

情報ネットワーク I

【第7回】

IPに関する技術

(教科書: 第5章)

担当教員: 長田智和

E-Mail: nagayan@ie.u-ryukyu.ac.jp

URL: <http://n-lab.info/>

第5章:IPに関する技術

5.1 IPだけでは通信できない

- 人間がインターネットを利用する際に、**IPアドレス**を利用（意識）することはない。
- アプリケーション層で決めらるアドレス（**ドメイン名**）
- データリンク層で決められるアドレス（**MACアドレス**）
- IP層を補助する技術：
 - DNS,ARP,ICMP,ICMPv6,DHCP,NAT,IPトンネリング,IPマルチキャスト,IPエニーキャスト,品質制御(QoS),明示的ふくそう制御通知,Mobile IP

5.2 DNS (Domain Name System)

- 5.2.1 IPアドレスを覚えるのは大変
 - ホスト名とIPアドレスの変換
 - ARPANETでは“hosts”データベースファイルで管理
 - ネットワーク(インターネット)の規模拡大により、hostsの管理を1か所で集中管理するのが困難になる。
- (教科書p.183の図5.1を参照)

5.2 DNS (Domain Name System)

■ 5.2.2 DNSの登場

- 組織ごとにIPアドレスとホスト名を管理
- ホスト名からIPアドレスを検索(正引き)
(IPアドレスからホスト名を検索(逆引き))

5.2 DNS (Domain Name System)

- **ドメイン名**

例) ie.u-ryukyu.ac.jp

ie: 情報工学科固有のドメイン名

u-ryukyu: 琉球大学固有のドメイン名

ac: 高等教育機関のドメイン名

jp: 日本のドメイン名

- **ホスト名からドメイン名へ**

- 階層化することで、異なる階層(組織)で同じホスト名を付けることが可能になった。

- **DNSは木構造**

- **(教科書p.185の図5.2-5.3を参照)**

5.2 DNS (Domain Name System)

- 5.2.3 ドメイン名の構造
 - **ネームサーバー**
 - ドメイン名を管理しているホストやソフトウェア
 - 管理する階層(ゾーン)のドメイン情報を管理
 - **リゾルバ(Resolver)**
 - DNSに問い合わせするホストやソフトウェア
 - 最低でも1つ以上のネームサーバーのIPが必要
- (教科書p.186の図5.4を参照)

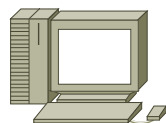
5.2 DNS (Domain Name System)

- 5.2.4 DNSによる問い合わせ
 - ルートネームサーバーから順に下位のネームサーバーを検索
- (教科書p.187の図5.5を参照)

5.2 DNS (Domain Name System)

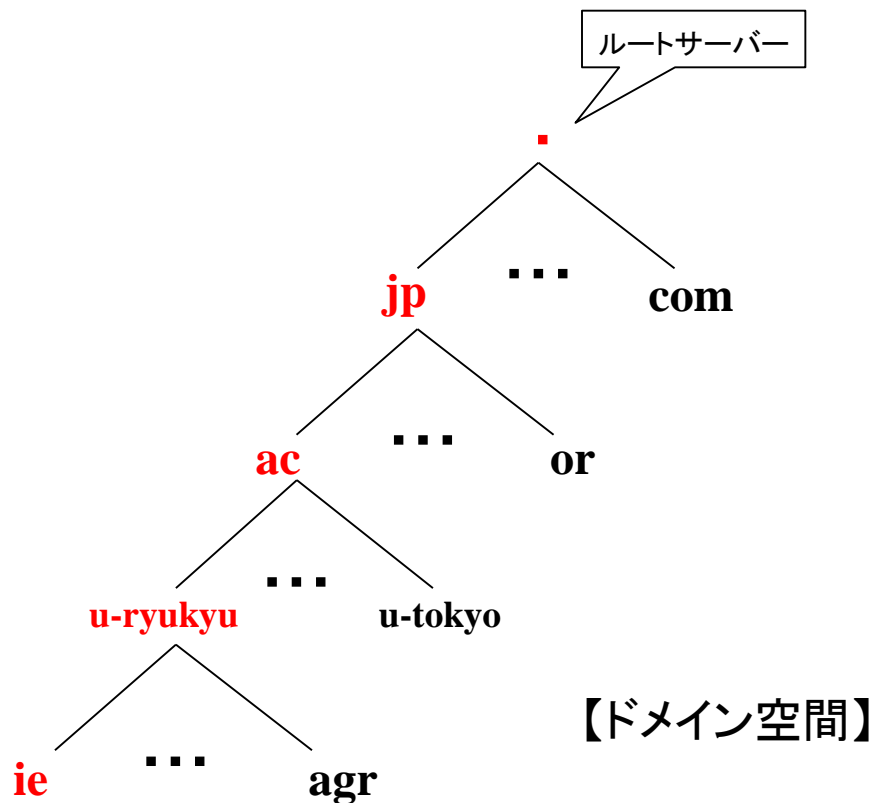
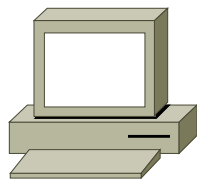
□ DNS検索手順(正引きの場合)

- 例: ie.u-ryukyu.ac.jp .



クライアント

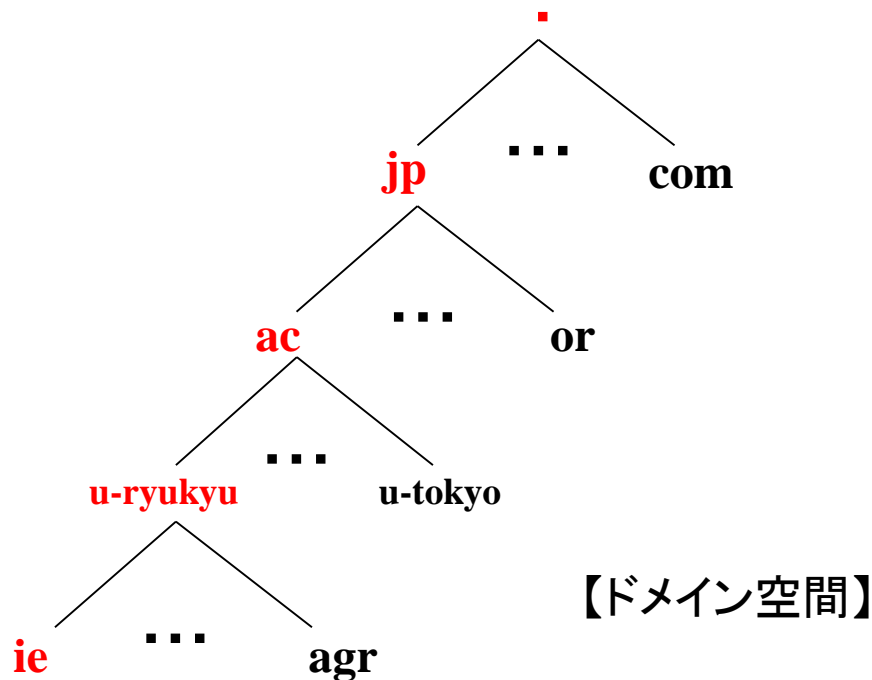
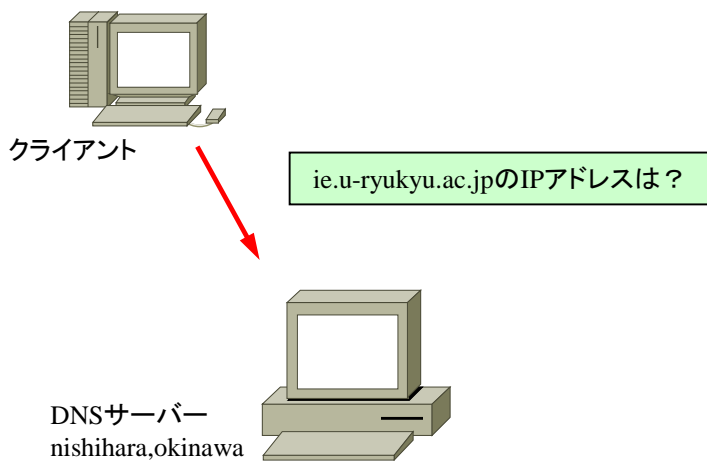
DNSサーバー
nishihara,okinawa



