

最短経路をもとめるダイクストラ法

■ ダイクストラ法はグラフの各点から特定の点への最短距離 (経路) を逐次的に (= 1 台のコンピュータで) もとめる方法である.

◆ ダイクストラ法 = ダイクストラののアルゴリズム

◆ 数学的なネットワーク (グラフ) のアルゴリズムとしてもっとも重要なもののひとつである.

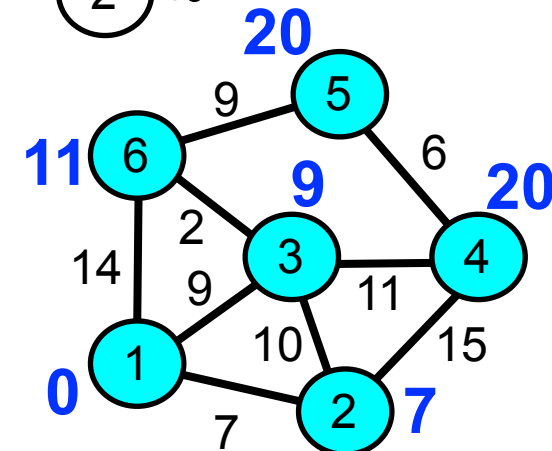
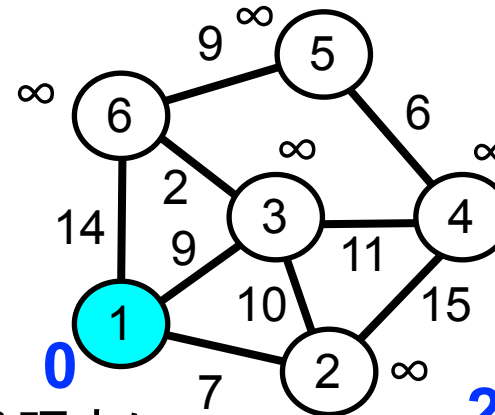
■ 入力

◆ グラフ (ネットワーク)

◆ グラフ上の終点 (「特定の点」)

■ 出力

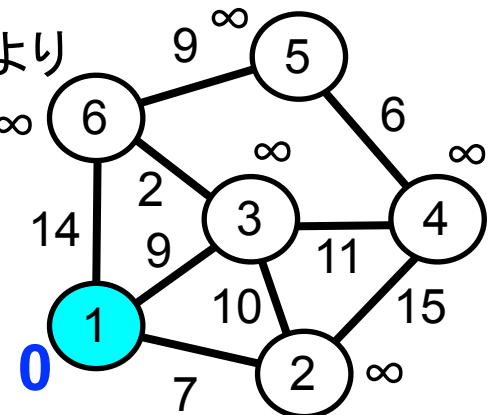
◆ 最短距離 (に対応する隣接ノード) が各頂点に付加されたグラフ.



最短経路をもとめるダイクストラ法 (つづき)

