

改めて知る インターネットの仕組み

ミウラネットワークス合同会社

三浦 敏志

miura@networks31.jp

今日の目的

なぜ、このような話をさせていただくのか・・・

今ではインターネットは動いていて当たり前のサービスになりました。皆さんの生活にも深く入り込んでいて、インターネットが止まってしまうとその影響は甚大なもので社会生活に大きな影響を及ぼし、ニュースになることも度々です。

そこで、インターネットサービスを構築・運用してきたネットワークエンジニアの経験を踏まえ、インターネットを構成する要素から運用までの普段目にすることのない裏側をお話しさせていただきます。

日頃は裏方として活動している「インフラ系エンジニア」の苦勞についても思いを馳せていただければ幸いです。

目次

1

インターネット概論（はじめに）

インターネットとは / インターネットの仕組み

2

インターネットを支える技術

IPアドレス / ドメイン / DNS など

3

インターネットの運用

トラフィック管理 / BGP4 / ピア / IX など

4

これからのインターネット

社会基盤としてのインターネット / その他

Chapter 1

インターネット概論 (はじめに)

インターネットとは？ ChatGPTに聞いてみた



インターネットとは何ですか



インターネットは、世界中のコンピューターネットワークを相互に接続するグローバルなネットワークです。複数のコンピューターやデバイスが互いに通信し、情報をやり取りすることができます。



インターネットは、ワールドワイドウェブ（World Wide Web）や電子メール、ファイル転送など、さまざまなサービスとプロトコルを提供します。また、オンライン上の情報やリソースにアクセスするための仕組みを提供するため、人々が情報を共有し、コミュニケーションを行うための重要な基盤となっています。

インターネットは分散型のネットワークであり、数千万以上のネットワークやサーバーが相互に接続されています。これにより、情報やデータは複数の経路を通過して送信され、信頼性が高く、効率的な通信が可能になっています。

インターネットは、TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）と呼ばれる一連のプロトコルを使用して通信します。これにより、パケット交換と呼ばれる方式でデータが送信され、目的のコンピューターやデバイスに到達します。

インターネットは、情報の共有やコミュニケーションの手段として広く利用されており、オンラインショッピング、ソーシャルメディア、オンラインバンキング、エンターテインメント、教育など、さまざまな領域で重要な役割を果たしています。

インターネットとは？ Bardにも聞いてみた

S インターネットとは何ですか



他の回答案を表示 ▼



インターネットとは、世界中のコンピュータやその他の情報機器を接続するネットワークです。1960年代にアメリカ国防総省によって開発され、当初は軍事目的で使用されていました。1990年代初頭に一般に公開されて以来、急速に普及し、今日では私たちの生活や仕事に欠かせない存在となっています。

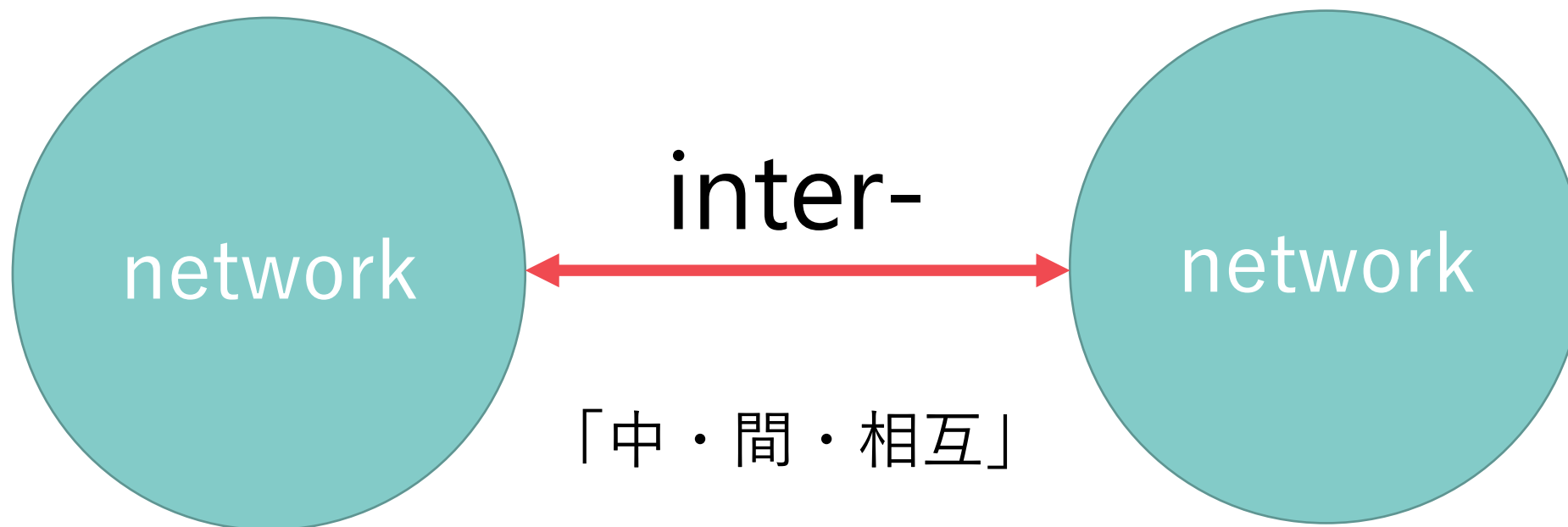
インターネットには、次のようなさまざまな機能があります。

- 電子メール：インターネットを使って、世界中の人々とメッセージを送受信することができます。
- ウェブサイト：インターネット上に存在するウェブサイトには、ニュース、天気予報、スポーツのスコア、レシピなど、あらゆる種類の情報が掲載されています。
- ソーシャルメディア：インターネットを使って、友達や家族とつながり、最新情報を共有することができます。
- オンラインショッピング：インターネットを使って、衣類、家電製品、本など、あらゆる種類の商品を購入することができます。
- オンラインゲーム：インターネットを使って、世界中の人々とゲームをプレイすることができます。

インターネットは私たちの生活を大きく変えました。私たちは、インターネットを使って、世界中の人々とつながり、情報を得て、新しいことを学ぶことができます。インターネットは、私たちの生活をより便利で豊かにしてくれるツールです。