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

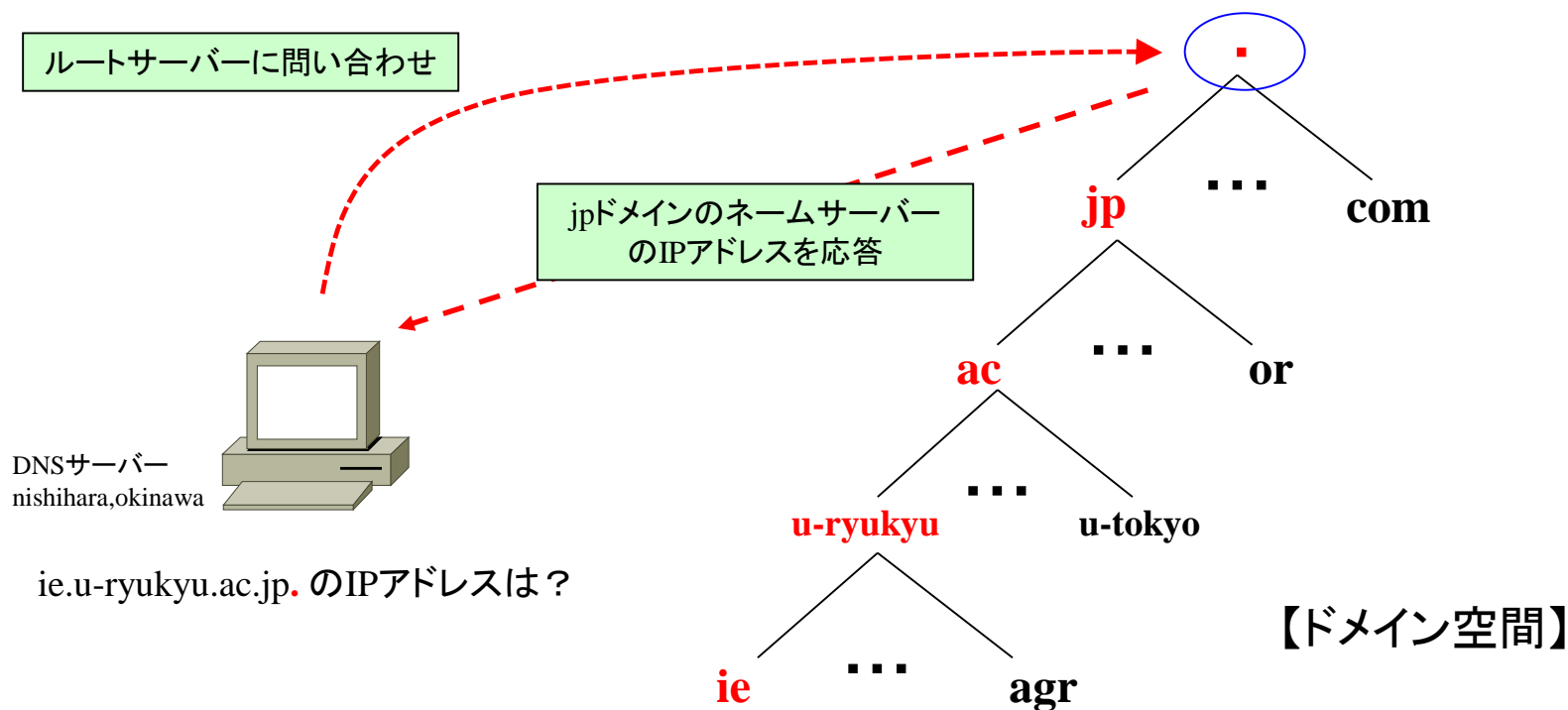
- 例: ie.u-ryukyu.ac.jp .



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

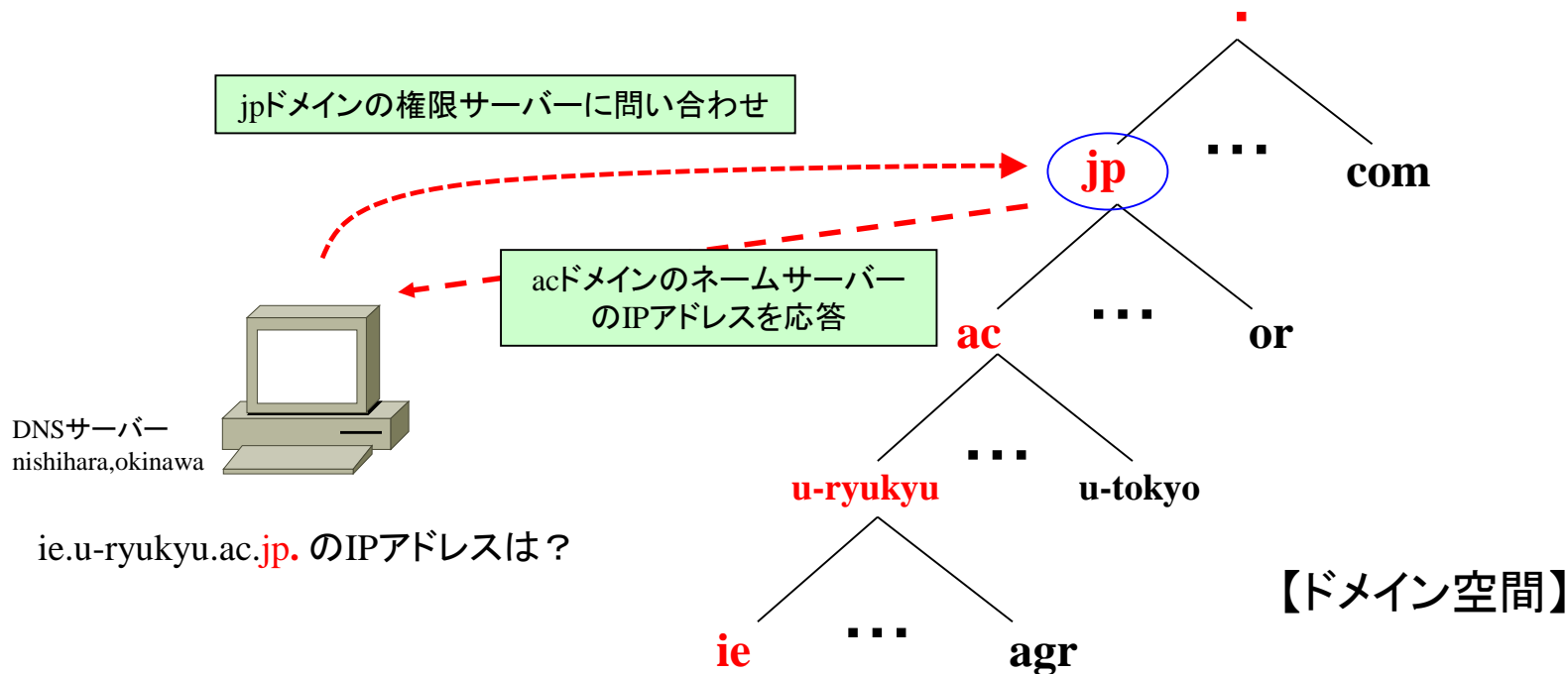
- 例: ie.u-ryukyu.ac.jp .