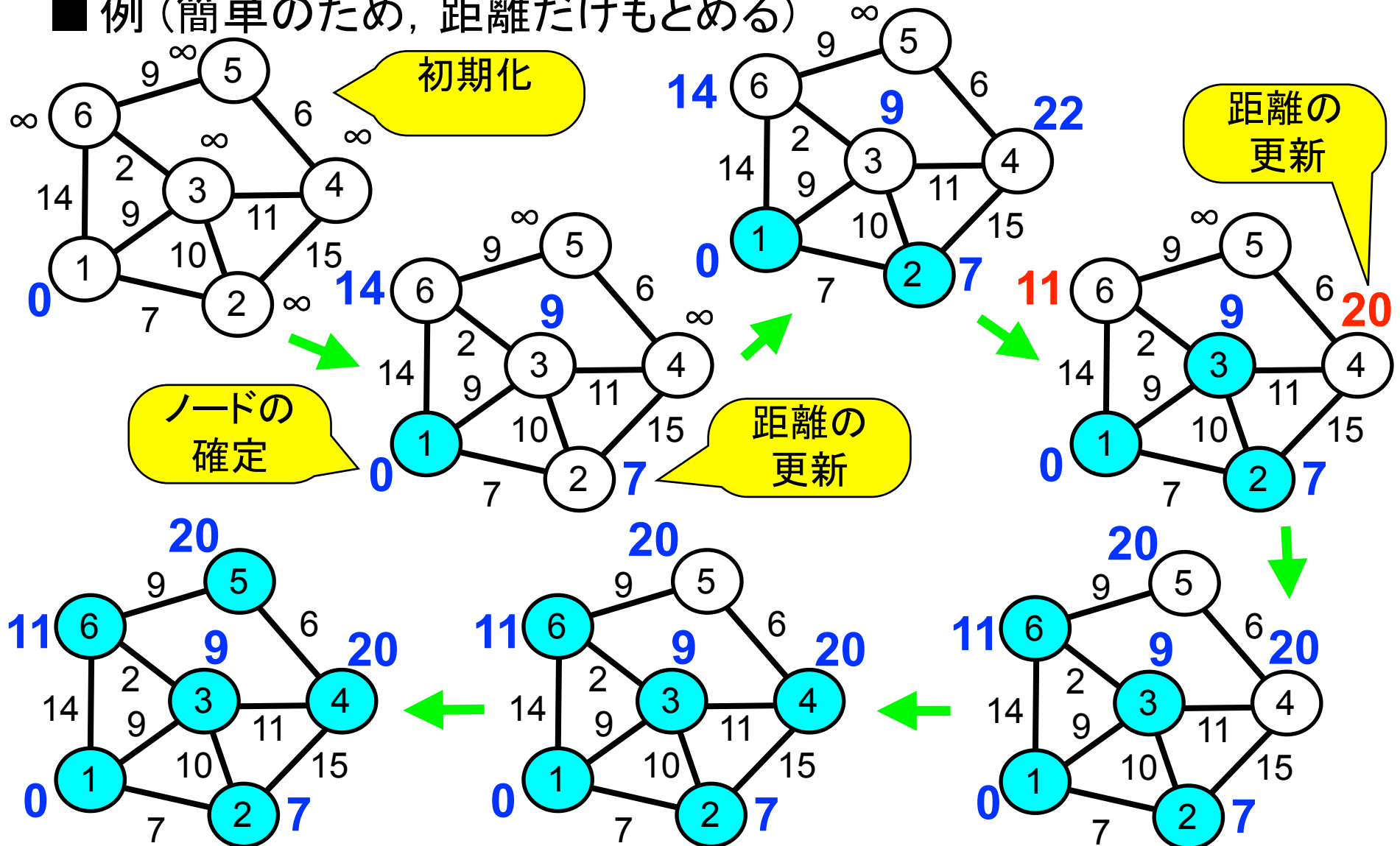
■ アルゴリズム

- ◆ 0. [初期化] 全てのノードの終点までの距離を無限大 (or 非常に大きな値) に初期化する (ただし終点の終点までの距離は 0 としておく)
- ◆ 1. [ノードの確定] 未確定ノードのなかから終点までの距離が最小のノードを選択して確定ノードにする (確定ノードに隣接していないノードは無限大の距離を持つため、自然と確定ノードに隣接するノードの中から確定する)
- ◆ 2. [距離の更新] 確定ノード a に隣接する全ノード b_i に対して、つぎのようにして終点までの距離を更新する.
 - i) b_i が確定済のノードなら何もしない
 - ii) 確定ノード a の終点までの距離とノード a とノード b_i 間の距離とをたした値をもとめ、これを d とする.
 - iii) d がノード b_i に設定されているの終点までの距離よりも小さい場合は d を b_i のゴールまでの距離にする.
- ◆ 3. [終了判定] すべてのノードが確定したら終了.
それ以外は 1. へもどる.



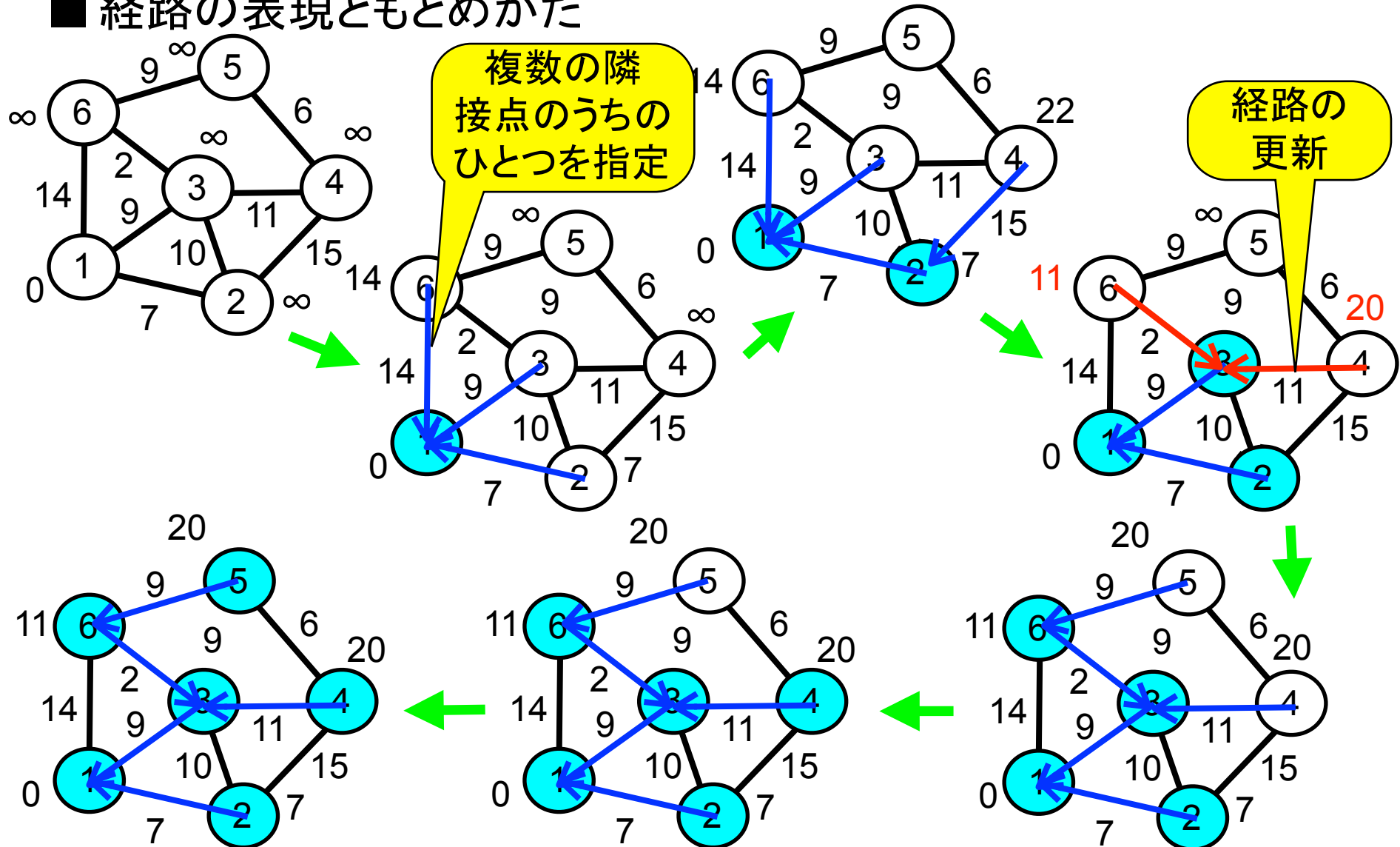
最短経路をもとめるダイクストラ法 (つづき)

