24
 - 131.113.209.128/28
- Default route(0.0.0.0/0) の優先順位は一番低い



経路表の更新

- ネットワークの構成変更がおこったら？
- 新しいネットワークが追加されたら？
- 停電などによって通信先のルータが落ちたら？
- 全てのルータで経路表を更新する必要がある



経路表の更新方法

- 人間が手動で設定してまわる
 - Static Routing, 静的経路制御
- 各ルータで自動的に経路表が更新される仕組み
 - Dynamic Routing, 動的経路制御
- 経路制御プロトコル(Routing Protocol)を利用

11/11/01

37

静的経路制御 (Static Routing)

- すべての宛先に対する経路情報を、ルータが静的に保持する方式
 - 経路表をあらかじめ人間が設定する
 - 経路表に更新がある場合も、人間が設定する
- 利点
 - 安定している(経路表に余計な変動が生じない)
 - ネットワークに経路情報を流さなくてすむ
 - 小規模なネットワークでは作業が単純
- 欠点
 - どこかのリンクやルータに障害が起こっても、人間が作業するまで経路表が更新されない
 - 大規模なネットワークでは設定や更新の量が膨大

11/11/01

38

動的経路制御 (Dynamic Routing)

- 経路制御プロトコルを用いて、経路情報をルータ間で交換する方式
- 利点
 - 自動的にネットワークの変更を検出し、経路表が更新される
 - 複雑なトポロジでも、最適な経路表を短時間で設定できる
- 欠点
 - 経路情報をネットワーク越しに転送するため、帯域を一部利用する
 - 経路が安定しない時がある
 - 原因: 設定ミス、リンクの障害、他のネットワークから伝播した経路
- 方式
 - 距離ベクトル型
 - リンク状態型
 - パスベクトル型

11/11/01

39

メトリック

- 最適な経路を選ぶ際のパラメータ
 - 同じ場所にたどりつくためにも、いくつかの道順がある
 - 利用するメトリックによって経路の選択が変わる
- 鉄道
 - 所要時間
 - 乗り換え回数
 - 料金

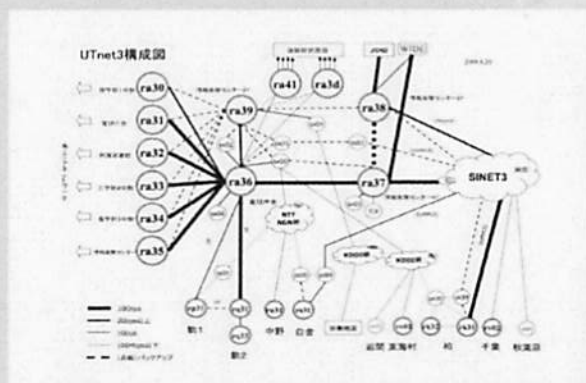
本郷三丁目 - 新大塚大町 2010 年 11 月 22 日 (月) 20:00 発

時刻表	料金表	乗り換え回数				
経路 (出発時刻 → 到着時刻)		アイコン	所要時間	料金	乗車回数	利用する交通機関
経路1 20:03 → 20:35			32分	310円	2回	
経路2 20:03 → 20:35			35分	310円	2回	
経路3 20:01 → 20:43			42分	440円	2回	

11/11/01

40

東京大学のネットワーク構成



11/11/01

41

経路の調べ方

• tracert / traceroute コマンド

```
% traceroute www.youtube.com
traceroute: Warning: www.youtube.com has multiple addresses; using 74.125.235.103
traceroute to youtube-wi1.google.com (74.125.235.103), 64 hops max, 52 byte packets
 1  ra35-vlan209 (130.69.251.251)  0.723 ms  0.486 ms  0.458 ms
 2  ra36-vlan2 (133.111.127.43)  0.718 ms  0.319 ms  0.976 ms
 3  ra37-vlan3 (133.111.127.78)  0.451 ms  0.425 ms  0.485 ms
 4  tokyo1-dc-rm-ge-1-0-0-119.sinet.ad.jp (150.99.190.101)  0.960 ms  0.788 ms  0.734 ms
 5  tokyo-dc-gm1-ae0-vlan10.s4.sinet.ad.jp (150.99.2.50)  0.960 ms  0.996 ms  0.733 ms
 6  210.173.176.243 (210.173.176.243)  1.734 ms  21.704 ms  1.658 ms
 7  209.85.241.90 (209.85.241.90)  1.975 ms  12.002 ms  1.697 ms
 8  209.85.251.39 (209.85.251.39)  1.961 ms  2.018 ms  1.968 ms
 9  nrt19502-in-f7.1e100.net (74.125.235.103)  1.711 ms  1.824 ms  2.004 ms
```

11/11/02

42

経路の調べ方 (2)

• IPv6 は tracert / traceroute6

```
% traceroute6 www.youtube.com
traceroute6 to www.youtube.com (2404:6800:8002::5d) from 2001:200::1c01:217:f2ff:fe0e:d6d1,
64 hops max, 12 byte packets
 1  foundry4.nezu.wide.ad.jp  0.372 ms  0.216 ms  0.232 ms
 2  ve42.foundry6.otenachi.wide.ad.jp  0.719 ms  0.497 ms  0.469 ms
 3  ve44.cisco2.otenachi.wide.ad.jp  0.739 ms * 0.737 ms
 4  2001:200::133:1dec:0  0.684 ms  0.751 ms  0.728 ms
 5  google3-10g.hkix.net  53.015 ms  52.894 ms  52.967 ms
 6  2001:4860::1:0:116  53.443 ms  53.187 ms
 7  2001:4860::1:0:1063  197.816 ms
 8  2001:4860::1:0:890  84.347 ms
 9  2001:4860::1:0:794  76.699 ms  74.441 ms
10  2001:4860::1:0:c6  74.964 ms
11  2001:4860::1:0:b7  72.233 ms  76.395 ms
12  2001:4860::1:0:13d  82.436 ms  74.449 ms  86.907 ms
13  2404:6800:8002::5d  77.442 ms  72.643 ms  72.669 ms
```

11/11/02

43