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

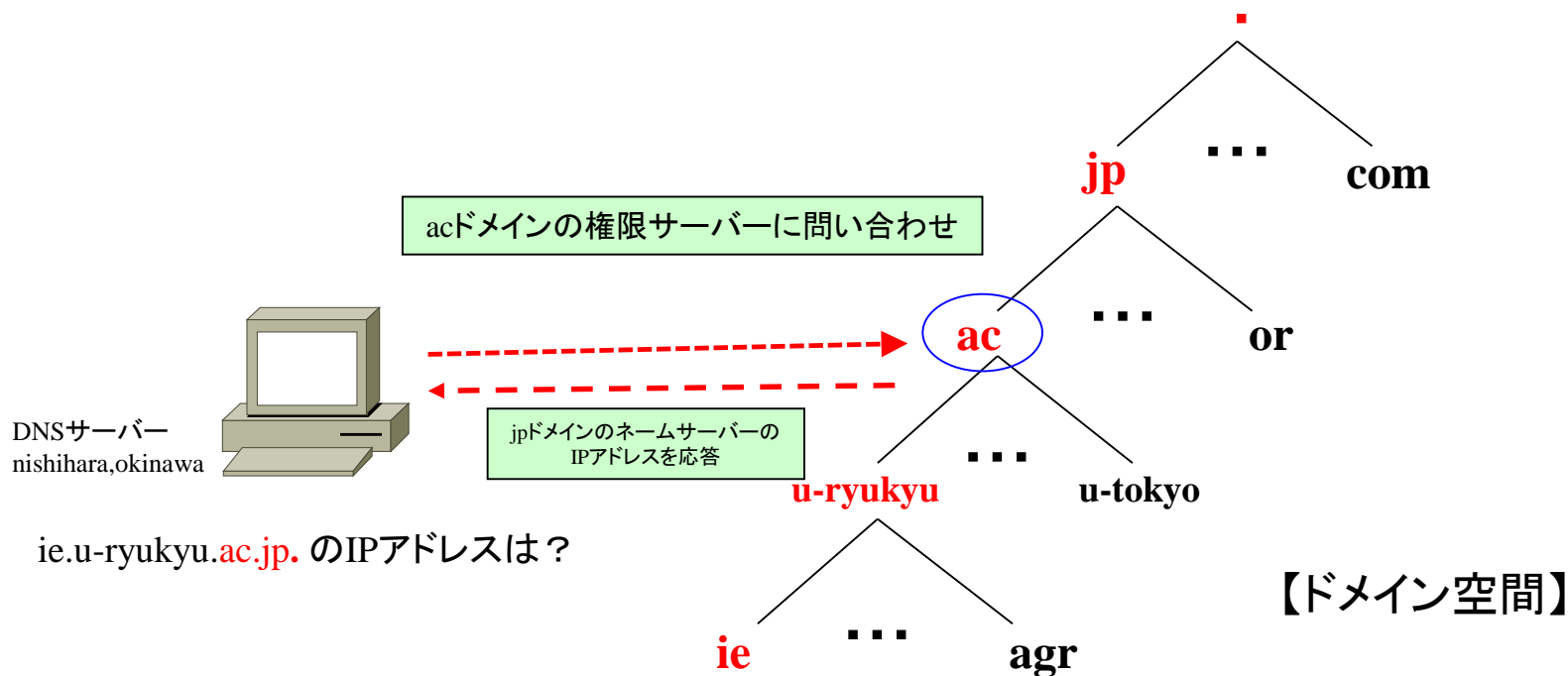
- 例: `www.ie.u-ryukyu.ac.jp` .



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

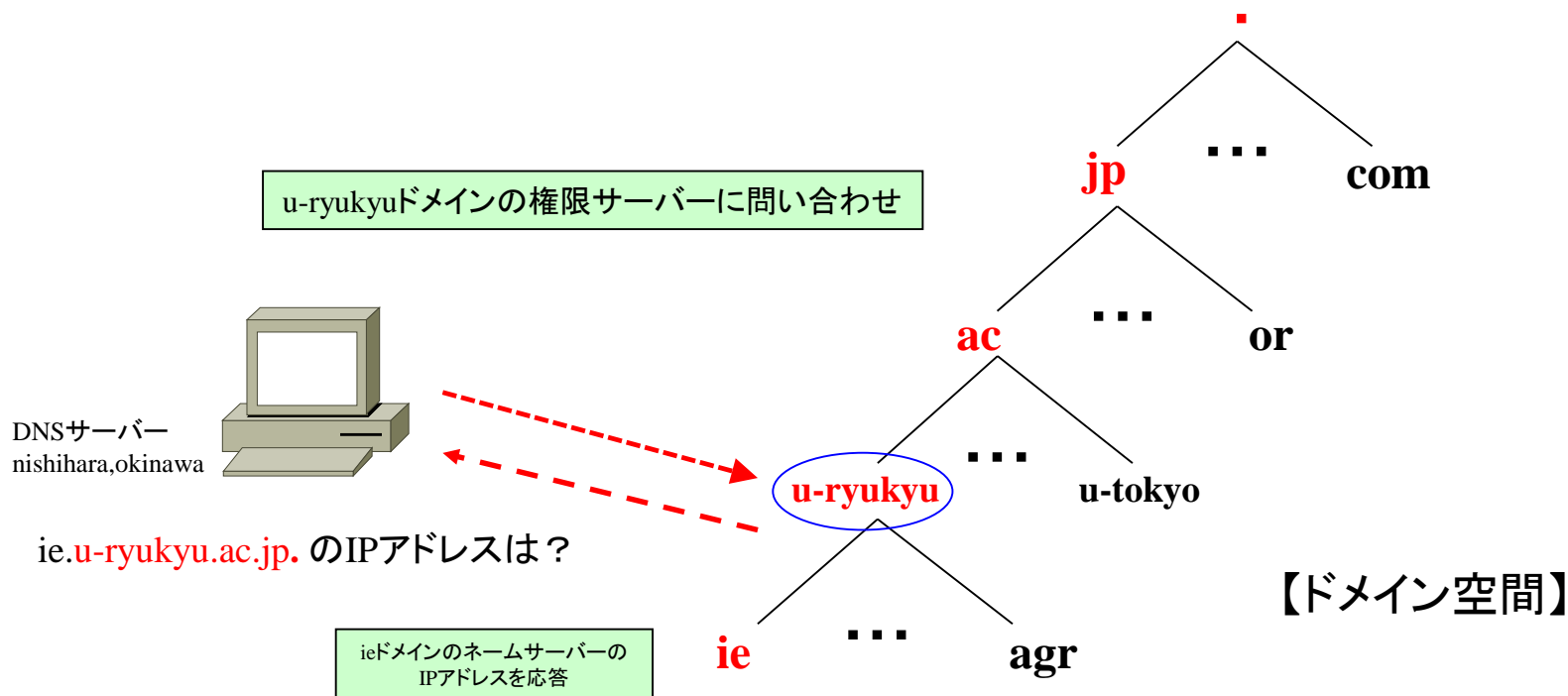
- 例: www.ie.u-ryukyu.ac.jp .