■ 例 (簡単のため, 距離だけもとめる)



最短経路をもとめるダイクストラ法 (つづき)

■ 経路の表現ともとめかた



ルーティング・アルゴリズムとダイクストラ法とのちがい

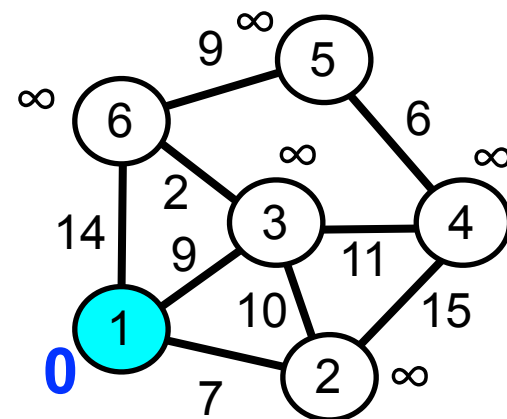
■ ひとつの経路か、複数か？

- ◆ダイクストラ法においてはグラフの特定の頂点への最短経路をもとめる.
- ◆ルーティング・アルゴリズムにおいてはグラフ (= ネットワーク) の各頂点 (= ルータ) と他の各頂点とのあいだの最短経路をもとめる.

■ 計算するのは 1 台か、複数か？

- ◆ダイクストラ法においては 1 台のコンピュータによってもとめる.
- ◆ルーティング・アルゴリズムにおいては, 通常は全ルータが参加してもとめる.
- ◆ダイナミック・ルーティングの計算や通信をルータから分離する方法も提案されている.

- 1 個のサーバで計算する方法 (集中型)
- 複数のサーバが連携して計算する方法 (ルータと同様に分散型)



アルゴリズムによるルーティング法の分類

■ 距離ベクトル・ルーティング (distance vector routing)

- ◆ Bellman-Ford アルゴリズムにもとづいている.
- ◆ 各ルータは自分と他のルータとの距離だけを管理する.
- ◆ 距離ベクトルにもとづくルーティング・プロトコルとして **RIP** (Routing Information Protocol) が代表的である.

■ リンク状態ルーティング (link state routing)

- ◆ 各ルータが他の 2 個のルータ間の距離も管理する.
- ◆ リンク状態にもとづくルーティング・プロトコルとして **OSPF** (Open Shortest Path First) が代表的である.

ネットワーク制御との関係によるルーティング法の分類

- [分類のための準備] IP ネットワークは自律システム (autonomous system, AS) とよばれる管理単位で構成される.
 - ◆ たとえば, ひとつのインターネット・プロバイダのネットワークがひとつの自律システム.

ネットワーク制御との関係によるルーティング法の分類 (つづき)

■ IGP (Interior Gateway Protocol)

- ◆ 自律システム内で使用されるルーティング・プロトコル.
- ◆ 代表的な IGP として RIP, OSPF がある.

■ EGP (Exterior Gateway Protocol)

- ◆ 自律システム間で使用されるルーティング・プロトコル.
- ◆ 代表的な EGP として BGP (Border Gateway Protocol) がある.