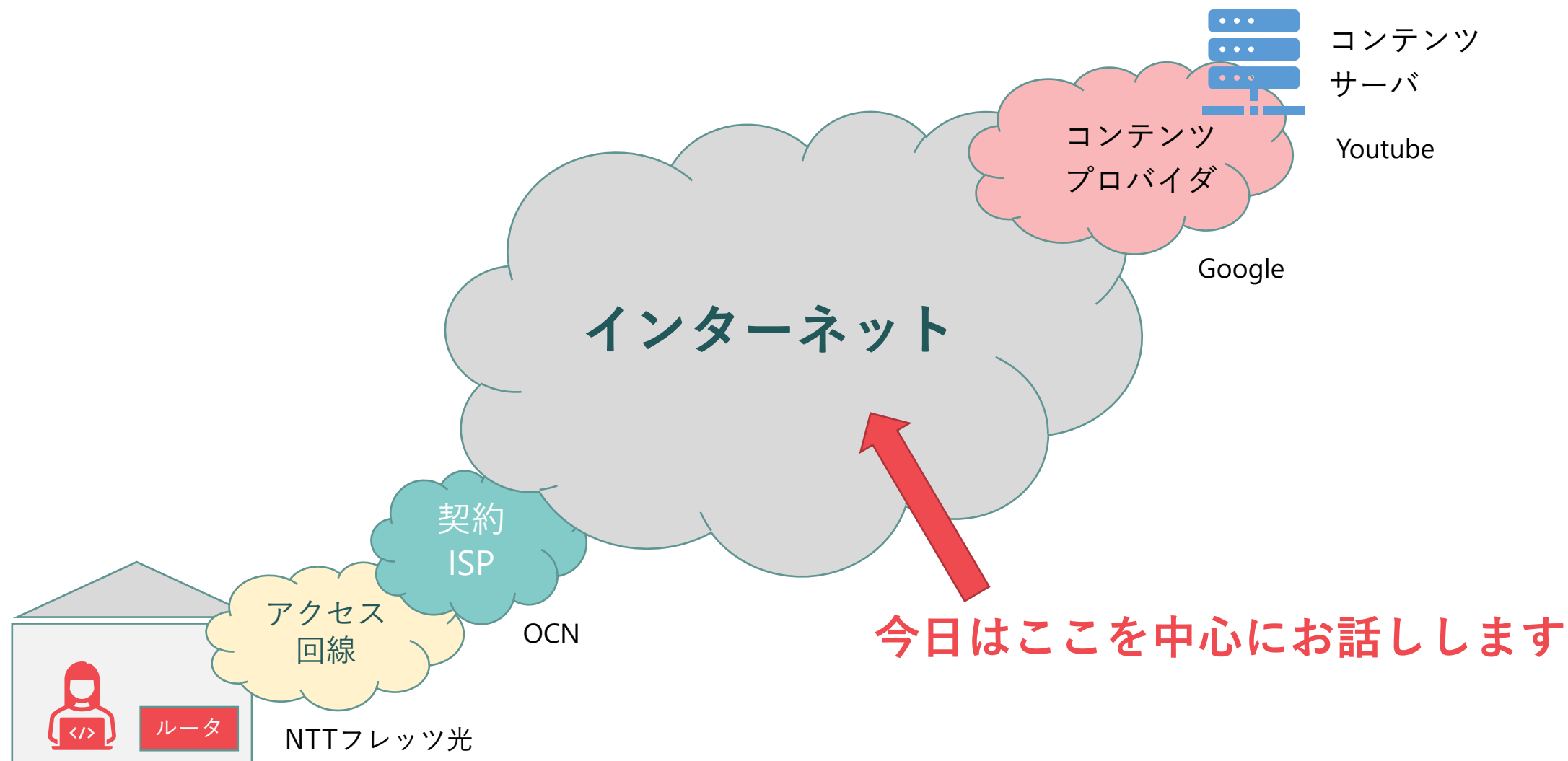


インターネットとは



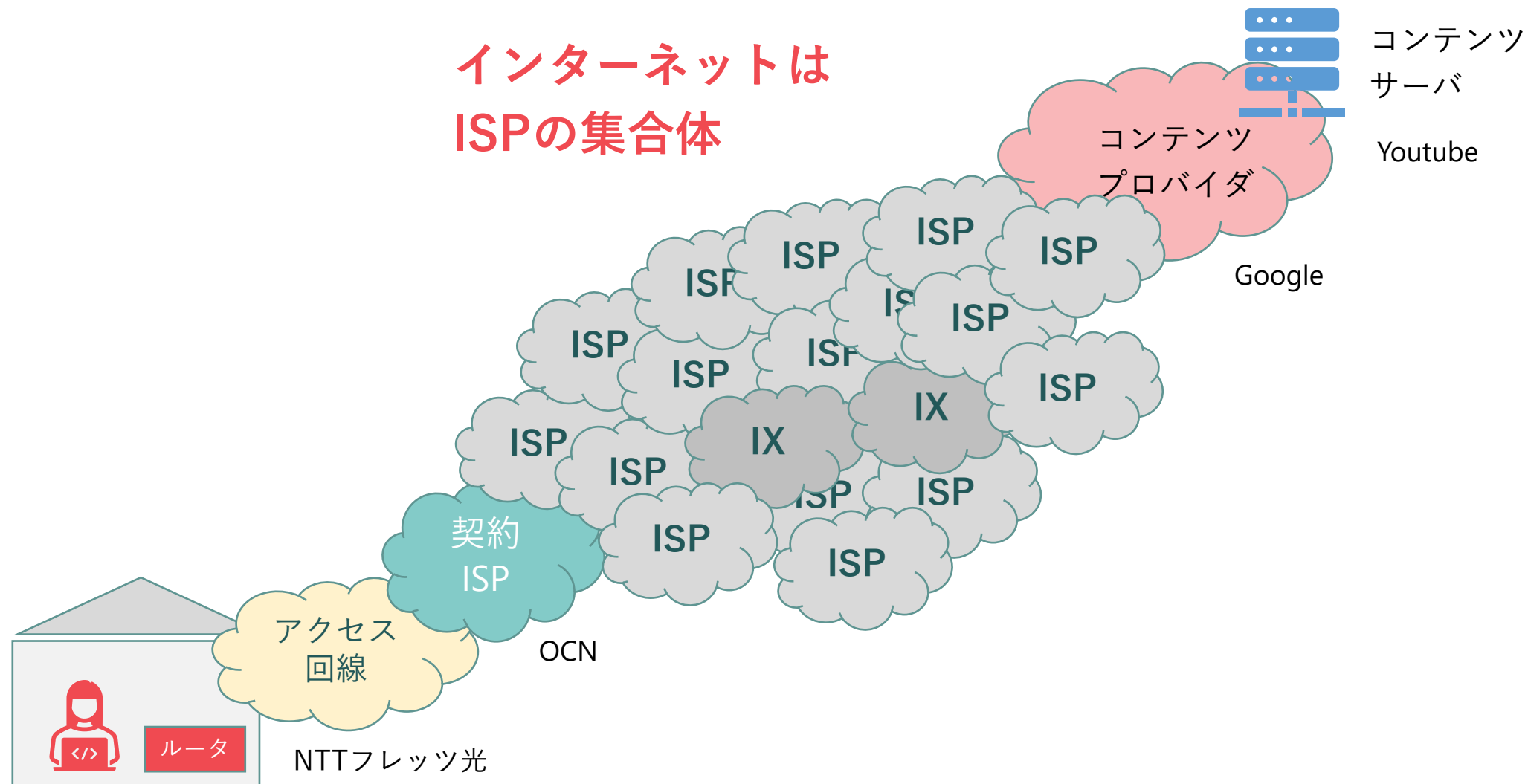
ネットワークを相互に繋いだもの

インターネット概観



インターネット概観

インターネットは
ISPの集合体



インターネットの運営主体

特定の団体が運営しているものではないが、以下の組織で管理

- 資源管理面は、**ICANN**

- The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
- IPアドレス、ドメイン名、プロトコル・ポート番号を管理

- 技術面は、**IETF**

- The Internet Engineering Task Force
- RFC (Request For Comments)

 いずれも **オープン** で **中立的** であることが特徴

インターネットの歴史からみた特徴

- **ARPANET**（アメリカ国防総省 高等研究計画局 ARPA）に起源をもつ
 - バッチ処理からインタラクティブの概念
 - パケット交換の概念
 - パケットによるデータ分割、再送手続きによる効率化
 - インタラクティブの概念
 - 種類の異なるコンピュータ、遠隔地のコンピュータとの接続
- 根底にある考え方
 - **Interoperability**（相互運用性）
 - コンピュータの種類が違ってても通信できる
 - **End-to-End**（エンド・ツー・エンド）
 - 通信に関わる処理はなるべく末端同士で行う



参考：JPNIC 2021年8月19日～20日に開催した【初心者向け「インターネット入門」】の講演より

IPアドレス/ドメイン名/DNS の概要

■ IPアドレス

- コンピュータや通信機器（ルータ）等の端末がインターネット上で、通信元の確認や通信先を指定する上で必要な識別子

【例】 192.168.0.1 , 2001:db8::

■ ドメイン名

- 人がインターネット上、通信を指定する上で利用される識別子
- WebサイトのURLや、電子メールアドレスなどに使われている

【例】 <https://www.example.co.jp> , user@example.co.jp

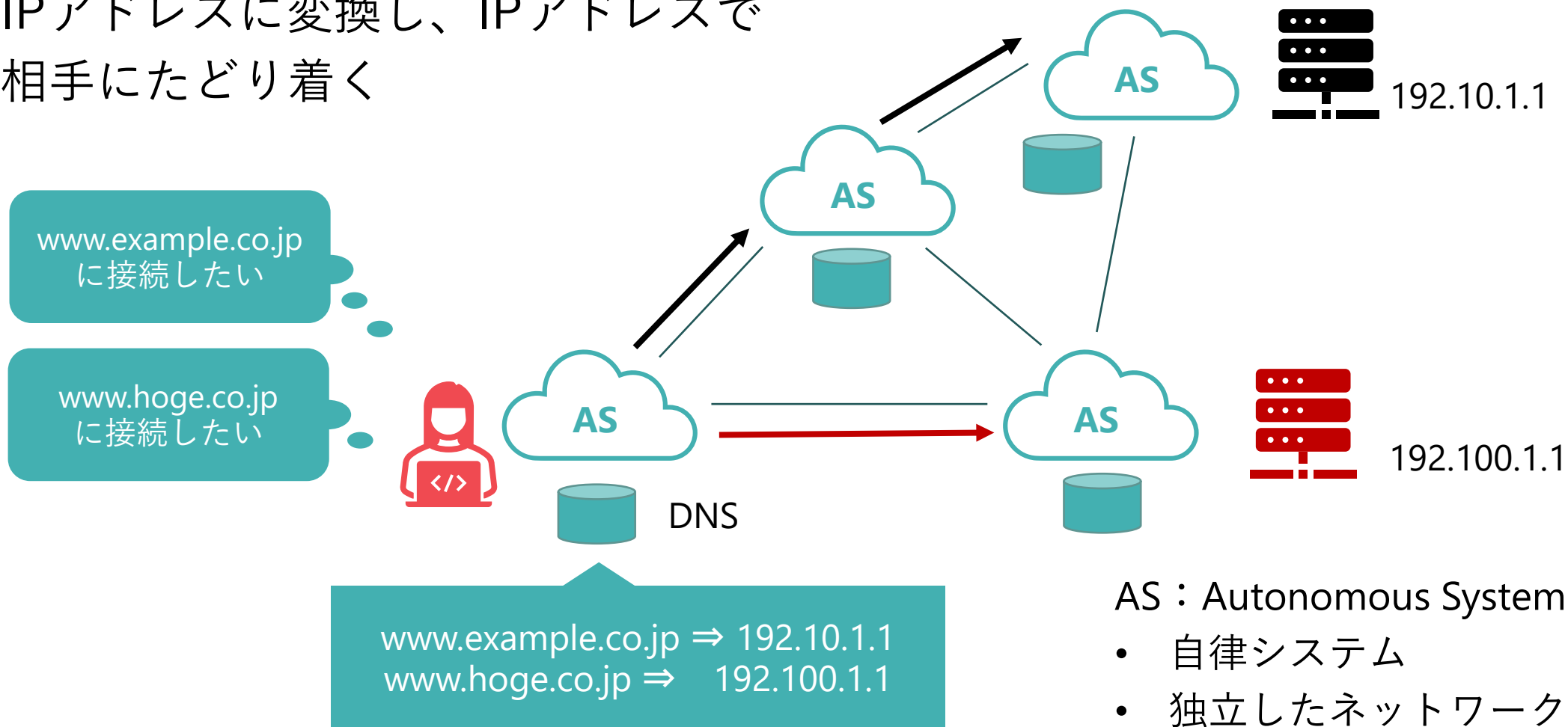
■ DNS

- ドメイン名（+ホスト名）とIPアドレスの対応関係を管理する

参考：JPNIC 2021年8月19日～20日に開催した【初心者向け「インターネット入門」】の講演より

インターネット上で通信相手にたどり着くまで

名前(ドメイン+ホスト名) をDNSで
IPアドレスに変換し、IPアドレスで
相手にたどり着く



Chapter 2

インターネットを 支える技術


取り上げる技術・仕組み

- ① IPアドレス
- ② ドメイン名
- ③ DNSサービス
- ④ AS
- ⑤ ルーティングプロトコル (BGP4)

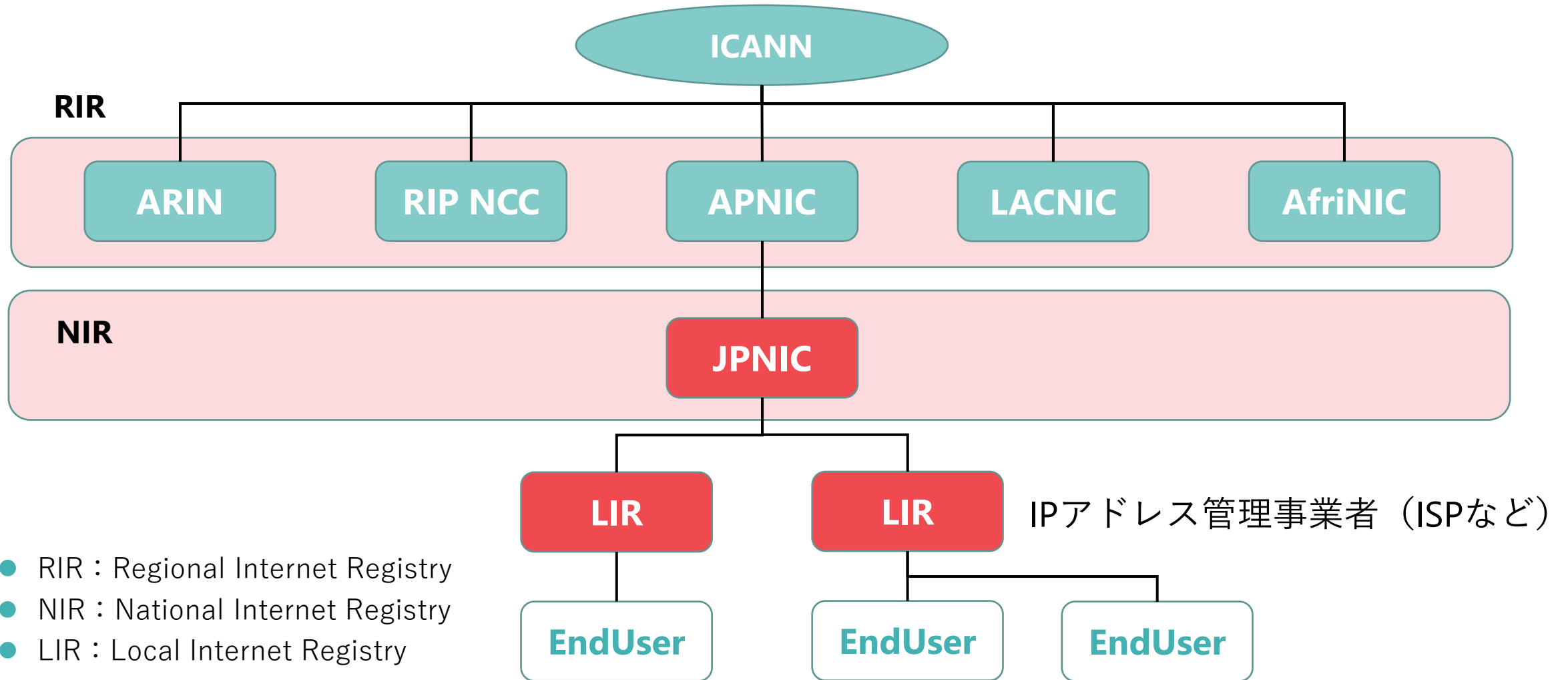
① IPアドレス

■ IPアドレス

- 通信相手を識別するための番号
- IPプロトコルを使って通信をするために必要
- インターネット上に同じIPアドレスが存在してはならない
- IPv4は枯渇した、と言われるが・・・