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

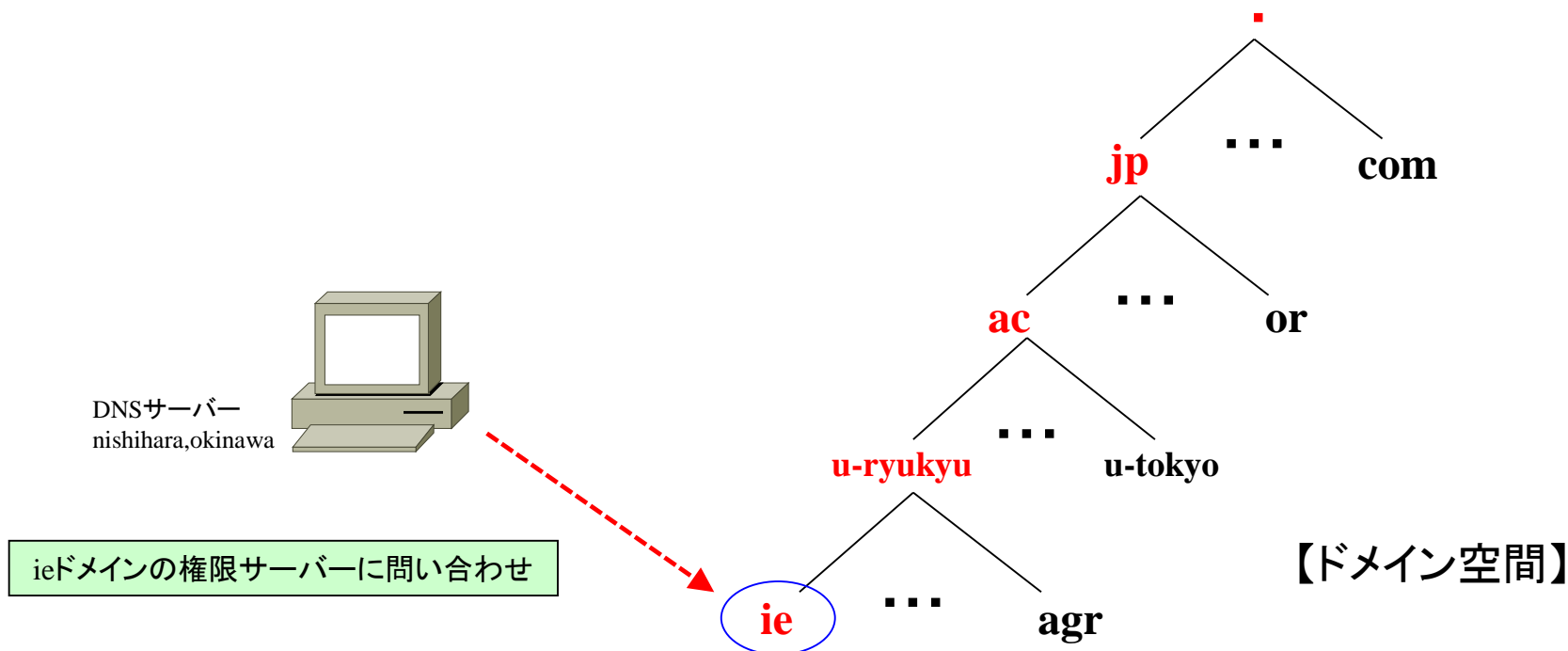
- 例: `www.ie.u-ryukyu.ac.jp` .



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

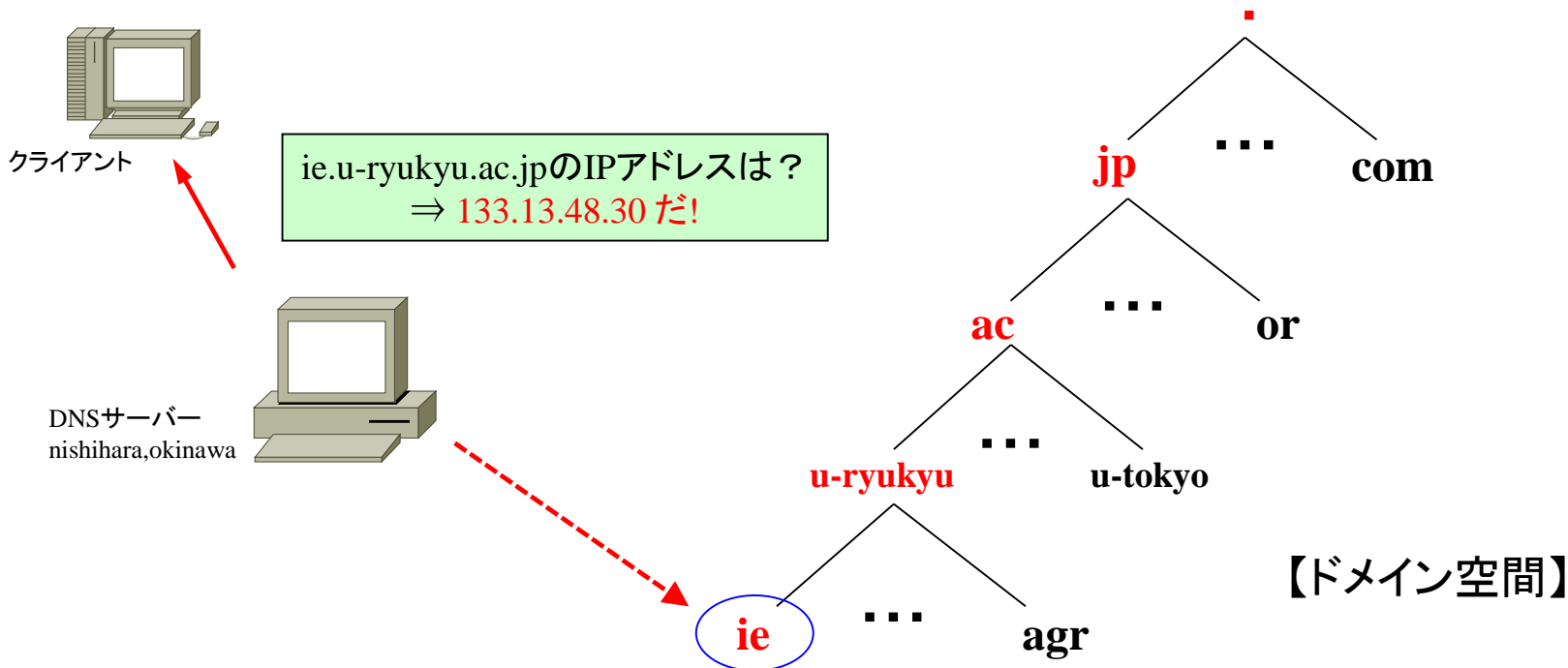
- 例: www.ie.u-ryukyu.ac.jp .



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(正引きの場合)

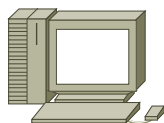
- 例: www.ie.u-ryukyu.ac.jp .