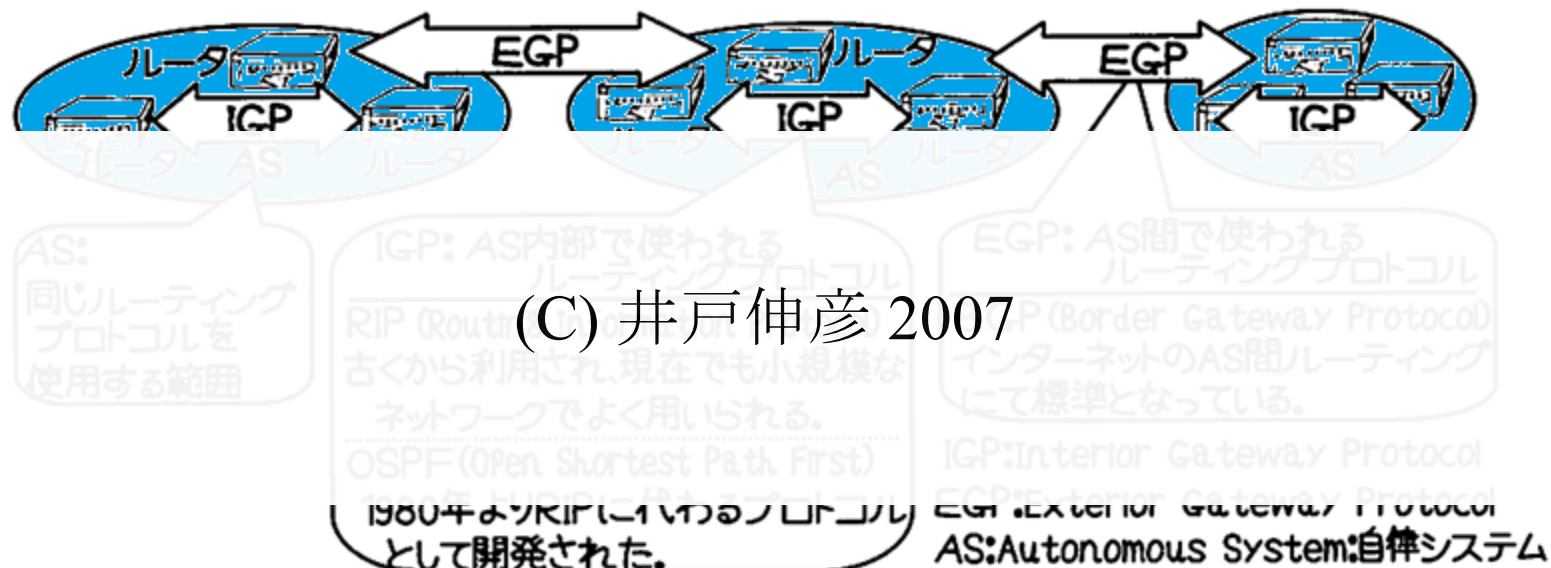


図6.13 適用範囲による分類と代表的なルーティングプロトコル

ダイナミック・ルーティングとネットワーク障害

- ダイナミック・ルーティングをつかっているならば、ネットワークに障害が発生しても自動的に迂回する（対処できる）。

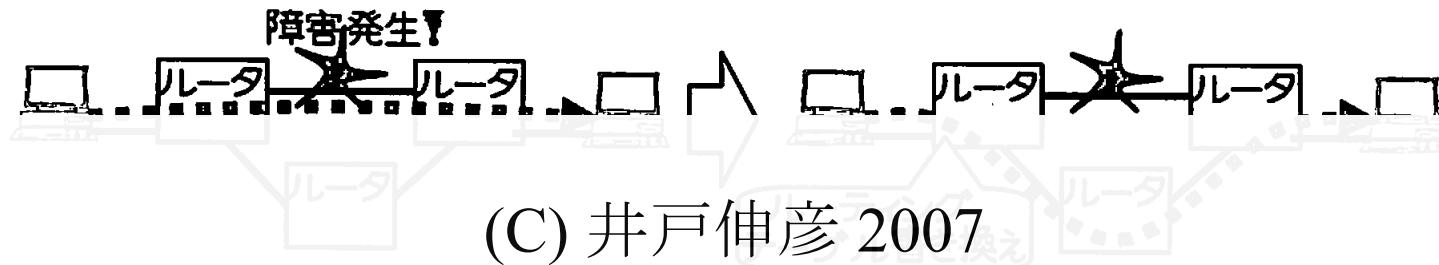
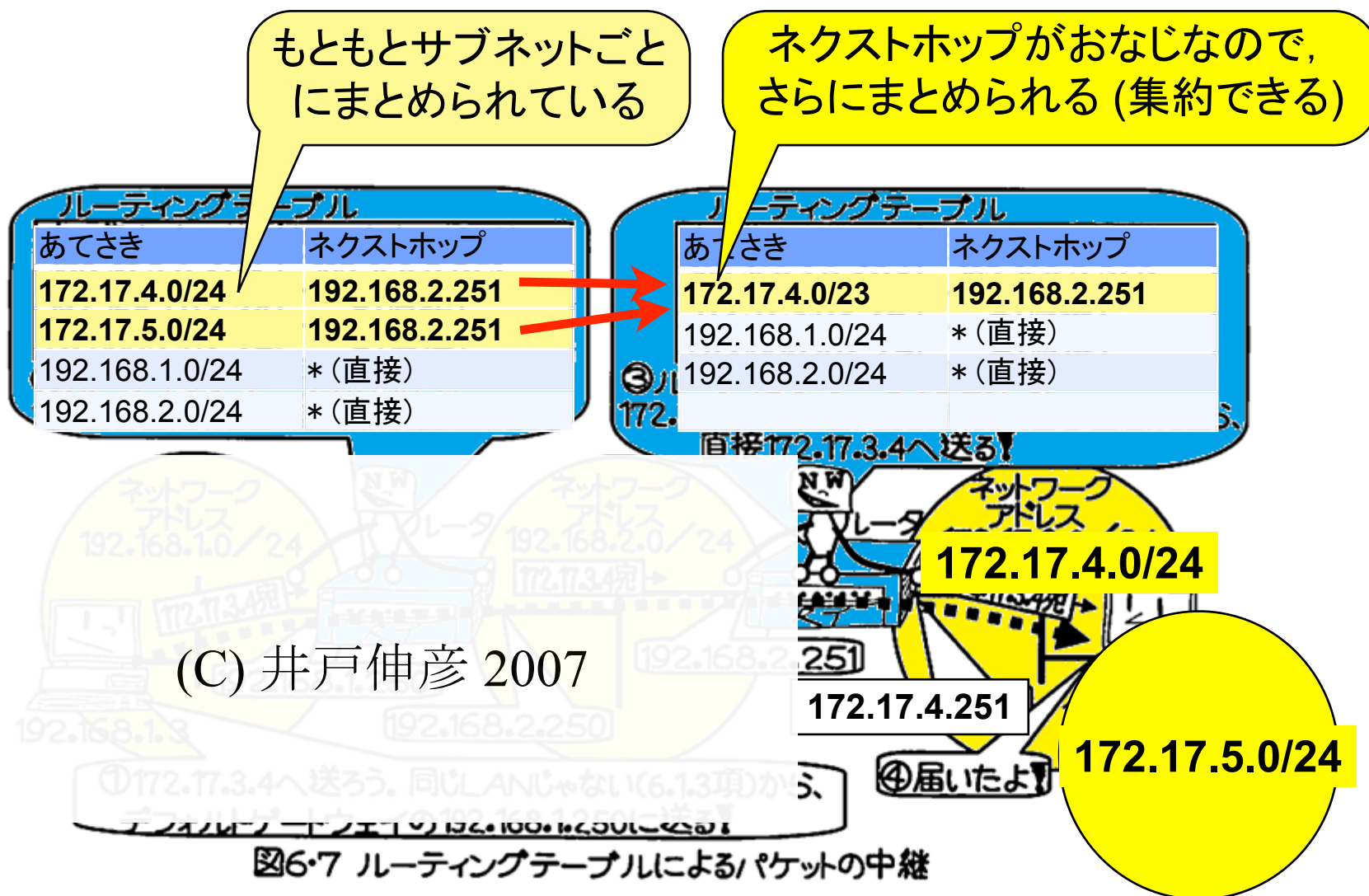