 誰がどのように管理しているのか

IPアドレスの管理組織



IPv4アドレスの在庫枯渇問題

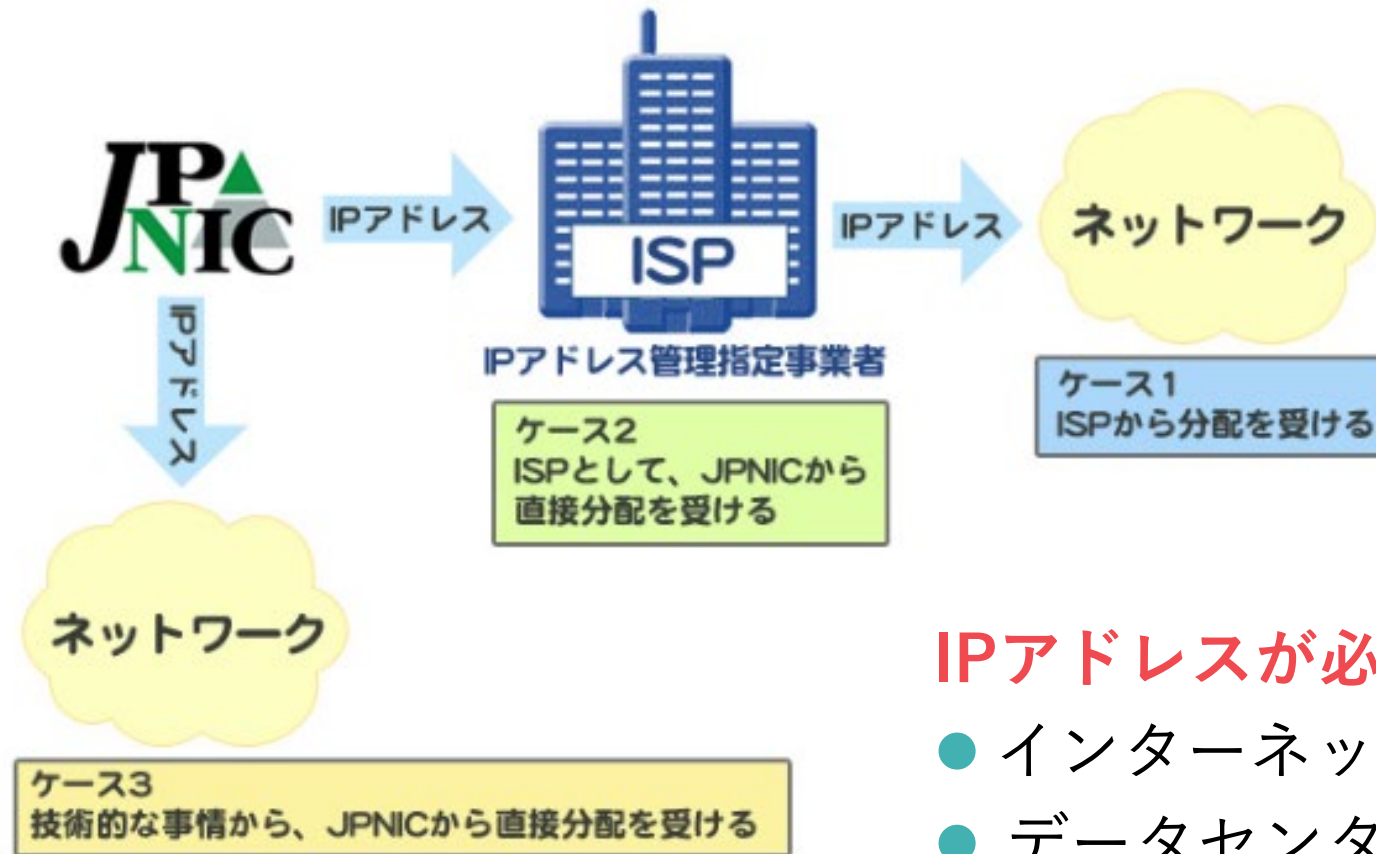
影響

新規に割当ができないことによるインターネット発展の機会の損失

対応策

- 分配済みIPアドレスの効率的利用
- NAT技術によるグローバルIPアドレスの利用を減らす
- IPv6を活用する

IPv4アドレスの取得が必要な人とは



IPアドレスが必要な例

- インターネット接続サービスを開始
- データセンターの開設
- プロバイダーに依存しないネットワークを構築する（マルチホーム）

分配済みIPアドレスの効率的利用

IPアドレス空間の流通

未使用空間を返却してもらう仕組み

- ・ 有償で譲渡（移転）
- ・ IPアドレスに対して課金する

値上がり中！

売買の目安※
\$40/1IP（約124万円）

IPv4を
返却したい
事業者

IPv4移転
仲介業者

IPv4を
取得したい
事業者

IPアドレス維持費
¥55,000 (/24)/年

維持するための費用

JPNIC

単純計算で、
クラスB相当(/16)で、
 $124\text{万円} \times 256 = \text{3億円超！}$

※ <https://auctions.ipv4.global/>

② ドメイン名

■ ドメイン名

- 人がインターネット上、通信を指定する上で利用される識別子
- WebサイトのURLや、電子メールアドレスなどに使われている

【例】 <https://www.example.co.jp> , user@example.co.jp

■ JPRS 日本レジストリサービス

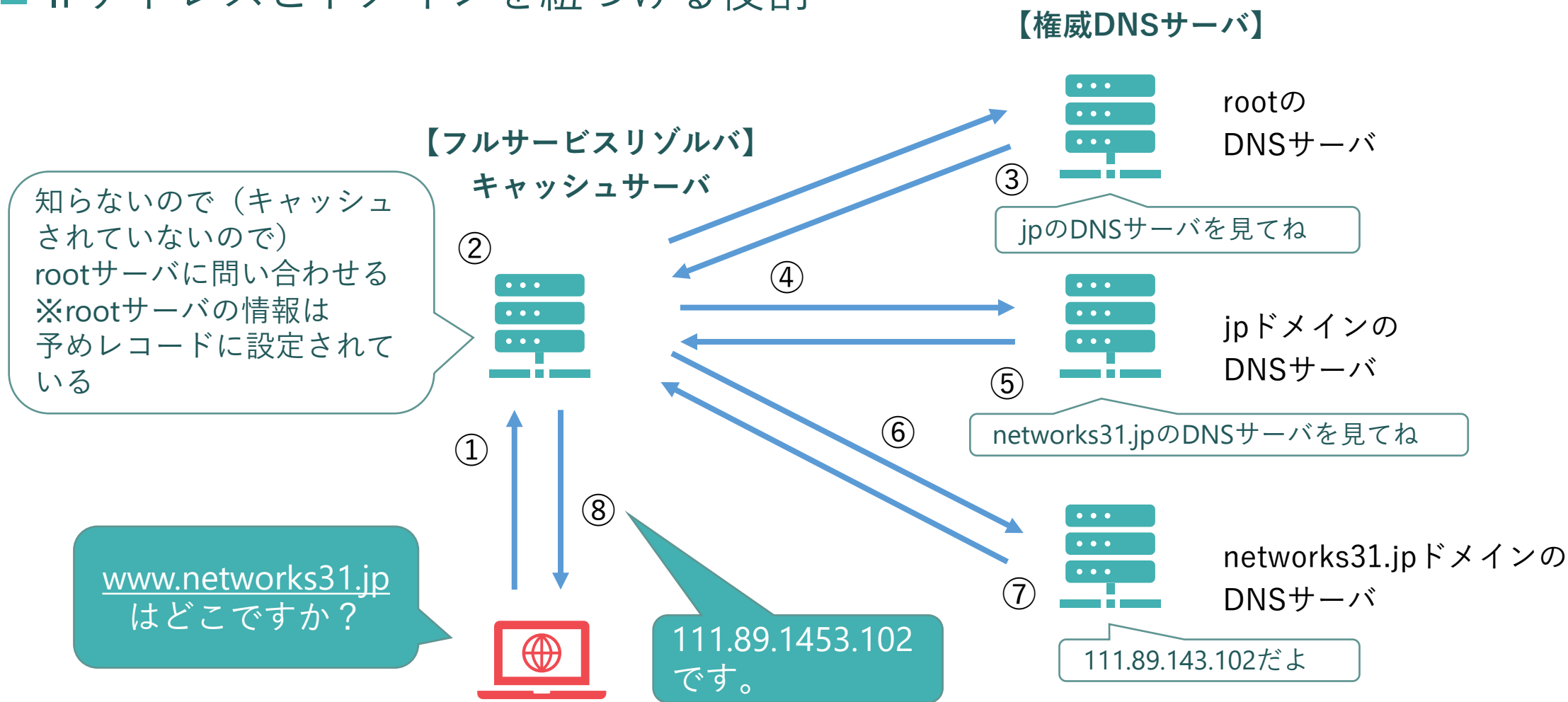
- ドメイン名の登録管理、DNSルートサーバの運用

■ ドメインの種類

- gTLD（分野別トップレベルドメイン） 【例】 .com .net .org など
- 新gTLD（追加された新トップレベルドメイン） 【例】 .site .blog .appなど
- ccTLD（国コードトップレベルドメイン） 【例】 .jp .us .tvなど
 - ✓ 属性型jp 【例】 .co.jp .or.jp .ne.jp .go.jp .lg.jpなど

③ DNS

■ IPアドレスとドメインを紐づける役割



nslookupによる検索例

■ nslookupの例

```
C:\Users\mypc>nslookup  
既定のサーバー: UnKnown  
Address: 2001:a7ff:5f01::a
```

サーバを指定する

```
> server 192.168.2.1  
既定のサーバー: [192.168.2.1]  
Address: 192.168.2.1
```

ドメイン（ホスト名）を指定する

```
> networks31.jp  
サーバー: [192.168.2.1]  
Address: 192.168.2.1
```

キャッシュDNS
サーバからの回答

```
権限のない回答:  
名前: networks31.jp  
Address: 111.89.143.102
```

IPアドレスの回答を得る

④ AS (Autonomous System)

- 「自律システム」とも呼ばれる。
- 統一された運用ポリシーによって管理されたネットワークの集まり
- BGPというプロトコルにより接続される単位
- AS間で経路情報の交換を行うことにより、インターネット上での効率的な経路制御を実現する
- AS番号は16ビット（現在32ビット）の数字でインターネット上で一意に識別
- 日本ではJPNICがその割り当てと管理を行っている

参考：JPNIC 2021年8月19日～20日に開催した【初心者向け「インターネット入門」】の講演より

AS番号の例

事業者名	AS番号
IJ	2497
OCN（NTTコミュニケーションズ）	4713
BIGLOBE	2518
KDDI	2516
So-net	2527
Google	15169
Amazon	16509
Yahoo！BB（ソフトバンクBB）	17676
LINE	38631

⑤ BGP4

- 経路制御プロトコルの1つ . . . path vector方式
 - EGP (Exterior Gateway Protocol) ← BGPはこっち
 - IGP (Interior Gateway Protocol)
- AS間のルーティングプロトコル
- BGP4+はIPv6、マルチキャスト通信に対応
- 自組織と相手組織間でピアと呼ばれるコネクションが必要
- ピア確立後に経路情報を伝達するためのメッセージを定期的に交換し、お互いの持つ経路情報を保持、更新し続ける。

経路制御プロトコルの種類

■ ディスタンス・ベクタ (distance vector)