5.2 DNS (Domain Name System)

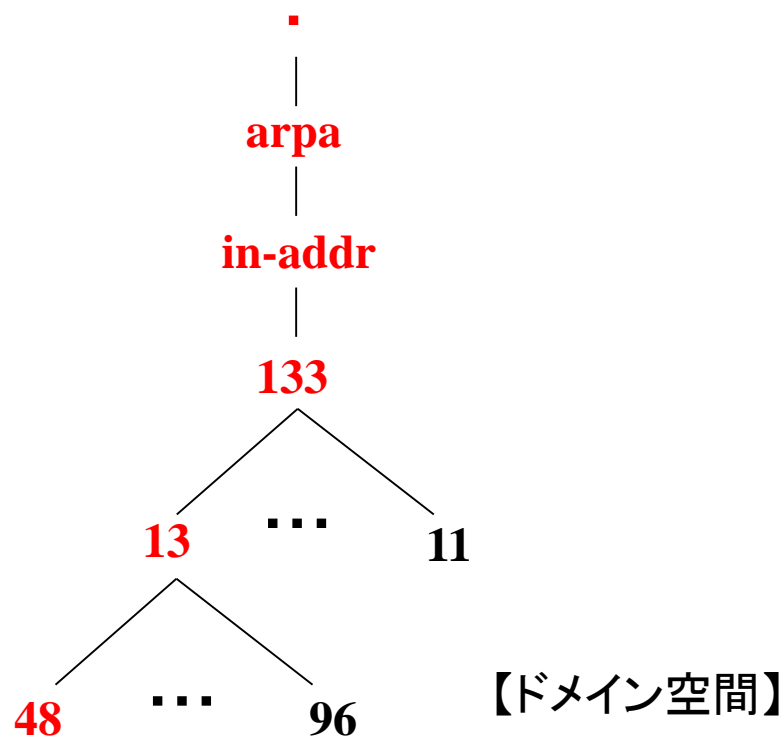
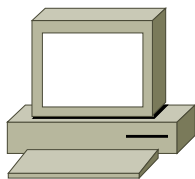
□ DNS検索手順(逆引きの場合)

- 例: .133.13.48.30



クライアント

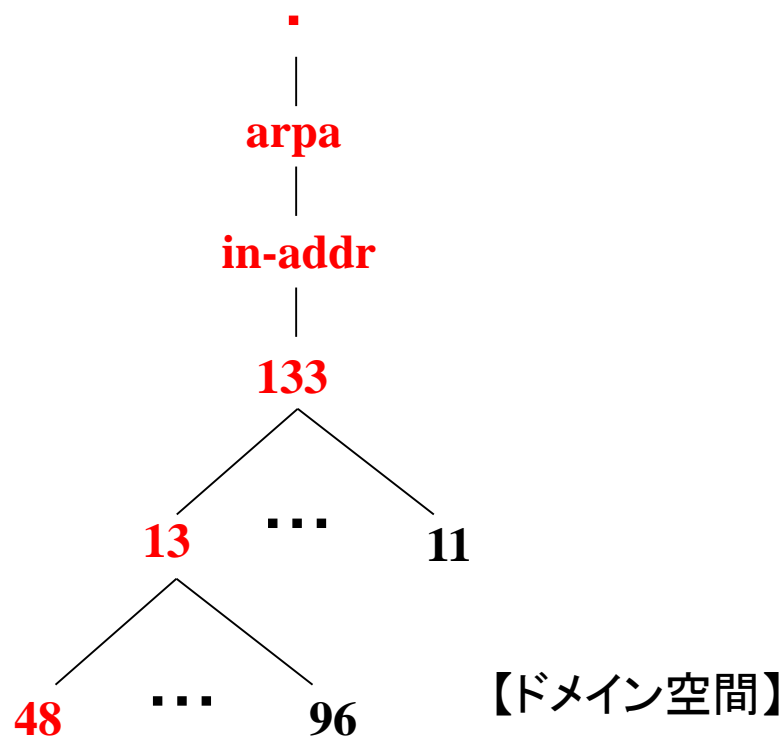
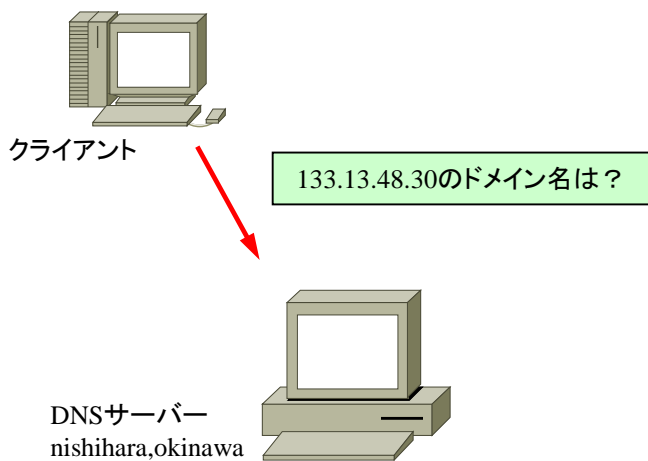
DNSサーバー
nishihara,okinawa



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(逆引きの場合)

- 例: .133.13.48.30



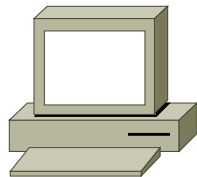
5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(逆引きの場合)

- 例: .133.13.48.30

133ゾーンの権限サーバーに問い合わせ

DNSサーバー
nishihara,okinawa

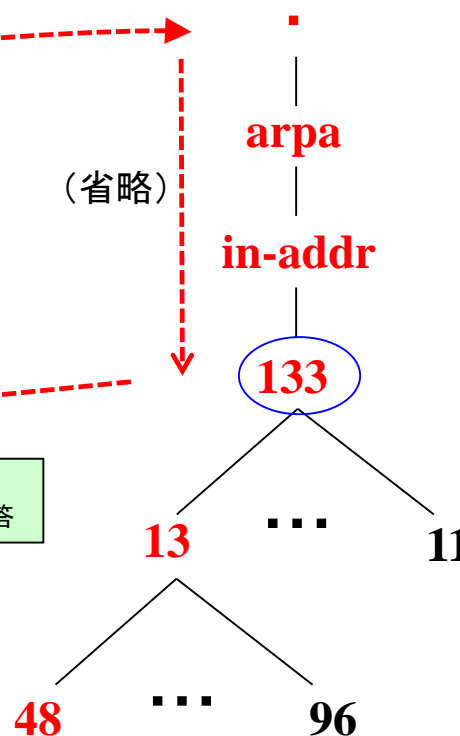


13ゾーンのネーム
サーバーのIPを応答

133.13.48.30のドメイン名は？

(30.48.13.133.in-addr.arpa. のドメイン名は？)

(省略)