図6.12 障害発生時の迂回

ルーティングにおけるアドレスの集約

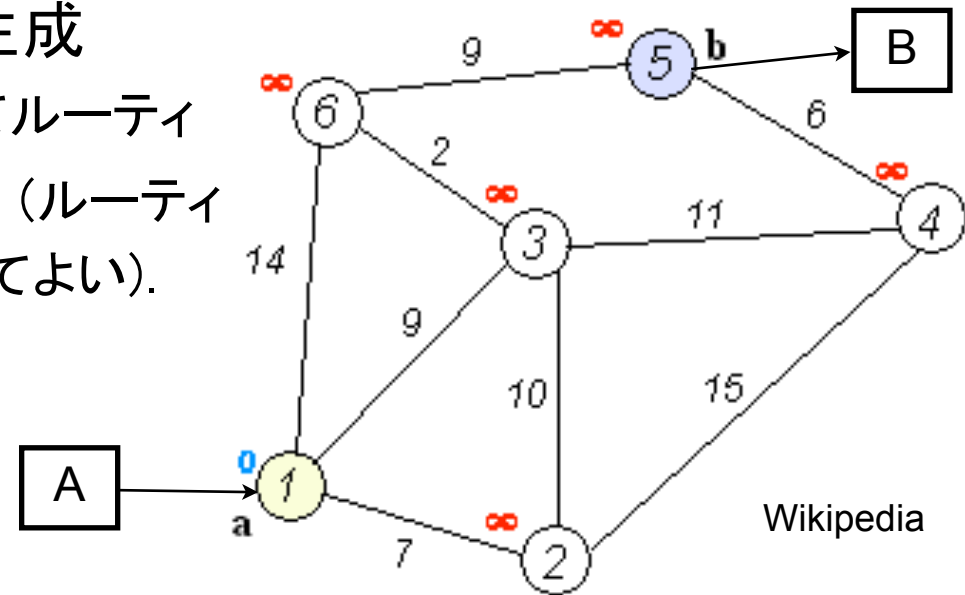
■「集約」によってルーティング・テーブルのサイズをちぢめられる。



プチ演習: ルーティング

■ ルーティング・テーブルの手生成

- ◆ A から B への最短路をもとめてルーティング・テーブルを生成してみよう (ルーティング・アルゴリズムどおりでなくてよい).



■ 転送のシミュレート

- ◆ 生成したルーティング・テーブルにしたがって A から B へのパケットの転送をシミュレートしてみよう.

インターネットの制御プロトコルと体験

- インターネットの設定, 通信のようす, 経路などをみてみよう.
- つぎのようなプロトコルやツールがつかえる.
 - ◆ IP の設定
 - コントロール・パネルなど.
 - ◆ パケットをみる.
 - Wireshark によるキャプチャ.
 - ◆ 通信のようすをみるプロトコル ICMP と関連コマンド.
 - ping による応答時間などの把握.
 - traceroute による経路などの把握.
- 以下これらのプロトコルやツールについて説明する.

パソコンにおける IP の設定

■ コントロールパネルにおける設定 (Windows のとき)



(C) 井戸伸彦 2007

実演

図6.24 Windows XPでのネットワーク設定

パソコンにおける IP の設定 (つづき)

■ ipconfig (ifconfig) コマンドによる確認

- ◆ Windows なら ipconfig, Linux/Mac などなら ifconfig コマンドをつかえば IP アドレスなどに関する設定内容を見ることができる。



(C) 井戸伸彦 2007

図6.23 ネットワーク接続のために端末に設定すべき3つの項目

パソコンにおける IP の設定 (つづき)

■ ifconfig の実行例

```
MacBook-Kana:~ yk$ ifconfig
```

```
lo0: flags=8049<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> mtu 16384
```

```
options=3<RXCSUM,TXCSUM>
```

```
inet6 fe80::1%lo0 prefixlen 64 scopeid 0x1
```

```
inet 127.0.0.1 netmask 0xff000000
```

```
inet6 ::1 prefixlen 128
```

```
gif0: flags=8010<POINTOPOINT,MULTICAST> mtu 1280
```

```
stf0: flags=0<> mtu 1280
```

```
en0: flags=8963<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,PROMISC,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
```

```
ether 58:55:ca:fb:2d:b7
```

```
inet6 fe80::5a55:caff:fefb:2db7%en0 prefixlen 64 scopeid 0x4
```

```
inet 192.168.1.37 netmask 0xfffff00 broadcast 192.168.1.255
```

```
inet6 2408:41:44cd::5a55:caff:fefb:2db7 prefixlen 64 autoconf
```

```
inet6 2408:41:44cd::78d4:bfb2:daad:d3b7 prefixlen 64 autoconf temporary
```

```
media: autoselect
```

```
status: active
```

```
p2p0: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 2304
```

```
ether 0a:55:ca:fb:2d:b7
```

```
media: autoselect
```

```
status: inactive
```

```
MacBook-Kana:~ yk$
```

IP パケットのキャプチャ

◆ Wireshark でパケットをみる.

The screenshot shows the Wireshark interface with a list of captured packets. The selected packet (No. 160) is an ICMP Destination unreachable (Port unreachable) message. The packet details pane shows the Ethernet II, Internet Protocol Version 4, and the reassembled TCP data. The packet bytes pane shows the raw data in hexadecimal and ASCII.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
157	14.103710	192.168.1.37	23.3.172.244	TCP	66	56771 > https [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=658
158	14.105866	192.168.1.37	23.3.172.244	TLSv1	243	Client Hello
159	14.106435	192.168.1.1	192.168.1.37	DNS	394	Standard query response A 23.3.172.244
160	14.106475	192.168.1.37	192.168.1.1	ICMP	70	Destination unreachable (Port unreachab
161	14.111532	23.3.172.244	192.168.1.37	TCP	66	https > 56771 [ACK] Seq=1 Ack=178 Win=1
162	14.111649	23.3.172.244	192.168.1.37	TLSv1	204	Server Hello, Change Cipher Spec, Encry