- RIP
- 距離と方向性で経路が決まる

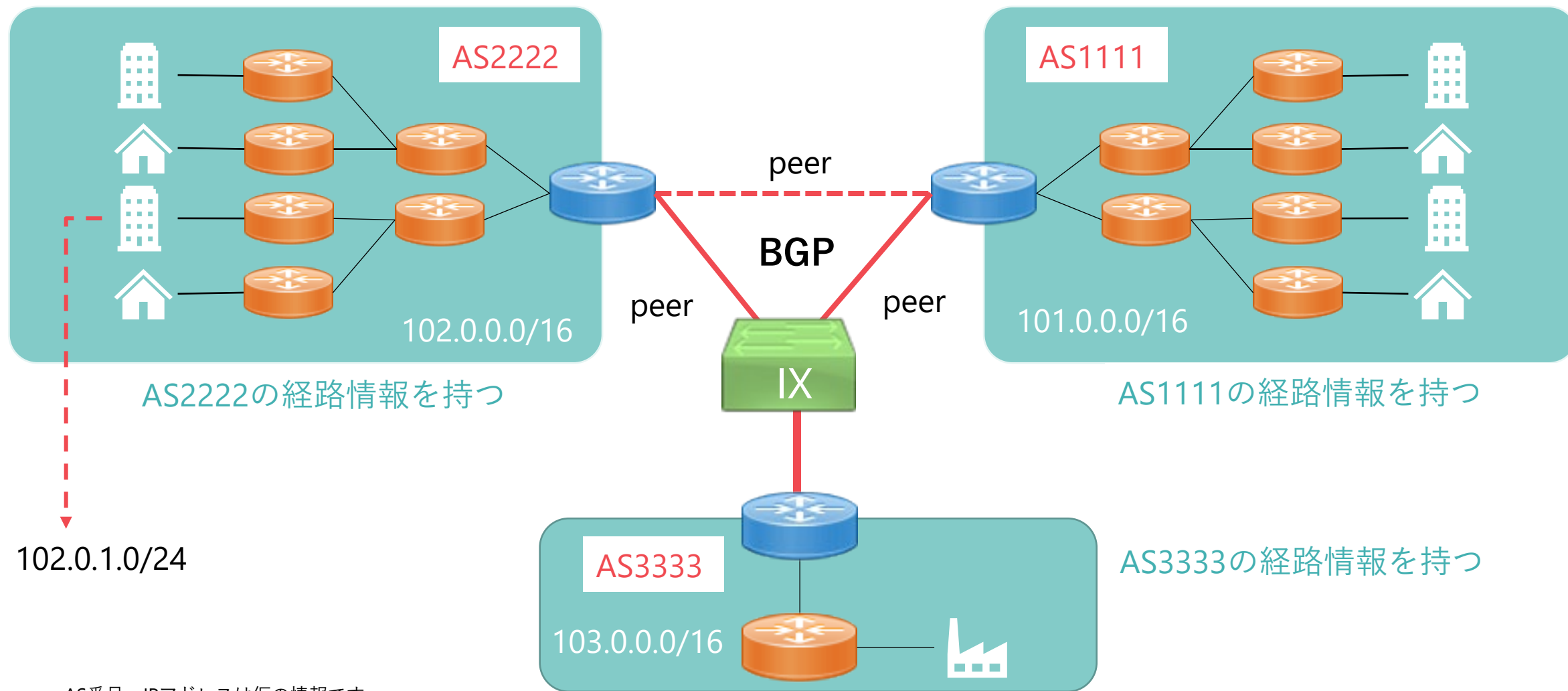
■ リンク・ステート (link state)

- OSPF
- ルータに繋がっているリンク状態を収集して運用するプロトコル

■ パス・ベクター (path vector)

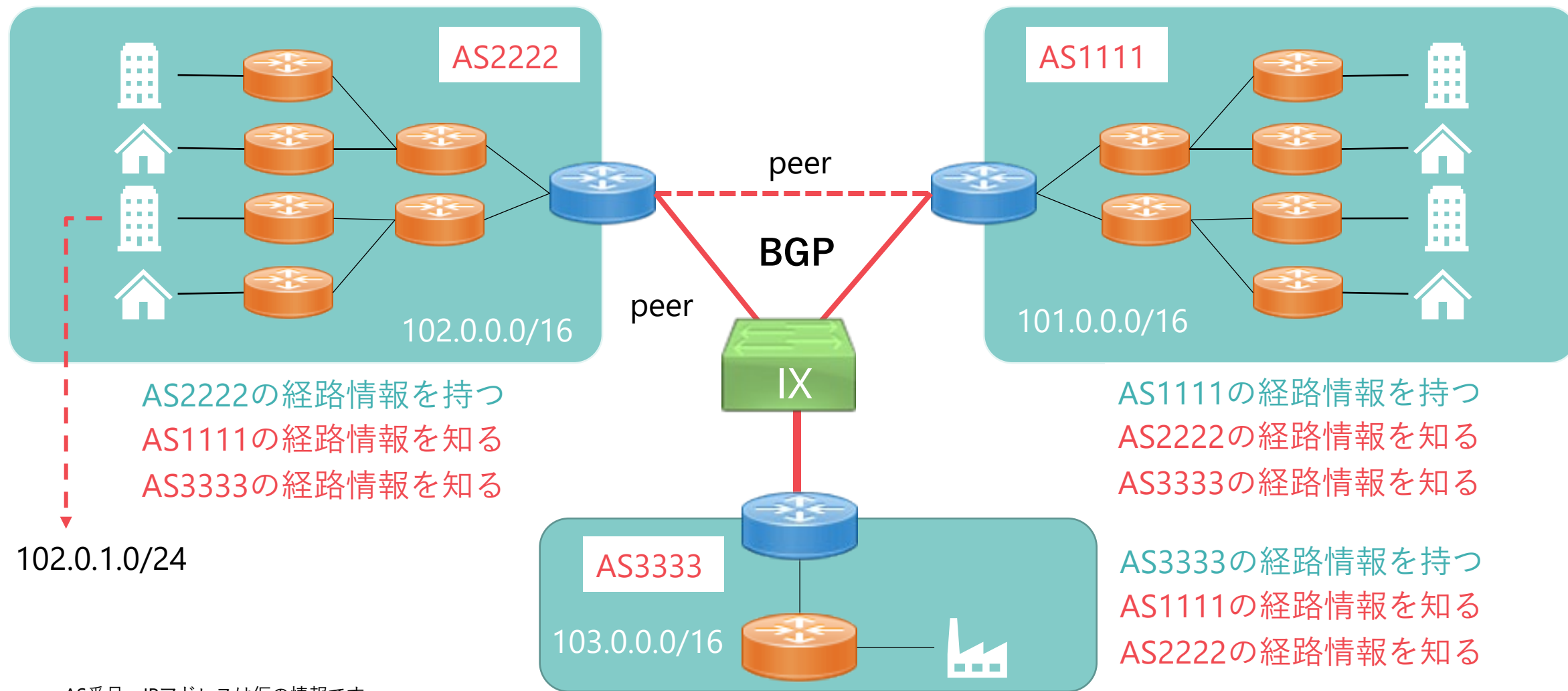
- BGP
- パス属性と方向性で運用するプロトコル

BGPネットワークの構成例（経路交換前）



AS番号、IPアドレスは仮の情報です

BGPネットワークの構成例（経路交換後）



AS番号、IPアドレスは仮の情報です

Chapter 3

インターネットの運用

ネットワークエンジニアの運用管理の業務

- 安定的なISPの運用
- トラフィックエンジニアリング
 - = トラフィックコントロール
 - トラフィックをどこにどれだけの量を流すか
 - コスト管理

インターネットの通信障害の事例

速報

[続報] OCNの通信障害、米グーグルによる誤った経路情報の大量送信が原因か

山崎 洋一 ITpro

2017.08.25



PR

2017年8月25日、NTTコミュニケーションズ（NTTコム）のインターネット接続サービス「OCN」で発生した通信障害に関して、インターネット通信関連の識者は誤った経路情報が大量に流れたことが原因ではないかとの見方を示した。ここでいう経路情報はルーターがBGP（Border Gateway Protocol）というプロトコルを使って交換するものだ。

関連記事：[NTTコムのOCNで通信障害、NTT東西やKDDI含め「設備に異常なし」](#)

関連記事：[\[続報\] モバイルSuicaにメルカリ、ネット接続障害が広がる](#)

関連記事：[\[続報\] 大規模通信障害でNTTコムとKDDI、「大量の経路変動で通信が不安定に」と発表](#)

日本ネットワークインフォメーションセンター（JPNIC）の岡田雅之氏は、NTTコムは複数の組織と対等な関係でネットワークの経路情報をやり取りしているが（これを「ピアリング」という）、そのうちのある組織が誤った経路情報を大量に流したのではないかと話す。その結果、「NTTコムを介してインターネットに接続していた企業のルーターが、大量の経路情報を受け取り高い負荷がかかり、一部はフリーズしたような状態に陥るなどして通信障害につながったのではないか」（岡田氏）とした。

ISP（インターネット接続事業者）などの組織は「AS番号」という番号で表される。NTTコムのOCNのAS番号は4713。「NTTコムとピアリングし、大量の経路情報を流したのはAS番号15169の組織とみられる」（岡田氏）。AS15169の組織は米グーグルである。

[この記事の目次へ戻る](#)

日経 XTECH



BGPによるトラフィックコントロール

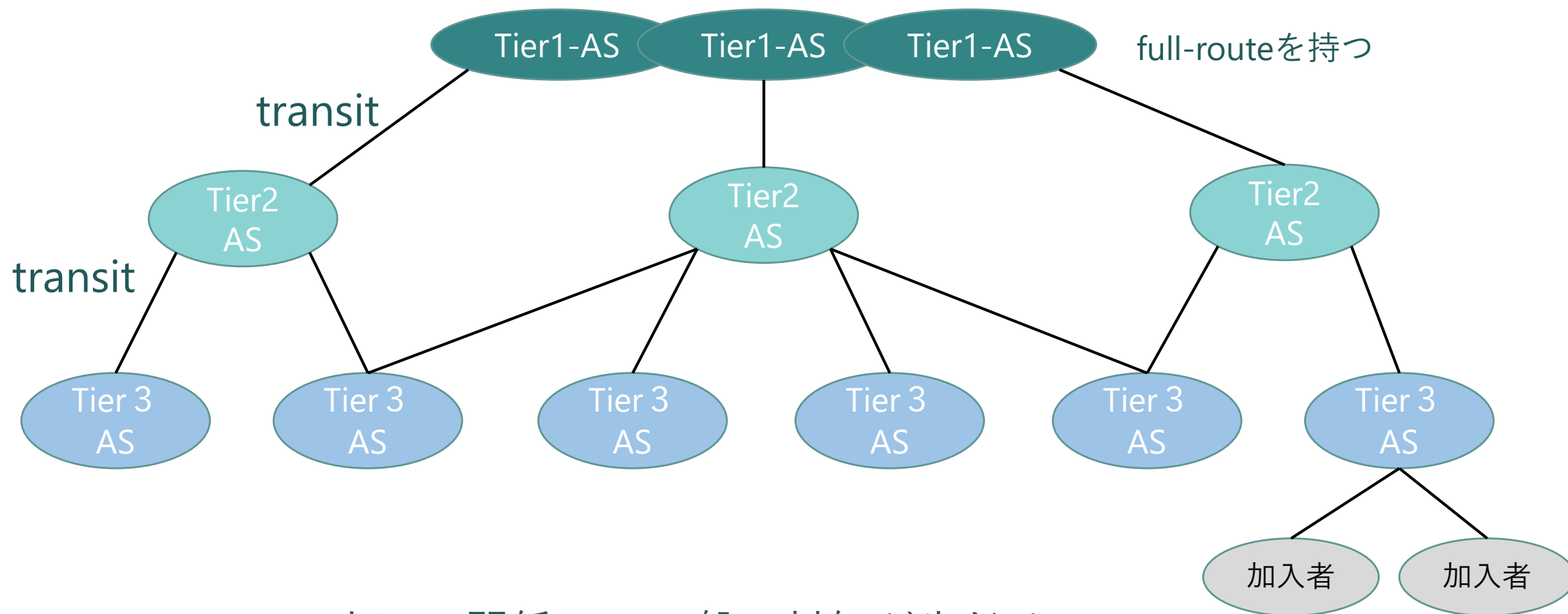
BGPでは、宛先に到達するためのパスが複数ある場合、
先ずそれらのパスをBGPテーブルに格納し、複数のパスの中から最適経路を1つだけ選択する。

その際、「ベストパス選択のアルゴリズム（**BGPパス属性**）」を使用する

主なBGPパス属性

1. **Local Preference（LP）** 値が高いものを優先する
2. **AS Path長**が短いものを優先する
3. **Multiple Exit Discriminator（MED）**の値が低いものを優先する