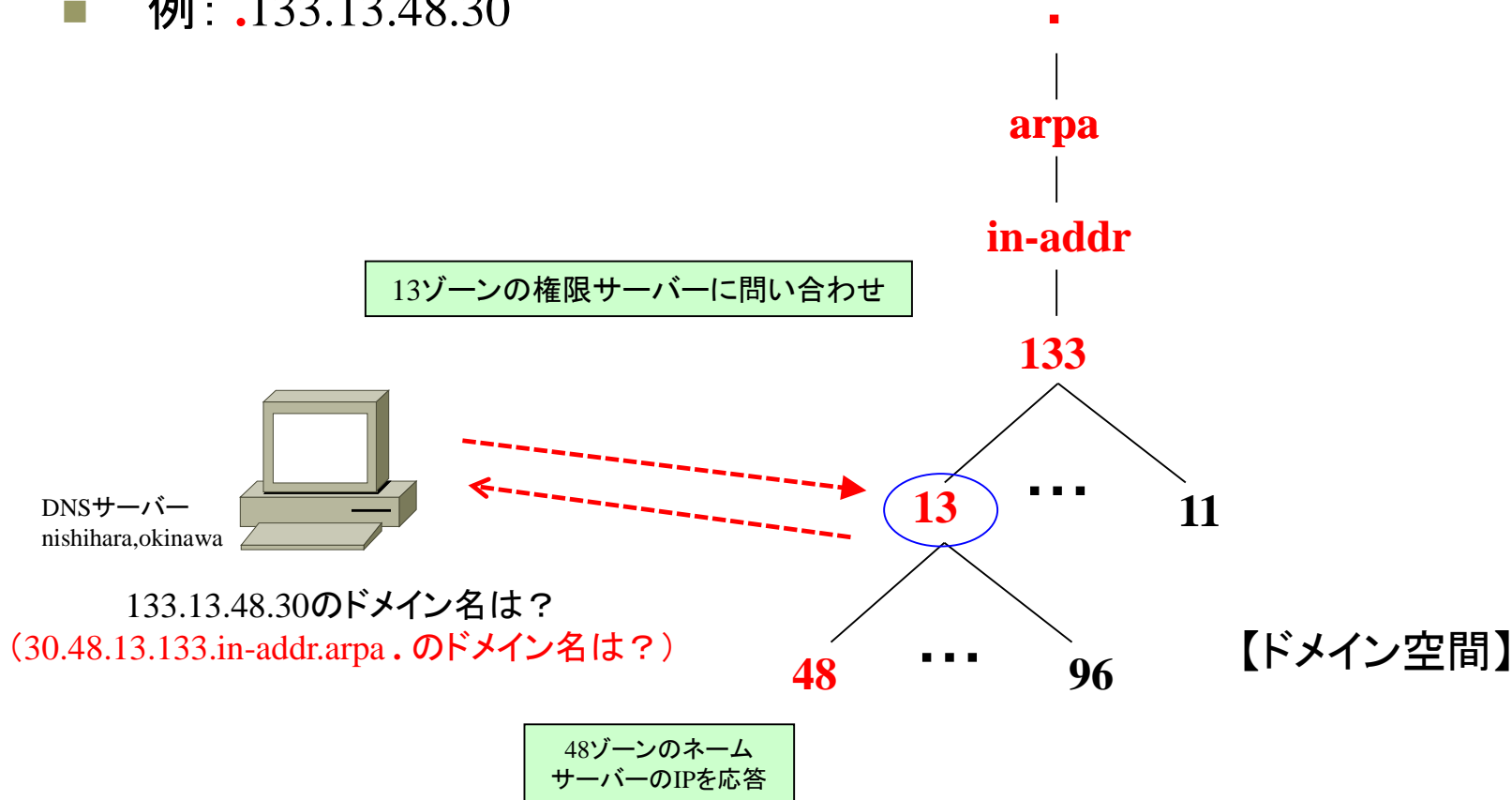


【ドメイン空間】

5.2 DNS (Domain Name System)

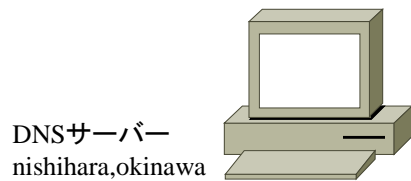
□ DNS検索手順(逆引きの場合)

- 例: .133.13.48.30

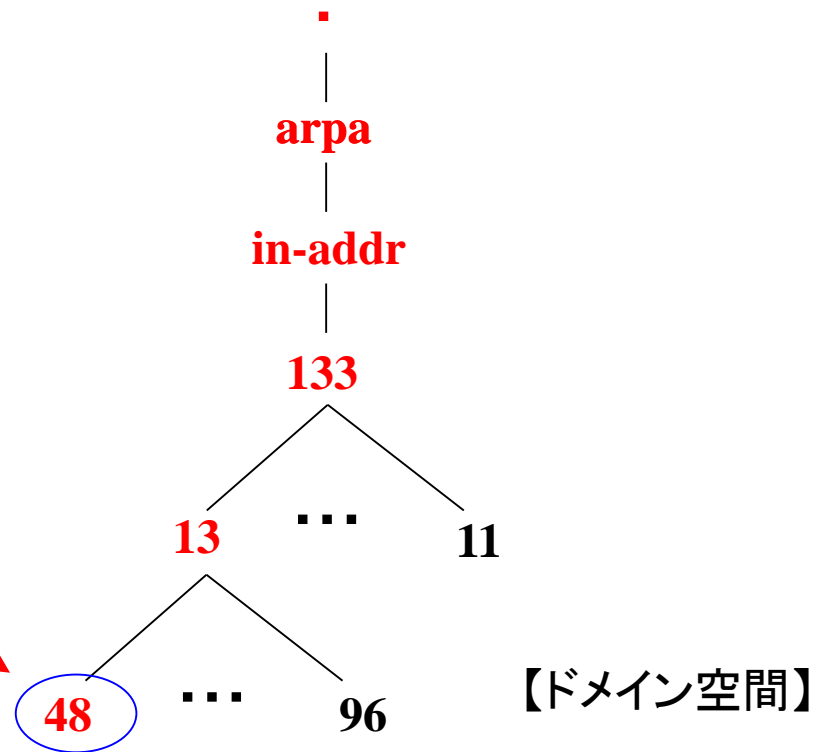


□ DNS検索手順(逆引きの場合)

- 例: .133.13.48.30



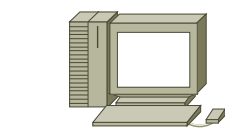
48ゾーンの権限サーバーに問い合わせ



5.2 DNS (Domain Name System)

□ DNS検索手順(逆引きの場合)

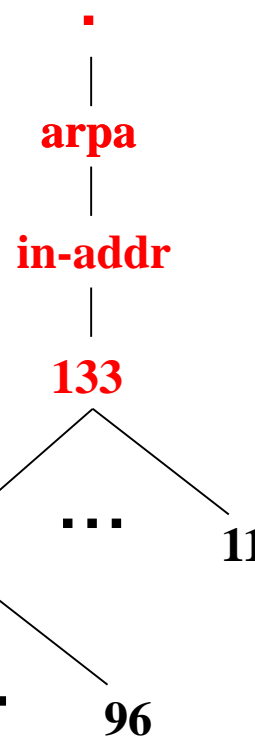
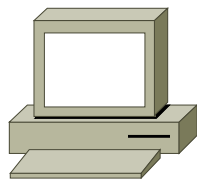
- 例: .133.13.48.30



クライアント

133.13.48.30のドメイン名は?
⇒ ie.u-ryukyu.ac.jp だ!

DNSサーバー
nishihara,okinawa



□ ルートDNSサーバー

```
-bash-3.2$ dig -t ns .  
  
;; QUESTION SECTION:  
.;  
      IN      NS  
  
;; ANSWER SECTION:  
.      182341 IN      NS      k. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      c. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      b. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      a. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      d. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      i. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      g. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      l. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      j. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      h. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      m. root-servers.net. →日本が管理(WIDEプロジェクト)  
.      182341 IN      NS      e. root-servers.net.  
.      182341 IN      NS      f. root-servers.net.  
  
;; ADDITIONAL SECTION:  
d. root-servers.net. 10267 IN      A      199. 7. 91. 13  
d. root-servers.net. 10267 IN      AAAA   2001:500:2d::d  
a. root-servers.net. 10267 IN      A      198. 41. 0. 4  
a. root-servers.net. 10267 IN      AAAA   2001:503:ba3e::2:30  
e. root-servers.net. 10267 IN      A      192. 203. 230. 10  
e. root-servers.net. 10267 IN      AAAA   2001:500:a8::e  
b. root-servers.net. 182978 IN      A      192. 228. 79. 201  
b. root-servers.net. 182978 IN      AAAA   2001:500:84::b  
g. root-servers.net. 182978 IN      A      192. 112. 36. 4  
g. root-servers.net. 518225 IN      AAAA   2001:500:12::d0d  
l. root-servers.net. 182978 IN      A      199. 7. 83. 42  
l. root-servers.net. 182978 IN      AAAA   2001:500:9f::42  
k. root-servers.net. 182978 IN      A      193. 0. 14. 129
```