Frame 121: 424 bytes on wire (3392 bits), 424 bytes captured (3392 bits)

- Ethernet II, Src: Sumitomo_06:88:91 (00:25:dc:06:88:91), Dst: Apple_fb:2d:b7 (58:55:ca:fb:2d:b7)
 - Destination: Apple_fb:2d:b7 (58:55:ca:fb:2d:b7)
 - Source: Sumitomo_06:88:91 (00:25:dc:06:88:91)
 - Type: IP (0x0800)
- Internet Protocol Version 4, Src: 23.3.172.245 (23.3.172.245), Dst: 192.168.1.37 (192.168.1.37)
 - Version: 4
 - Header length: 20 bytes
 - Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))

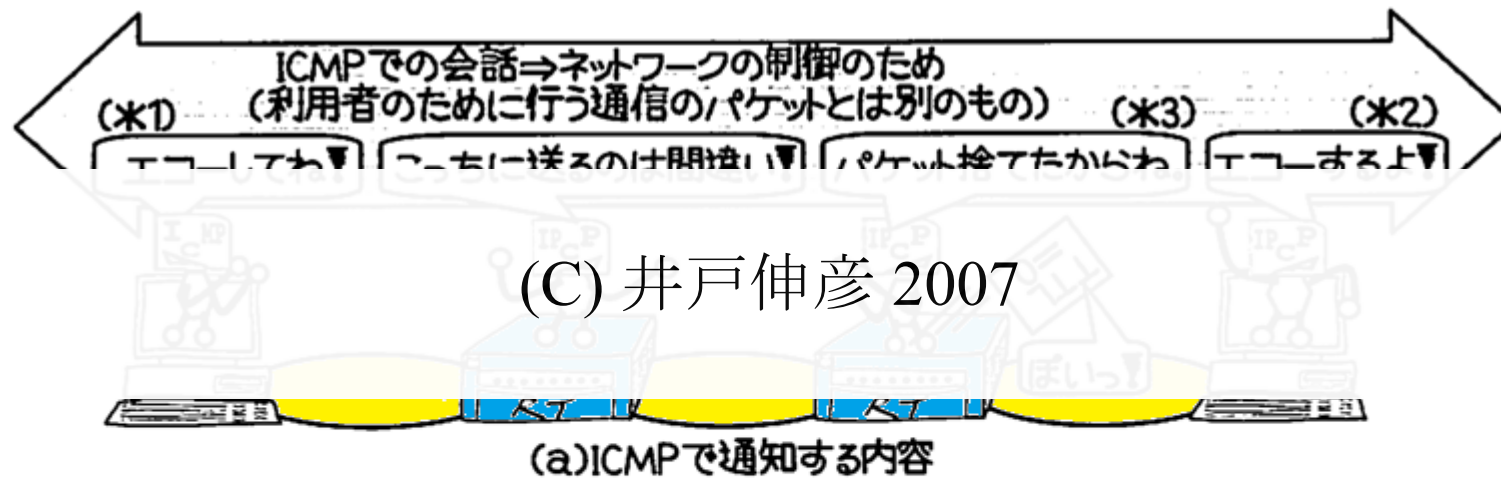
0000 58 55 ca fb 2d b7 00 25 dc 06 88 91 08 00 45 00 XU...%.E.
0010 01 9a 83 74 40 00 3b 06 35 24 17 03 ac f5 c0 a8 ...t@.;. 5\$.
0020 01 25 01 bb dd c1 f1 60 1e d7 50 b9 b9 4c 80 18 .%.P.L..
0030 0f 30 c4 ff 00 00 01 01 08 0a 92 6f 9a 32 36 07 .0.o.26.
0040 f6 07 74 6d 6c 30 81 a0 06 03 55 1d 23 04 81 98 ..tml0.. ..U.#...
0050 30 81 95 80 14 a6 0c 1d 9f 61 ff 07 17 b5 bf 38 0.a.8
0060 46 db 43 30 d5 8e b0 52 06 a1 79 a4 77 30 75 31 F.CO...R ..y.w0u1
0070 0b 30 09 06 03 55 04 06 13 02 55 53 31 18 30 16 .0...U.. ..US1.0.
0080 06 03 55 04 0a 13 0f 47 54 45 20 43 6f 72 70 6f ..U....G TE Corpo
0090 72 61 74 69 6f 6e 31 27 30 25 06 03 55 04 0b 13 ratiol' 0%. ..U...
00a0 1e 47 54 45 20 43 79 62 65 72 54 72 75 73 74 20 .GTE Cyb erTrust
00b0 52 6f 6e 75 74 60 6f 6a 72 7c 70 40 6a 62 7c 21 Solution s. Inc 1

Frame (424 bytes) Reassembled TCP (1681 bytes)

Destination Hardware Address... Packets: 1122 Displayed: 1122 Marked: 0 Profile: Default

インターネットの制御プロトコル ICMP と ping

■ 制御用のプロトコル ICMP (Internet Control Message Protocol)



(a) ICMPで通知する内容



(b) ICMPメッセージ形式

タイプ	コード	説明	参照	(a)
0	0	エコー応答	6.5.1項	(*1)
8	0	エコー要求	6.5.1項, 6.5.3項	(*2)
11	0	時間超過 (TTL=0)	6.3.4項, 6.5.3項	(*3)

(c) 本書で言及するICMPメッセージ

図6.17 ICMP (Internet Control Message Protocol)

インターネットの制御プロトコル ICMP と ping (つづき)

■ ネットワークの導通性をテストするコマンド ping



実演

コマンド プロンプト
C:\>ping 192.168.11.1 pingコマンド投入

Pinging 192.168.11.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.11.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.11.1: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.11.1: bytes=32 time=1ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.11.1:
Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milliseconds:
Minimum = 1ms, Maximum = 1ms, Average = 1ms

4回の送受信、
すべて1ms以内に受信

パケットの
廃棄率=0%

コマンド プロンプト
C:\>ping 192.168.11.4 pingコマンド投入

Pinging 192.168.11.4 with 32 bytes of data:

Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.