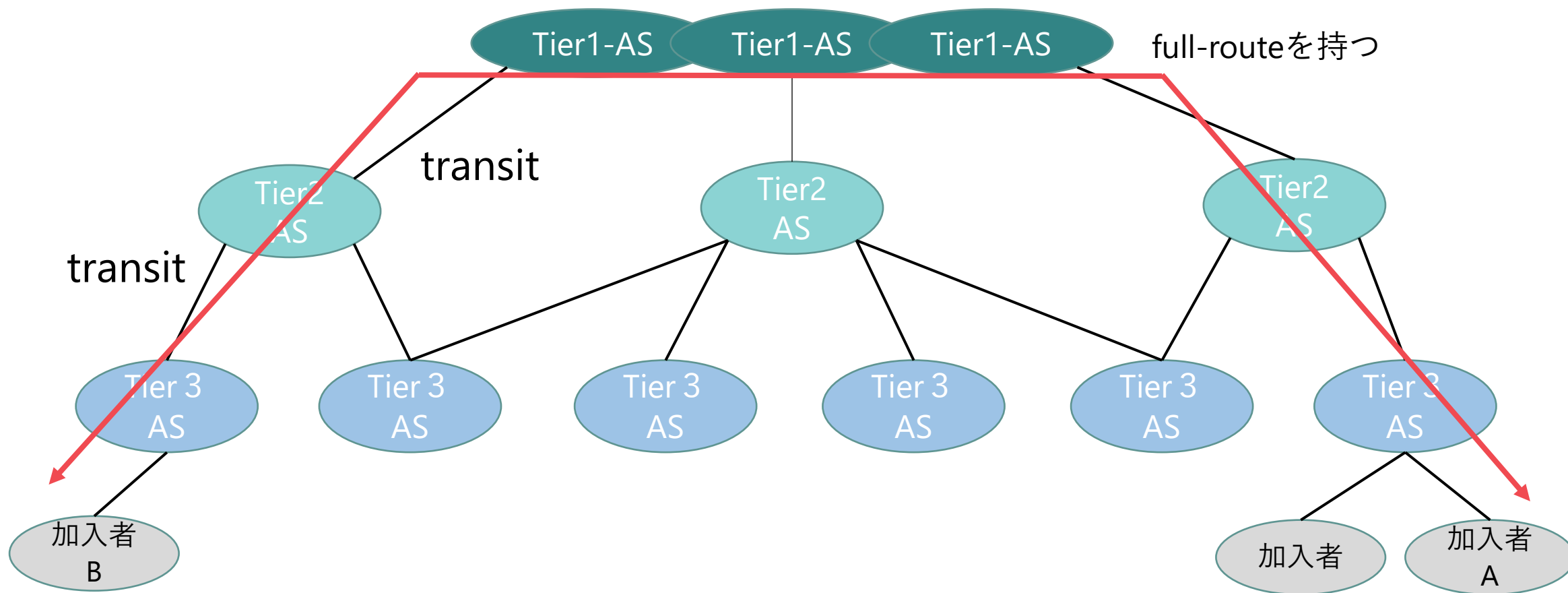
階層化されたAS



● transit 上下の関係 一般に対価が生じる

● peer 横同士の関係 無償（但し回線やIXの費用は必要）

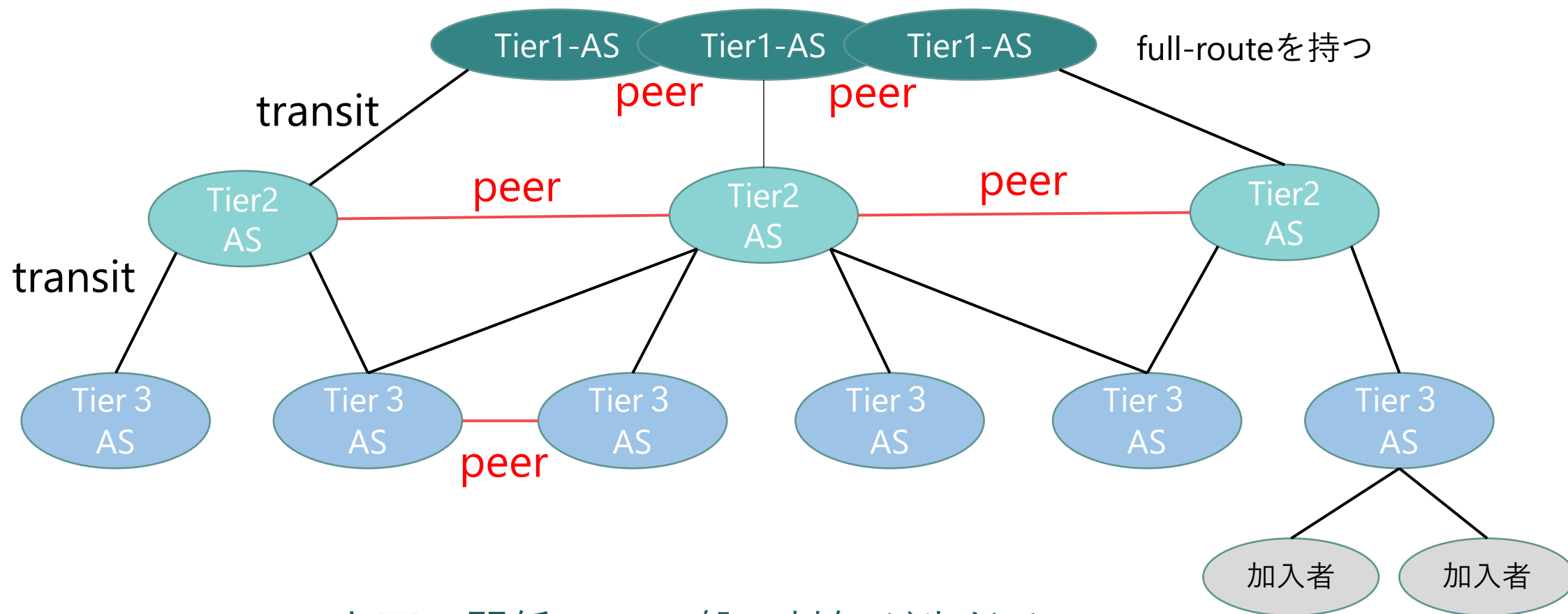
階層化されたAS “だけ” の場合の課題



加入者同士は、お隣さん。

加入しているISPが異なると海外経由で通信しているかも（極端な例ですが）

階層化されたASに”peer”を追加



- transit 上下の関係 一般に対価が生じる
- peer 横同士の関係 無償* (但し回線やIXの費用は必要)

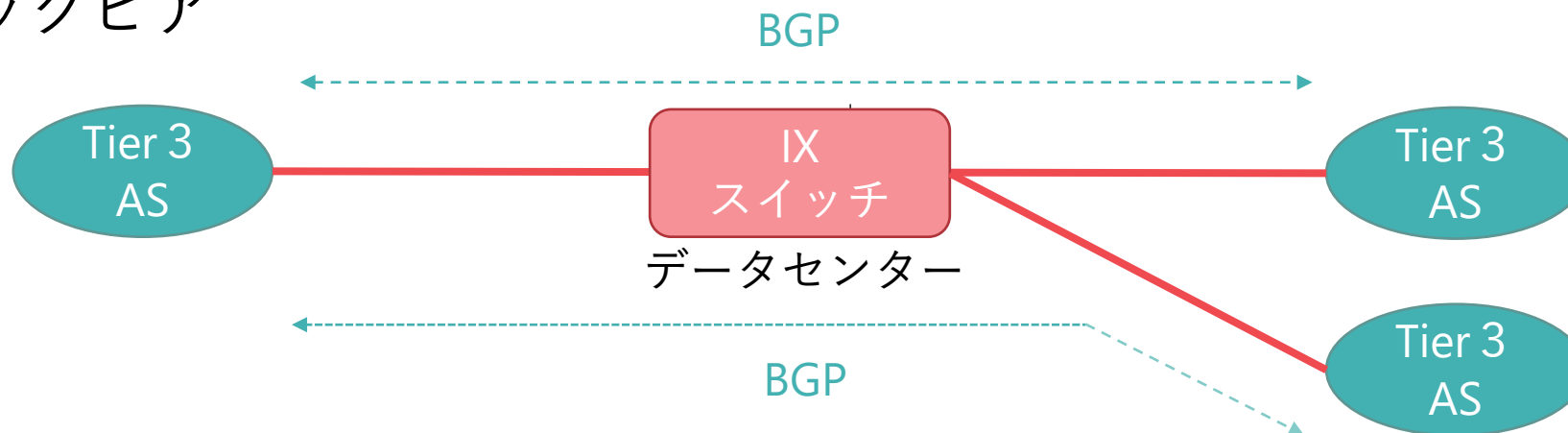
peer: (年齢・地位・能力などが)同等の者、同僚、同輩、仲間、貴族 出典：weblio英和辞典

ピア(peer)

■ プライベートピア



■ パブリックピア



主なIX事業者

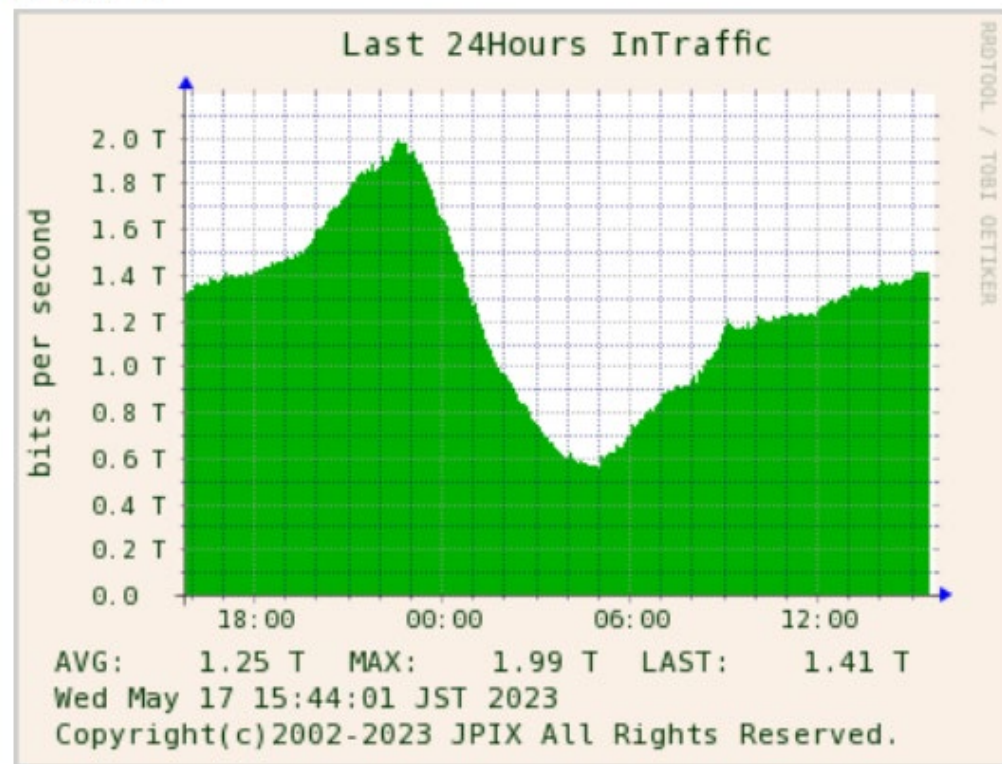
- JPIX 株式会社JPIX (旧日本インターネットエクスチェンジ株式会社 (KDDI系列))
- JPNAP インターネットマルチフィード株式会社 (NTT系列)
- BBIX BBIX株式会社 (ソフトバンク系列)