5.2 DNS (Domain Name System)

□ “jp”ドメインDNSサーバー

```
-bash-3.2$ dig -t ns jp.
```

```
:: QUESTION SECTION:
;jp.                IN      NS

:: ANSWER SECTION:
jp.                 11589  IN      NS      d. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      g. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      e. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      f. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      h. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      b. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      c. dns. jp.
jp.                 11589  IN      NS      a. dns. jp.

:: ADDITIONAL SECTION:
h. dns. jp.         11589  IN      A        65. 22. 40. 25
h. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2a01:8840:1ba::25
a. dns. jp.         11589  IN      A        203. 119. 1. 1
a. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2001:dc4::1
b. dns. jp.         11589  IN      A        202. 12. 30. 131
b. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2001:dc2::1
e. dns. jp.         11589  IN      A        192. 50. 43. 53
e. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2001:200:c000::35
f. dns. jp.         11589  IN      A        150. 100. 6. 8
f. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2001:2f8:0:100::153
g. dns. jp.         11589  IN      A        203. 119. 40. 1
c. dns. jp.         11589  IN      A        156. 154. 100. 5
c. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2001:502:ad09::5
d. dns. jp.         11589  IN      A        210. 138. 175. 244
d. dns. jp.         11589  IN      AAAA    2001:240::53
```


5.2 DNS (Domain Name System)

□ “ac.jp”ドメインDNSサーバー

```
-bash-3.2$ dig -t ns ac.jp.
```

```
:: QUESTION SECTION:
;ac.jp.                IN      NS

:: AUTHORITY SECTION:
jp.                    900     IN      SOA     z.dns.jp. root.dns.jp. 1495764903 3600 900 1814400 900
```

 あれれ???

JPRS(JaPan Registry Services Co., Ltd.)によると...

属性型(CO.JP,AD.JPなど)・地域型(TOKYO.JP,CHIBA,JPなど)・汎用型(JP)のセカンドレベルドメインを計64ゾーン(ドメイン)運用してきたが、JPのみの1ゾーンで管理することにする。(2006年3月22日より)

[引用: <http://jprs.jp/tech/dnsuis/info002.html>]

5.2 DNS (Domain Name System)

□ “u-ryukyu.ac.jp”ドメインDNSサーバー

```
-bash-3.2$ dig -t ns u-ryukyu. ac. jp.
```

```
:: QUESTION SECTION:
;u-ryukyu. ac. jp.                IN      NS

:: ANSWER SECTION:
u-ryukyu. ac. jp.                7200    IN      NS      ns0. u-ryukyu. ac. jp.
u-ryukyu. ac. jp.                7200    IN      NS      dns1. u-ryukyu. ac. jp.
u-ryukyu. ac. jp.                7200    IN      NS      cdn01. u-ryukyu. ac. jp.
u-ryukyu. ac. jp.                7200    IN      NS      dns-x. sinet. ad. jp.

:: ADDITIONAL SECTION:
dns-x. sinet. ad. jp.            1386    IN      A       150. 100. 18. 10
dns-x. sinet. ad. jp.            1386    IN      A       150. 100. 18. 2
dns-x. sinet. ad. jp.            1386    IN      A       150. 100. 18. 6
dns-x. sinet. ad. jp.            1386    IN      AAAA    2001:2f8:0:10::53
dns-x. sinet. ad. jp.            1386    IN      AAAA    2001:2f8:0:11::53
dns-x. sinet. ad. jp.            1386    IN      AAAA    2001:2f8:0:12::53
dns1. u-ryukyu. ac. jp.          2824    IN      A       133. 13. 7. 2
ns0. u-ryukyu. ac. jp.           5232    IN      A       133. 13. 254. 14
ns0. u-ryukyu. ac. jp.           1425    IN      AAAA    2001:2f8:1c:1::14
cdn01. u-ryukyu. ac. jp.         86400   IN      A       210. 228. 133. 66
```

5.2 DNS (Domain Name System)

□ “ie.u-ryukyu.ac.jp”ドメインDNSサーバー

```
-bash-3.2$ dig -t ns ie.u-ryukyu.ac.jp.

;; QUESTION SECTION:
;ie.u-ryukyu.ac.jp.      IN      NS

;; ANSWER SECTION:
ie.u-ryukyu.ac.jp.      1800    IN      NS      okinawa.ie.u-ryukyu.ac.jp.
ie.u-ryukyu.ac.jp.      1800    IN      NS      nishihara.ie.u-ryukyu.ac.jp.
ie.u-ryukyu.ac.jp.      1800    IN      NS      tsubaki.ie.u-ryukyu.ac.jp.
ie.u-ryukyu.ac.jp.      1800    IN      NS      sumire.ie.u-ryukyu.ac.jp.

;; ADDITIONAL SECTION:
okinawa.ie.u-ryukyu.ac.jp. 138 IN      A       133.13.48.10
okinawa.ie.u-ryukyu.ac.jp. 138 IN      AAAA    2001:2f8:1c:a500::10
nishihara.ie.u-ryukyu.ac.jp. 138 IN      A       133.13.48.20
nishihara.ie.u-ryukyu.ac.jp. 138 IN      AAAA    2001:2f8:1c:a500::20
tsubaki.ie.u-ryukyu.ac.jp. 138 IN      A       133.242.233.117
sumire.ie.u-ryukyu.ac.jp. 138 IN      A       133.242.225.158
```

5.2 DNS (Domain Name System)

- 5.2.5 DNSはインターネットに広がる分散データベース
 - DNSはドメイン名からIPを検索するシステム
 - それ以外にも様々な情報(レコード)を管理している。
 - 主な重要レコード: A, NS, MX, PTR
- (教科書p.188の表5.2を参照)

5.3 ARP (Address Resolution Protocol)

■ 5.3.1 ARPの概要

- IPアドレスからパケットを受け取るべき機器のMACアドレスを調べる(≠データベース)。
- 宛先ホストが同一リンク内にはない場合は、次ホップのルーターのMACアドレスが返される。
- ARPはIPv4のみ。(IPv6ではICMPv6の近隣探索メッセージで解決)

5.3 ARP (Address Resolution Protocol)

■ 5.3.2 ARPの仕組み

□ ARP要求パケットとARP応答パケット

□ 手順:

- 送信元は、宛先IPアドレスを入れたARP要求パケットをブロードキャスト送信
- 宛先IPに該当するホストは、自身のMACアドレスをARP応答パケットで送信元に返信

□ 学習したMACアドレスは数分間キャッシュされる。

(キャッシュの保持時間は、OSによって異なる)

■ (教科書p.189-191の図5.6-5.7を参照)

5.3 ARP (Address Resolution Protocol)

- 5.3.3 IPアドレスとMACアドレスは両方とも必要？
 - 同一リンクのホスト(ルーター含む)同士の通信にはMACアドレスが必要で、別リンクのホスト同士の通信にはIPアドレスが必要。
 - 世界中のホストがMACアドレスだけで通信するためには、ブリッジ(スイッチ)は、世界中のホストのMACアドレスを学習しなければならない。→事実上不可能！
- (教科書p.192の図5.8を参照)

5.3 ARP (Address Resolution Protocol)

- 5.3.4 **RARP** (Reverse ARP)
 - MACアドレスからIPアドレスを調べる。
- (教科書p.193の図5.9を参照)

5.3 ARP (Address Resolution Protocol)

- 5.3.5 代理ARP (Proxy ARP)
 - あたかも自分がそのMACアドレスの持ち主であるかのように応答する技術
 - 同一リンクに存在しないが、当該MACアドレス宛ての packets を代理受信して、目的のホストに転送する場合に利用することがある。

5.4 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- 5.4.1 IPを補助する**ICMP**
 - ネットワークの正常性の確認したり、ネットワークの状態通知、チューニングを行うことが可能
 - エラー通知と問い合わせメッセージの2種類
- (教科書p.195の図5.10,表5.3を参照)