送受信したのは
32バイトのデータ

4回タイムアウト
(時間が経過しても)
(応答が返ってこない)

パケットの
廃棄率=100%

(a) ping 応答が受信された場合 (b) ping 応答が受信されなかった場合

(C) 井戸伸彦 2007

図6.16 pingコマンドの投入例

インターネットの制御プロトコル ICMP と ping (つづき)

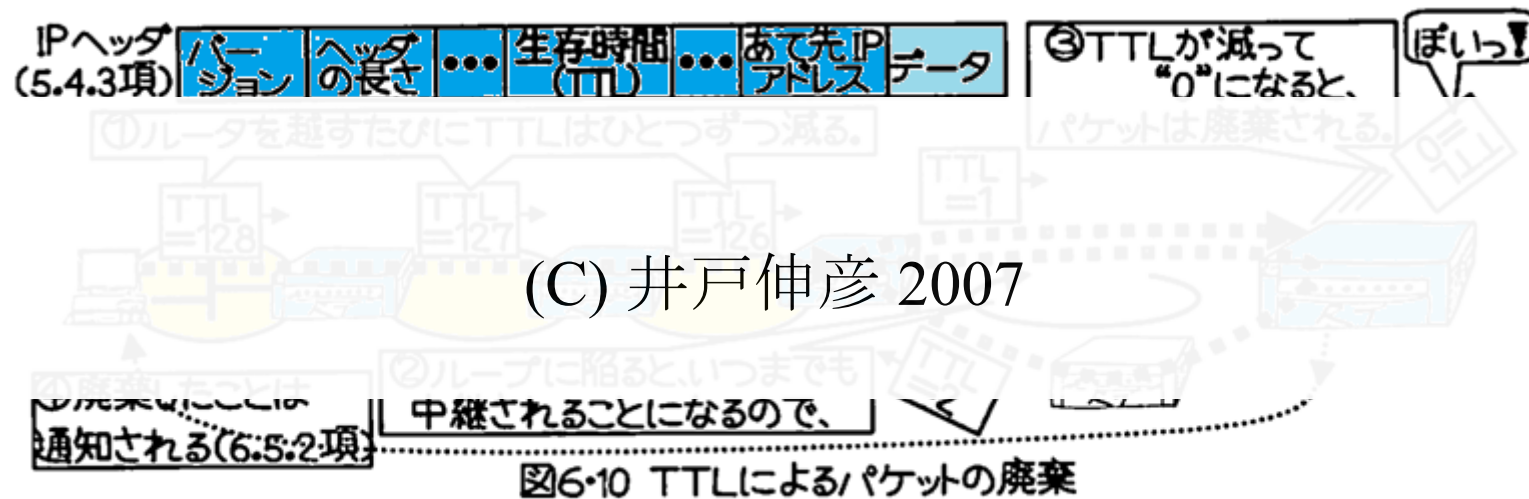
■ ping の実行例 (Macintosh)

```
MacBook-Kana:~ yk$ ping www.kanadas.com
PING kanadas.com (219.94.162.224): 56 data bytes
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=0 ttl=54 time=21.472 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=1 ttl=54 time=14.725 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=2 ttl=54 time=16.270 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=3 ttl=54 time=17.375 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=4 ttl=54 time=17.875 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=5 ttl=54 time=22.389 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=6 ttl=54 time=15.449 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=7 ttl=54 time=17.093 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=8 ttl=54 time=19.291 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=9 ttl=54 time=21.739 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=10 ttl=54 time=16.690 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=11 ttl=54 time=15.533 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=12 ttl=54 time=17.986 ms
64 bytes from 219.94.162.224: icmp_seq=13 ttl=54 time=15.859 ms
```