参考：国内の代表的IXのトラフィック（１）

■ JPIX 東京

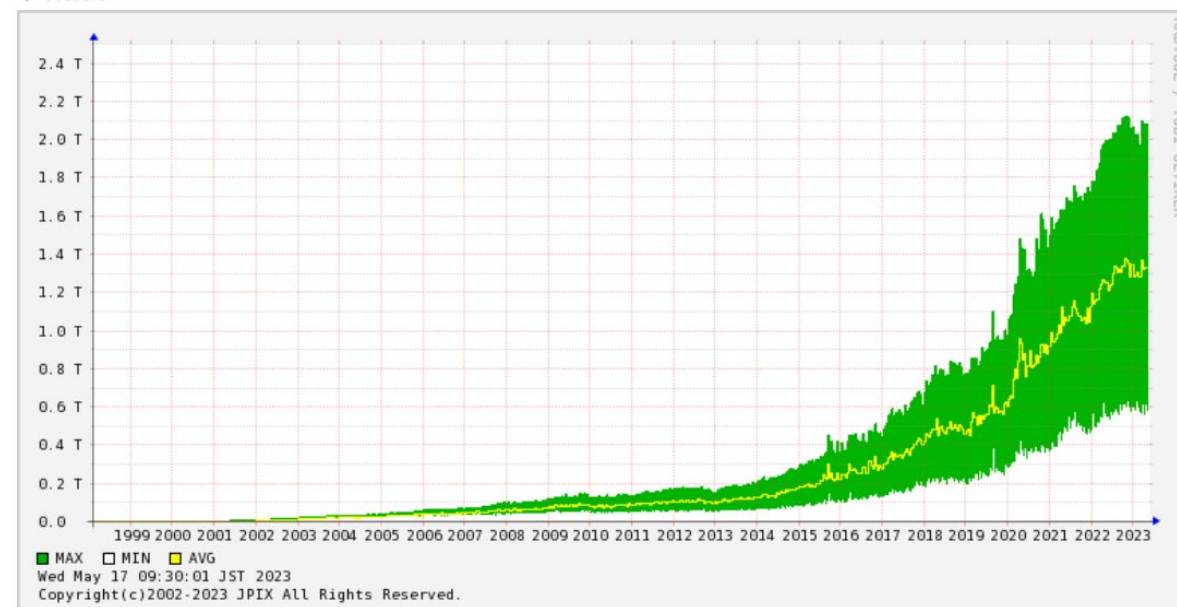
Incoming Traffic to IX

◆ 首都圏



IX Backplane Maximum/Minimum Traffic Volume

◆ 首都圏

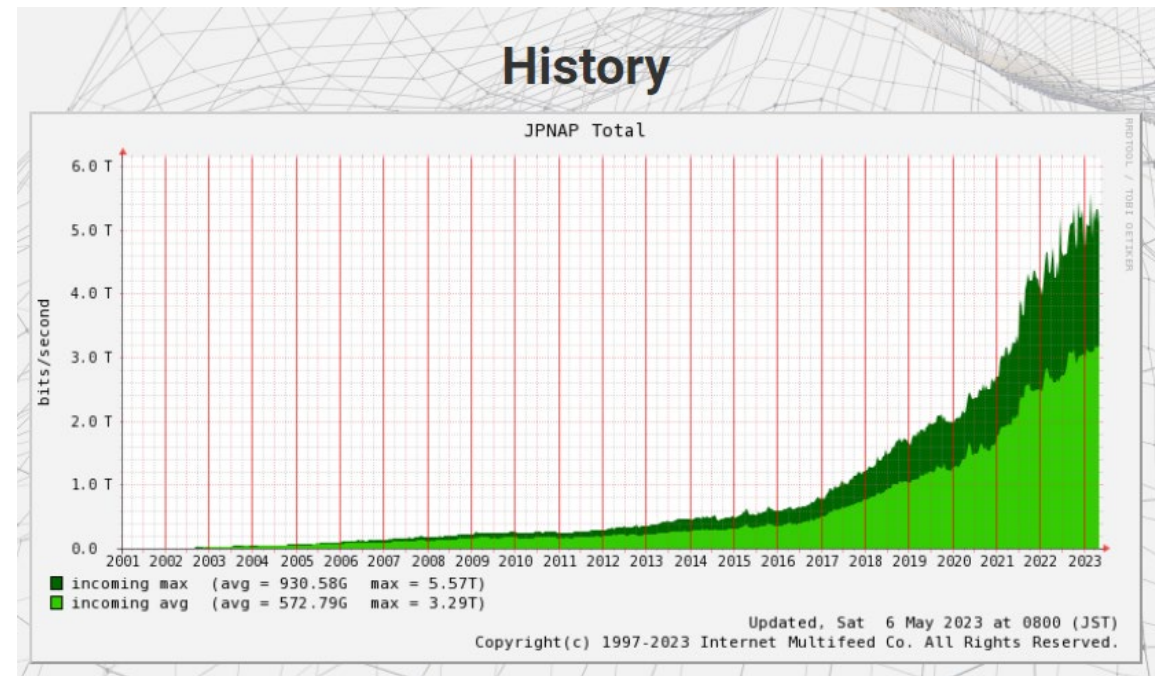
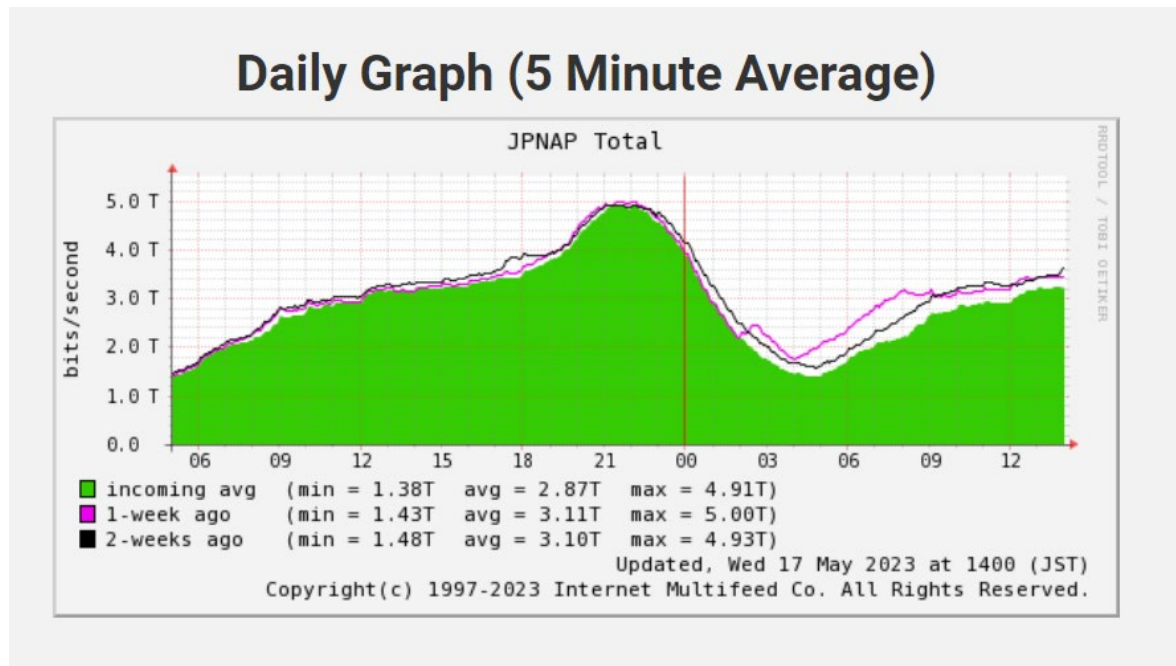


引用：JPIX株式会社

https://www.jpix.ad.jp/jp/technical_traffic.php

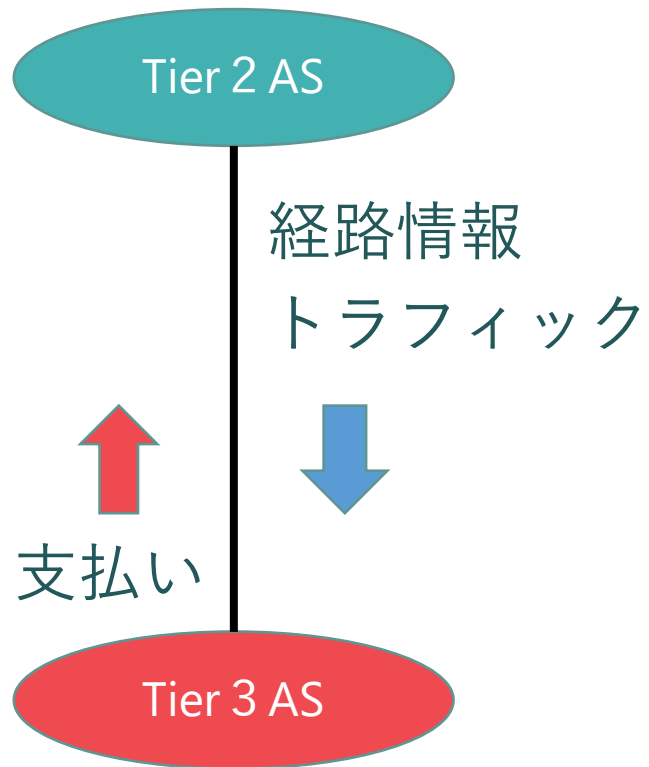
参考：国内の代表的IXのトラフィック（2）

■ JPNAP

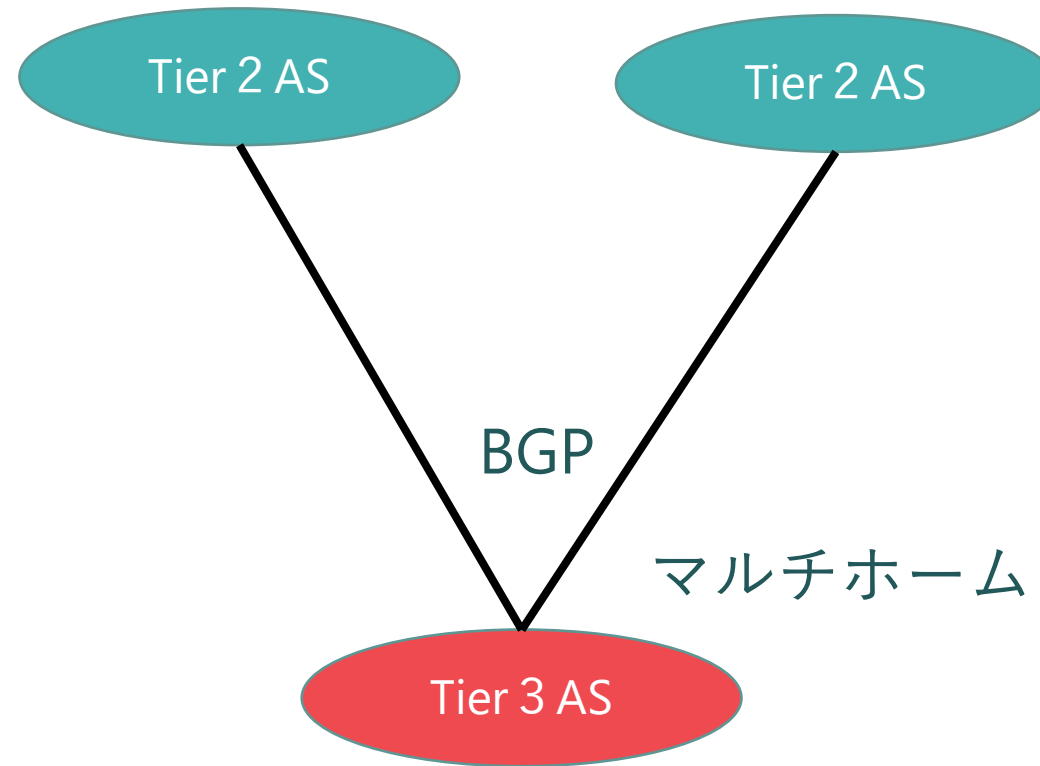


引用：インターネットマルチフィード株式会社
<https://www.jpnap.net/>

トランジット (transit)