5.4 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- 5.4.2 主なICMPメッセージ
 - ICMP到達不能メッセージ(タイプ3)
 - IPルーターがIPデータグラムを宛先に配送できない場合、送信元ホストにICMP到達不能メッセージを返す
 - ICMPリダイレクトメッセージ(タイプ5)
 - 最適経路を送信元ホストに送信

5.4 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- 5.4.2 主なICMPメッセージ
 - ICMP時間超過メッセージ(タイプ11)
 - TTL (Time To Live)を超えたパケットが破棄されたことを送信元に送信
 - ICMPエラーメッセージ(タイプ0,8)
 - ICMPエコー要求メッセージ(タイプ8)とICMPエコーリプライメッセージ(タイプ0)によって、送信したい相手にIPパケットが到達可能かどうかを調べる。
- (教科書p.196-198の図5.11-5.13,表5.4を参照)

5.4 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- 5.4.3 その他のICMPメッセージ
 - ICMP始点制御メッセージ(タイプ4)
 - ネットワークの輻輳を緩和する。
 - ICMPルーター探索メッセージ(タイプ9,10)
 - ネットワーク内のルーター(ゲートウェイ)を探す。
 - ICMPアドレスマスクメッセージ(タイプ17,18)
 - ネットワークのサブネットを調べる。

5.4 ICMP (Internet Control Message Protocol)

■ 5.4.4 ICMPv6

□ ICMPv6の役割

- IPv6にはICMPv6が必須 (IPv4では必須ではない)
 - 例) IPv4のARP → ICMPv6近隣探索メッセージ
- エラーメッセージ (タイプ0-127) と情報メッセージ (タイプ128-255) の2種類

□ 近隣探索

- 近隣要請メッセージ と 近隣告知メッセージ
- IPv6では、DHCPサーバーが無い環境ではMACアドレスでリンクローカルユニキャストアドレスを作成し、ルーターがある環境ではルーターからIPv6アドレスの上位ビット情報を取得し、下位ビットは自身のMACアドレスを使ってIPv6アドレス (EUI-64) を作成する。

- (教科書p.199-200の図5.14-5.15, 表5.5-5.6を参照)

5.5 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

- 5.5.1 プラグ&プレイを可能にする**DHCP**
 - IPアドレスの設定を自動化する仕組み
 - IPv4,IPv6の両方で利用可能
- (教科書p.201の図5.16)

5.5 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

■ 5.5.2 DHCPの仕組み

- クライアントは、DHCP発見パケットをネットワーク上に送信し、DHCPサーバーはこのパケットに応答してDHCP提供パケットをクライアントに返す。
- 複数のDHCPサーバーの起動が推奨(※注意あり)

■ (教科書p.202の図5.17)

5.5 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

■ 5.5.3 DHCPリレーエージェント

- DHCPクライアントからのDHCP発見・要求パケット（ブロードキャストパケット）をユニキャストパケットに変換し、他のLANセグメントにあるDHCPサーバーに中継する仕組み。
- 複数のブロードキャストセグメント（サブネット）を持つネットワークで、複数のDHCPサーバーを運用する必要がなくなる。

■ (教科書p.204の図5.18)

5.6 NAT (Network Address Translation)

■ 5.6.1 NATとは

- ローカルネットワークのプライベートIPアドレスをグローバルIPアドレスに変換して、インターネットに接続できるようにする技術
- TCPやUDPのポート番号も変換
→NAPT (Network Address Port Translation)
- IPv4アドレスの枯渇問題に対応するための技術
(IPv6でもセキュリティ確保のためにNAT技術有り)

5.6 NAT (Network Address Translation)

■ 5.6.2 NATの仕組み

- NAT対応ルーター(NATボックス)では、プライベートIPアドレスとグローバルIPアドレスを紐づけるためのテーブルが作成される。
- 内部の複数のホストが同時に通信するためには、NAPTを用いればok。

■ (教科書p.205の図5.19-5.20)

5.6 NAT (Network Address Transration)

- 5.6.3 NAT-PT (NAPT-PT)
 - IPv6ヘッダとIPv4ヘッダを付け替える技術
- (教科書p.206の図5.21)

5.6 NAT (Network Address Transration)

■ 5.6.4 NATの問題点

- 外部から内部のサーバーに直接接続できない
- 変換テーブルの作成や変換処理のオーバーヘッド
- NATが異常動作するとTCPセッションが切れる
- NATを多重化してもTCPセッション維持は解決不能

5.6 NAT (Network Address Transration)

- 5.6.5 NATの問題点の解決とNAT越え
 - IPv6を利用する(力技！)
 - 内側ホストから外側ホストへのダミーパケットをNATボックスに送ることで、外部と内部ホストとの間のパスを作る(→パンチングホール方式)
 - アプリケーションでNATボックスを操作して変換テーブルを作成する。
 - IPv6を利用する方法以外の方法はNAT越えの一部を解決するに過ぎない。

5.7 IPトンネリング

- IPv6パケット全体をIPv4のデータとして扱うことで、IPv4のみに対応したネットワーク区間を通過させる技術
- (教科書p.208-209の図5.22-5.24)

5.8 その他のIP関連技術

- 5.8.1 IPマルチキャスト関連技術
 - IGMP(v6) (Internet Group Management Protocol)
 - MLD (Multicast Listener Discovery)
 - PIM-SM, PIM-DM, DVMRP, DOSP
- (教科書p.211の図5.25)

5.8 その他のIP関連技術

- 5.8.2 IPエニーキャスト
 - 同じサービスを提供するサーバーに同じIPアドレスを付けて、最寄りのサーバーと通信する方法
- (教科書p.212の図5.26)

5.8 その他のIP関連技術

■ 5.8.3 通信品質の制御

□ 通信の品質とは

- 通信サービスの品質 (QoS: Quality of Service)
- 帯域、遅延、通信の揺らぎ(ジッタ)など

□ 通信品質を制御する仕組み

- RSVP (Resource Reservation Protocol) を用いた **IntServ**
- 相対的で大雑把な優先制御をする **DiffServ**

5.8 その他のIP関連技術

■ 5.8.3 通信品質の制御

□ IntServ

- 特定アプリケーション(送信元&宛先アドレス、送信元&宛先ポート番号、プロトコル番号の5つが同じもの)間通信の通信品質制御を提供
- 必要な時だけ経路上のルーターに品質制御の設定をする。
→フローのセットアップ(RSVPにより実現)
- 品質制御の範囲が大きくなるほど実装や運用が困難

□ (教科書p.214の図5.27)

5.8 その他のIP関連技術

■ 5.8.3 通信品質の制御

□ DiffServ

- DiffServドメイン内でパケットごとのIPヘッダのDSCP (Differentiated Services Codepoint) 値に基づいて優先制御
- 処理がしやすく実用的な仕組み

■ (教科書p.215の図5.28)

5.8 その他のIP関連技術

- 5.8.4 明示的なふくそう通知
 - IPヘッダのECN (Explicit Congestion Notification) を利用して送信元にふくそう情報を通知する仕組み。
- (教科書p.216の図5.29)

5.8 その他のIP関連技術

■ 5.8.5 Mobile IP

□ Mobile IPとは

- ホストが接続しているサブネットが変わってもIPアドレスが変わらない技術

□ IPトンネリングとMobile IP

- ホームエージェントと外部エージェント間でIPトンネリングで通信することで、移動前と同じIPを使い続けることができる。

□ Mobile IPv6

- 外部エージェント機能を移動ホスト自身が担うなどの改良

■ (教科書p.217の図5.30)

【次回予告】
第8回：TCPとUDP
(教科書：第6章)

また次回！