パケットの生存期間と traceroute

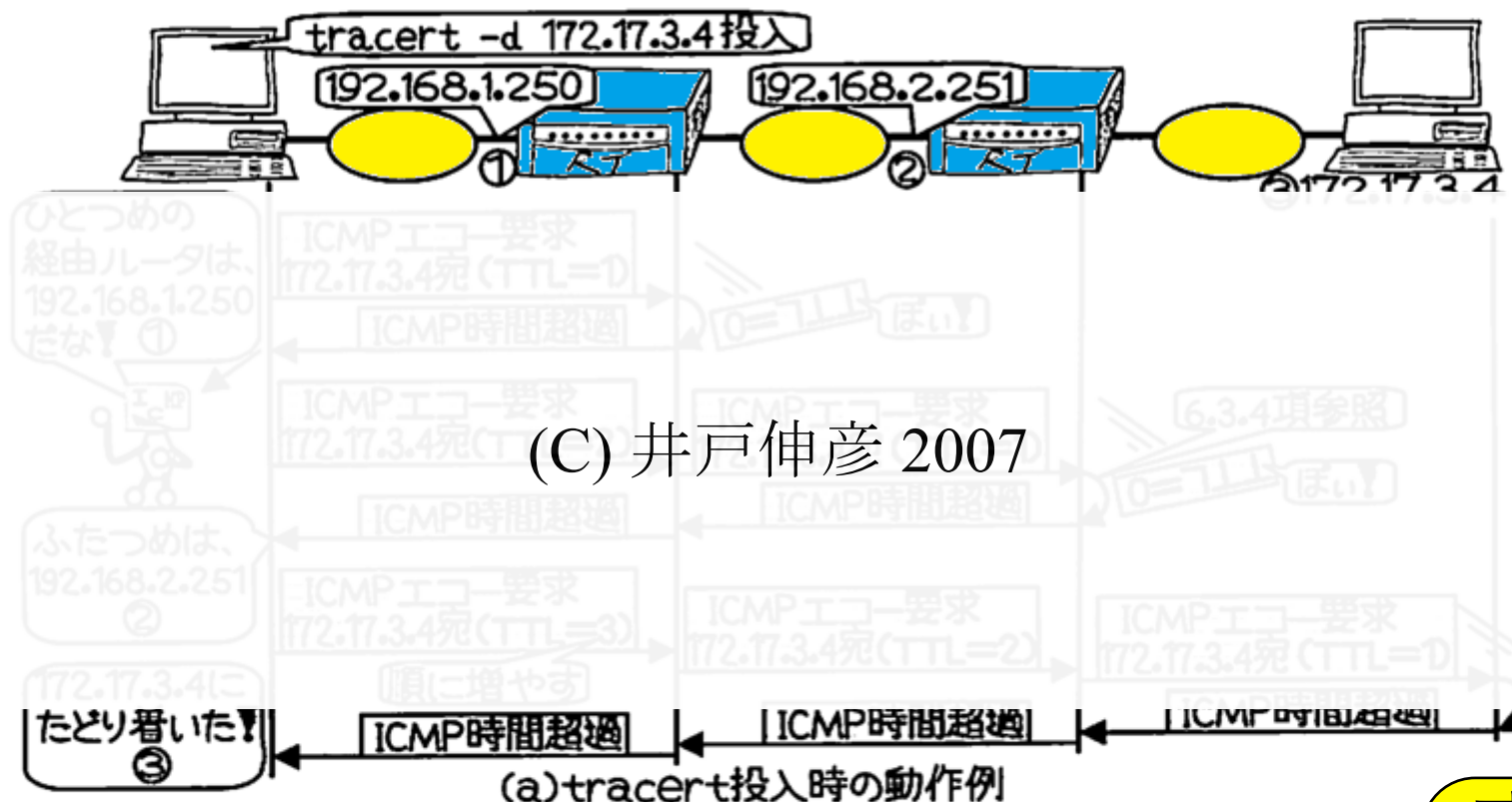
■ IP パケットの TTL フィールドによって生存期間がきまる。

- ◆ TTL = Time To Live
- ◆ パケットがルータ間で転送されるごとに, TTL は 1 ずつ, へらされる。
- ◆ TTL が 0 になるとパケットは廃棄される (「死ぬ」)。



パケットの生存期間と traceroute (つづき)

■ TTL を利用して経路をしらべるコマンド traceroute



(C) 井戸伸彦 2007

```
C:\Y>tracert -d 172.17.3.4
Tracing route to 172.17.3.4 over a maximum of 30 hops:
  1  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.1.250
  2  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.2.251
  3   2 ms   1 ms   2 ms   172.17.3.4
Trace complete.
```

上記①②③を経路
として順番に表示する

(b) コマンド投入画面

実演

パケットの生存期間と traceroute (つづき)

■ traceroute の実行例 (Macintosh)

```
MacBook-Kana:~ yk$ traceroute www.kanadas.com
traceroute to kanadas.com (219.94.162.224), 64 hops max, 52 byte packets
 1  ntt.setup (192.168.1.1)  10.494 ms  0.966 ms  0.914 ms
 2  tkynikz.asahi-net.or.jp (202.224.37.87)  4.738 ms  9.640 ms  3.990 ms
 3  tkybi4-v15.asahi-net.or.jp (202.224.37.81)  9.538 ms  3.854 ms  5.689 ms
 4  kddni93.asahi-net.or.jp (202.224.32.93)  4.990 ms  5.456 ms  8.137 ms
 5  as9370.ix.jpix.ad.jp (210.171.224.113)  5.964 ms  4.465 ms  4.838 ms
 6  tkgrt1s-ort3-10g.bb.sakura.ad.jp (59.106.251.34)  6.113 ms  5.418 ms
    tkwrt1s-ort3.bb.sakura.ad.jp (59.106.251.138)  5.301 ms
 7  tkwrt3-wrt1s.bb.sakura.ad.jp (59.106.247.118)  6.393 ms  5.480 ms  5.255 ms
 8  oskrt1-tkwrt3.bb.sakura.ad.jp (59.106.255.238)  16.961 ms  14.623 ms  16.774 ms
 9  osnrt1s-krt1.bb.sakura.ad.jp (59.106.255.18)  14.450 ms  14.893 ms  13.659 ms
10  osnrt102b-nrt1s.bb.sakura.ad.jp (59.106.244.142)  14.891 ms
    osnrt101b-nrt1s.bb.sakura.ad.jp (59.106.244.138)  13.447 ms
    osnrt102b-nrt1s.bb.sakura.ad.jp (59.106.244.142)  13.561 ms
11  osnrt108e-nrt102b.bb.sakura.ad.jp (59.106.253.190)  13.817 ms
    osnrt108e-nrt101b.bb.sakura.ad.jp (59.106.253.86)  14.795 ms
    osnrt108e-nrt102b.bb.sakura.ad.jp (59.106.253.190)  14.241 ms
12  www1384.sakura.ne.jp (219.94.162.224)  15.459 ms  15.008 ms  19.607 ms
MacBook-Kana:~ yk$
```

インターネットと IP のまとめ

- IP (インターネット・プロトコル) は世界中の多数のコンピュータをつなぐのに適したネットワークの規格
 - ◆ 億単位のコンピュータがつなげるネットワーク規格はほかにない.
- IP のアドレスは位置でまとめられている
 - ◆ ネットワーク上でちかくに位置する PC はアドレス上位が一致している.
- ネットワークにループがあってもよい (ネットワークは任意のグラフ構造)
 - ◆ 障害 (断線など) がおこっても通信がきれにくい.
- パケットはルータによって転送される
 - ◆ 転送先はルーティングによってきまる.