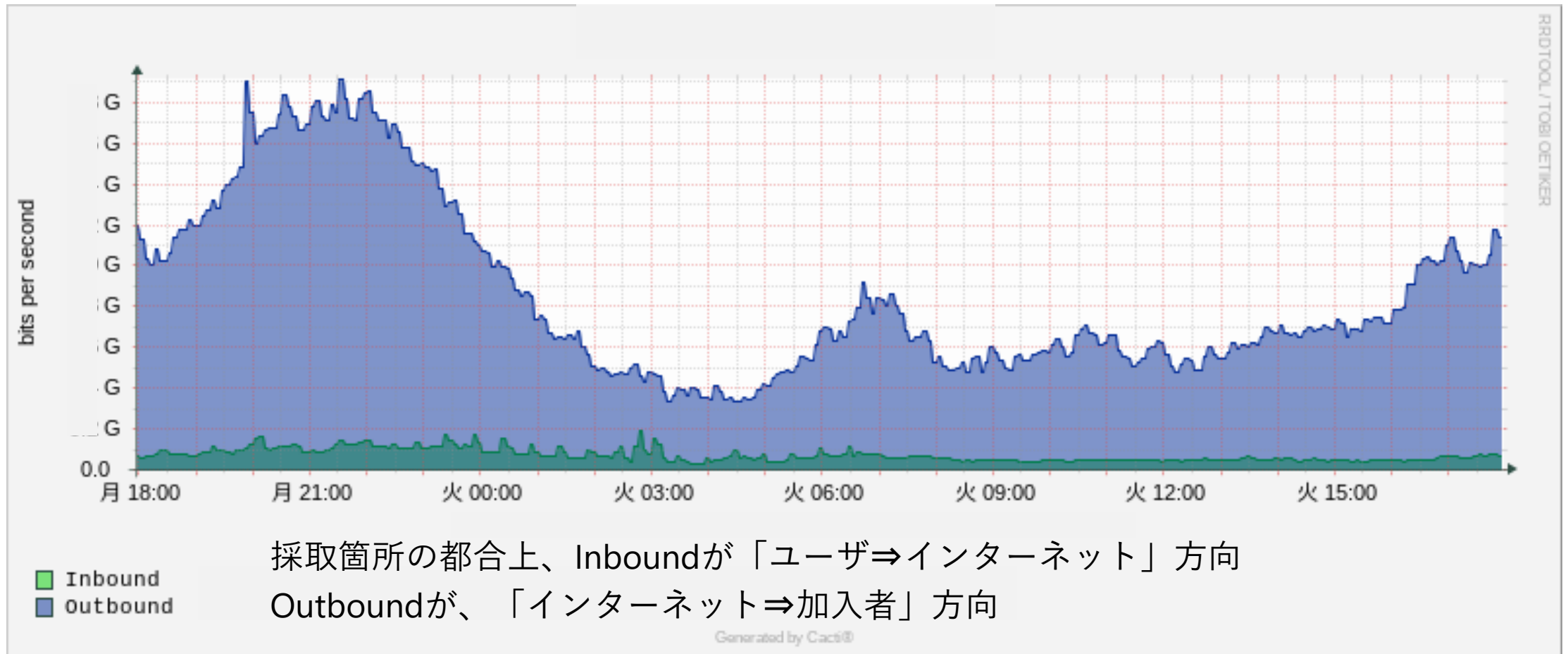
実際の中小ISPの構成



契約ごとに料金体系は異なる

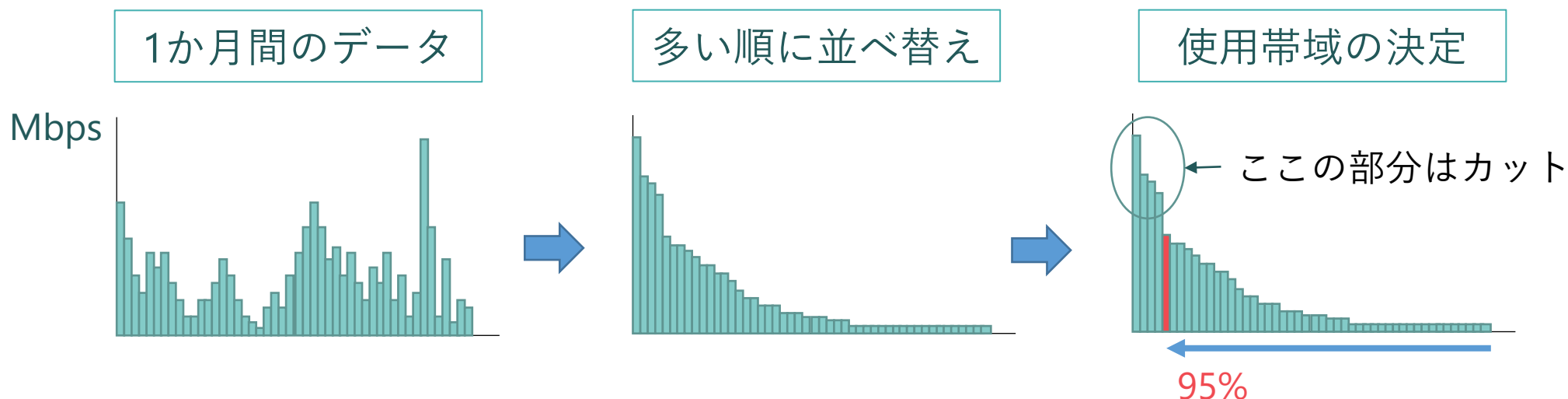
トランジットの料金はどう決まるか

■ あるISPのある1日のトラフィック



トランジットの料金はどう決まるか

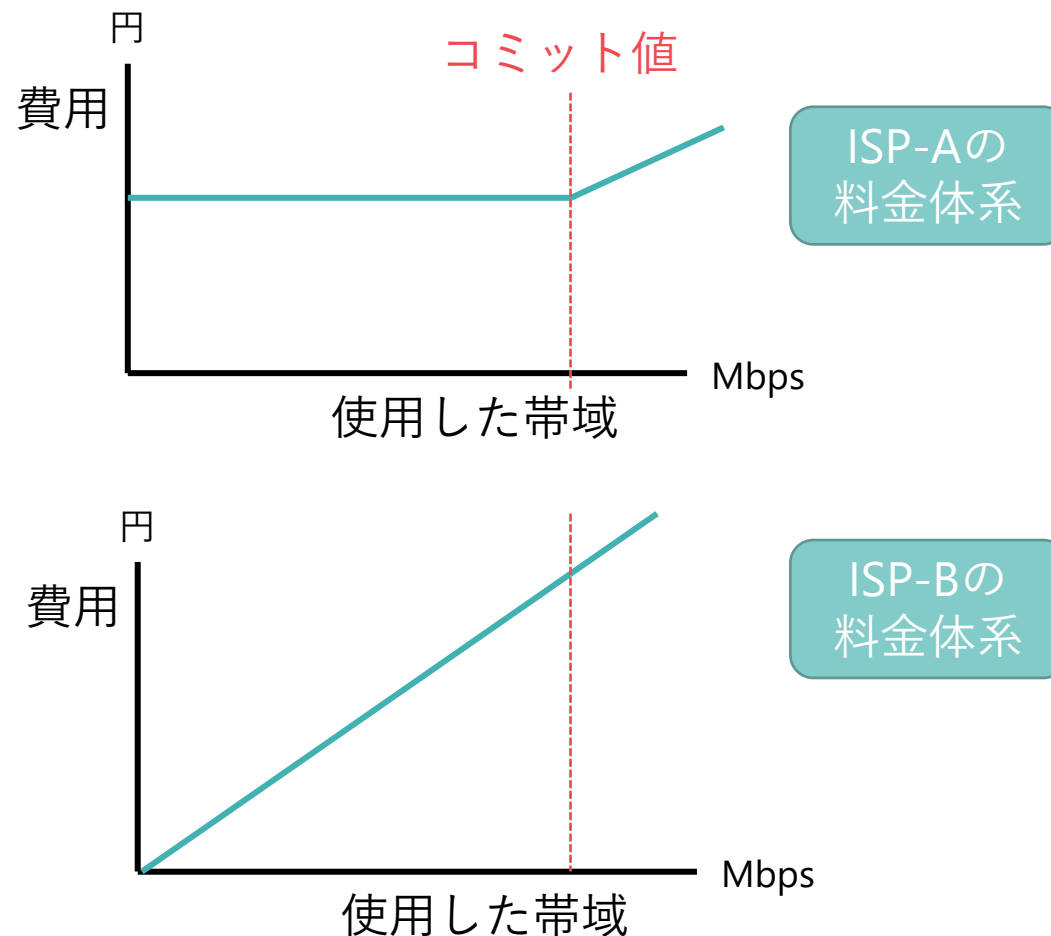
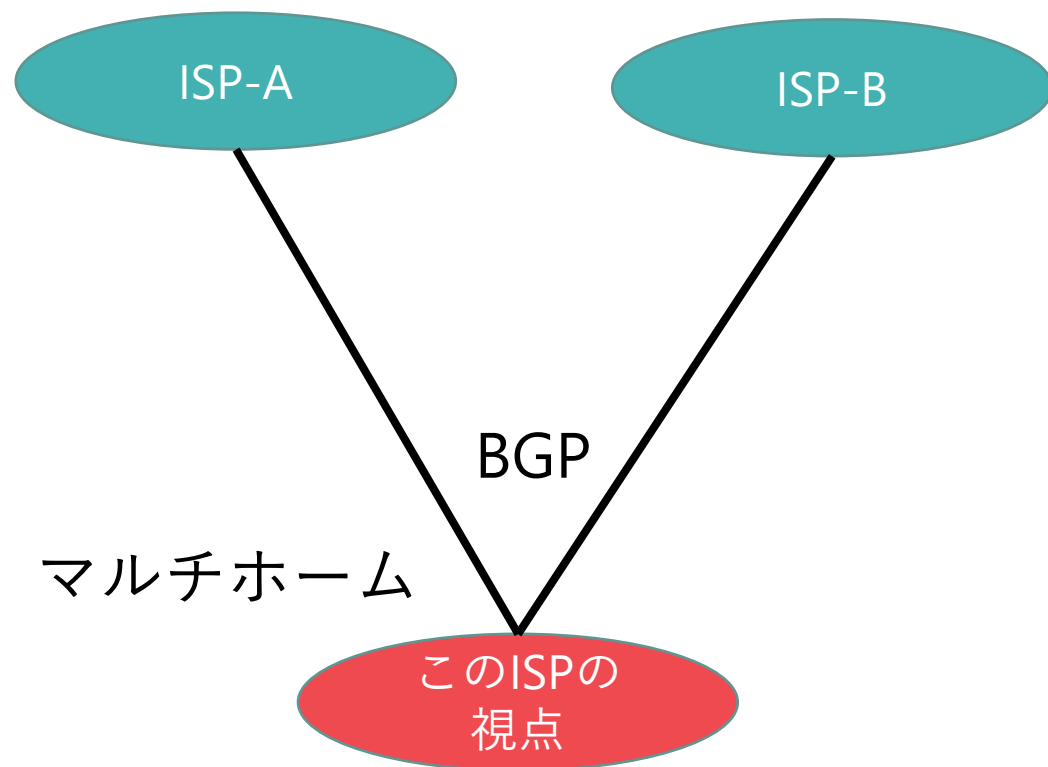
■ 95%ルール



- 1か月の上り・下り別に5分間ごとにサンプリングして、大きい順に並べ替え、上位5%をカットして95%のところの使用帯域に対して課金
- 逆に言えば、何らかの異常でトラフィックがバーストしても上位5%以内（約37.2時間）であれば課金対象にならない

トラフィックエンジニアリングの実際（１）

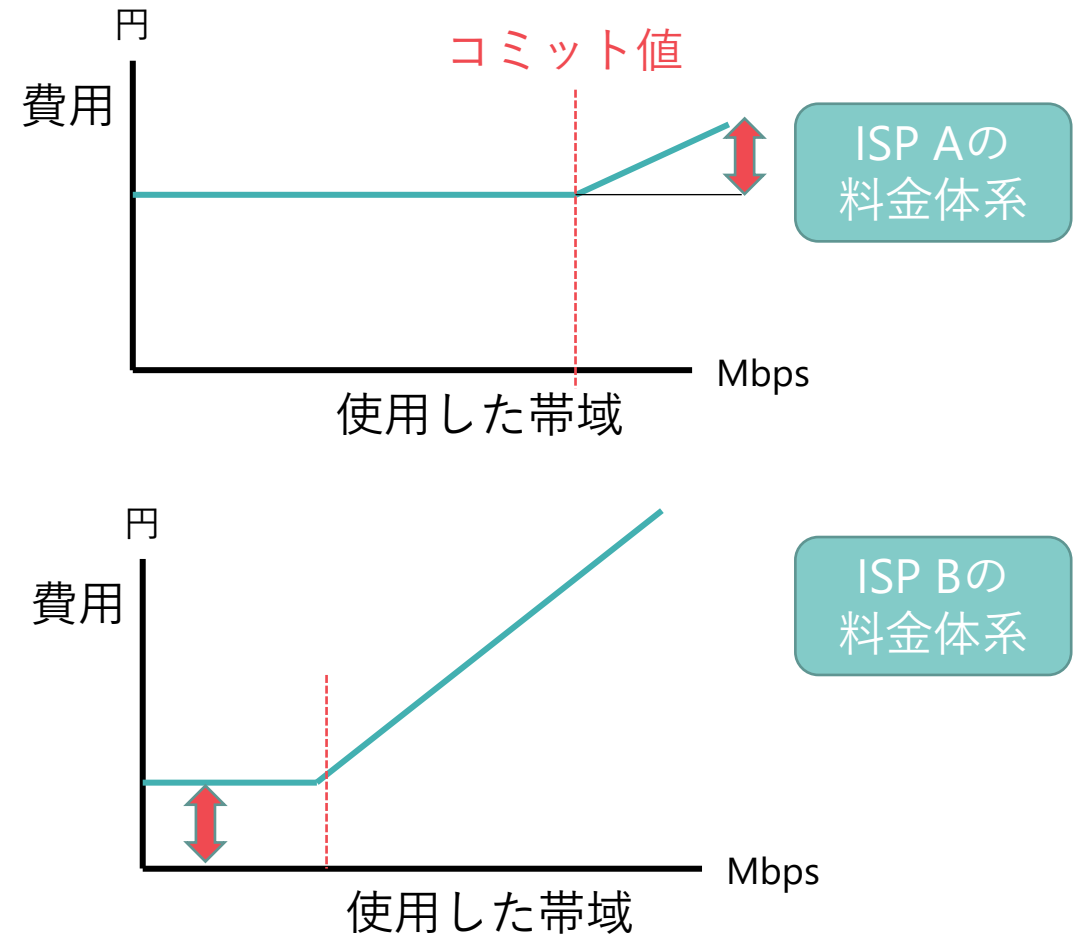
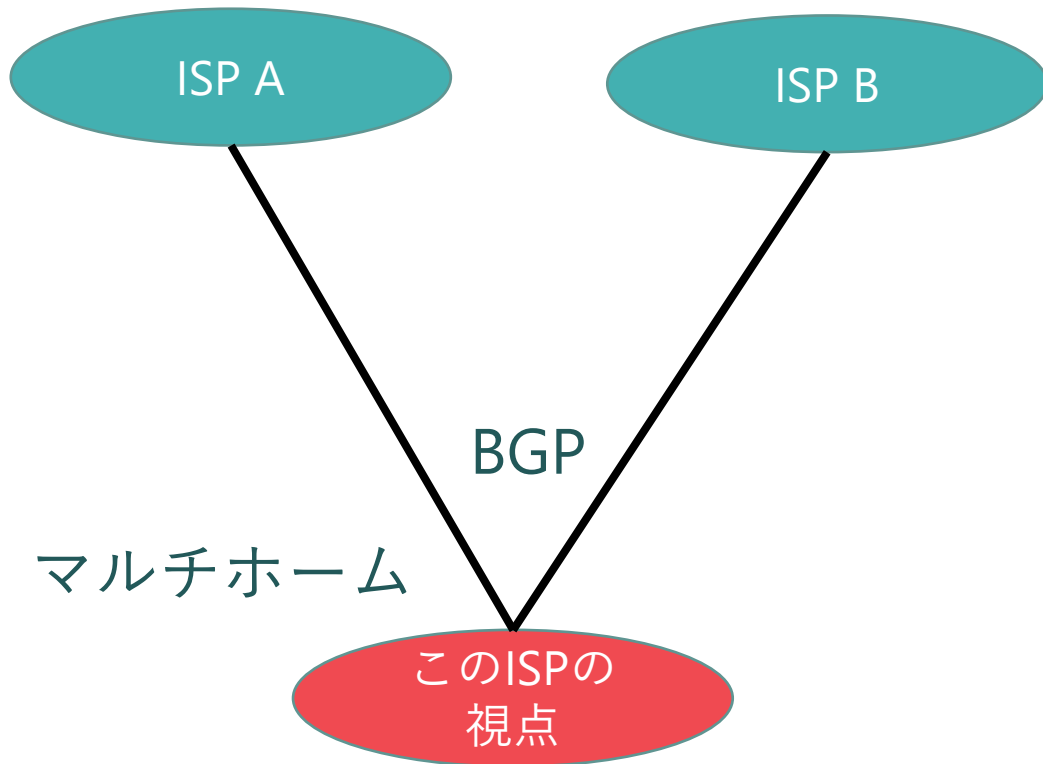
■ マルチホームした中小ISPの例



ISP-AとISP-Bの合算値がコストなので、トラフィックの割り振りが必要 → コスト最小となる組合せは？

トラフィックエンジニアリングの実際（２）

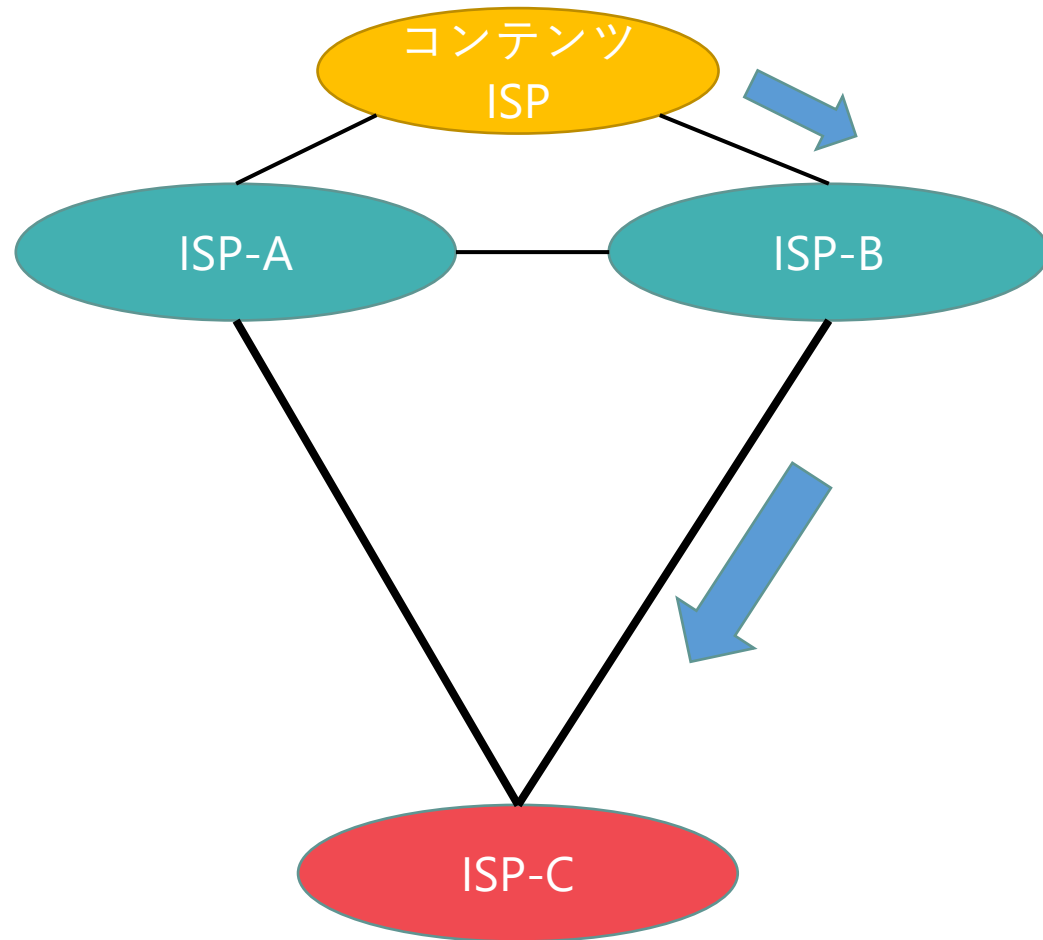
■ マルチホームした中小ISPの例



ISP-AとISP-Bの合算値がコストなので、トラフィックの割り振りが必要 → コスト最小となる組合せは？

例) AS Path Prepend でのトラフィックエンジニアリング (設定前)

■ AS Path Prependの場合

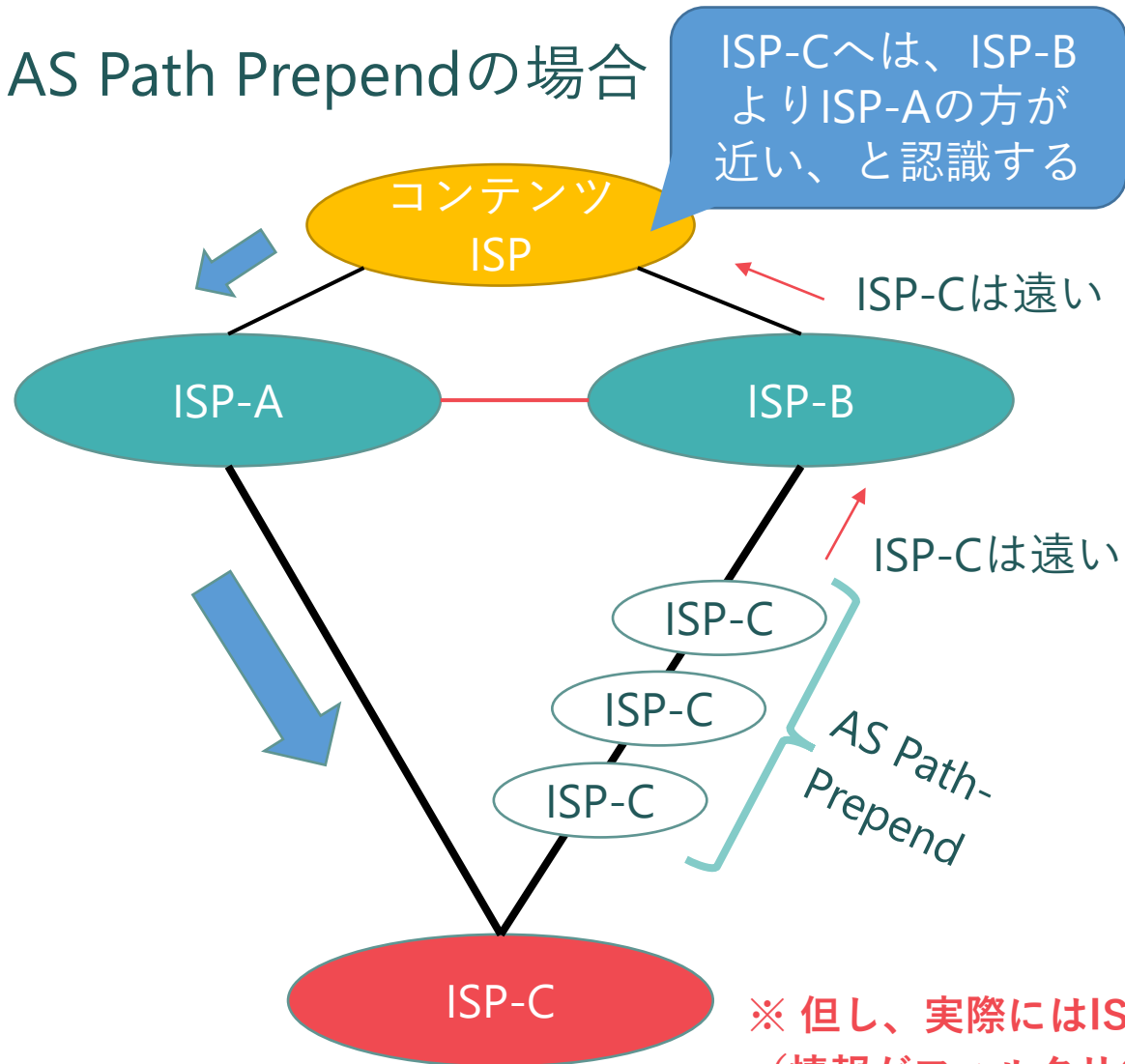


目的

コンテンツはISP-Bを使用して受信しているが、このトラフィックをISP-Aに迂回させたい

例) AS Path Prepend でのトラフィックエンジニアリング (設定後)

■ AS Path Prependの場合



目的

コンテンツはISP-Bを使用して受信しているが、このトラフィックをISP-Aに迂回させたい

手段

“AS Path Prepend”を使用して、コンテンツISPは、ISP-Cまでの経路が遠くなったと知り、相対的に、ISP-A回りの方が近いと判断させる。

コンテンツISPは、ISP-Aにトラフィックを渡す

ISP-Cは、ISP-Aからトラフィックを受け取る

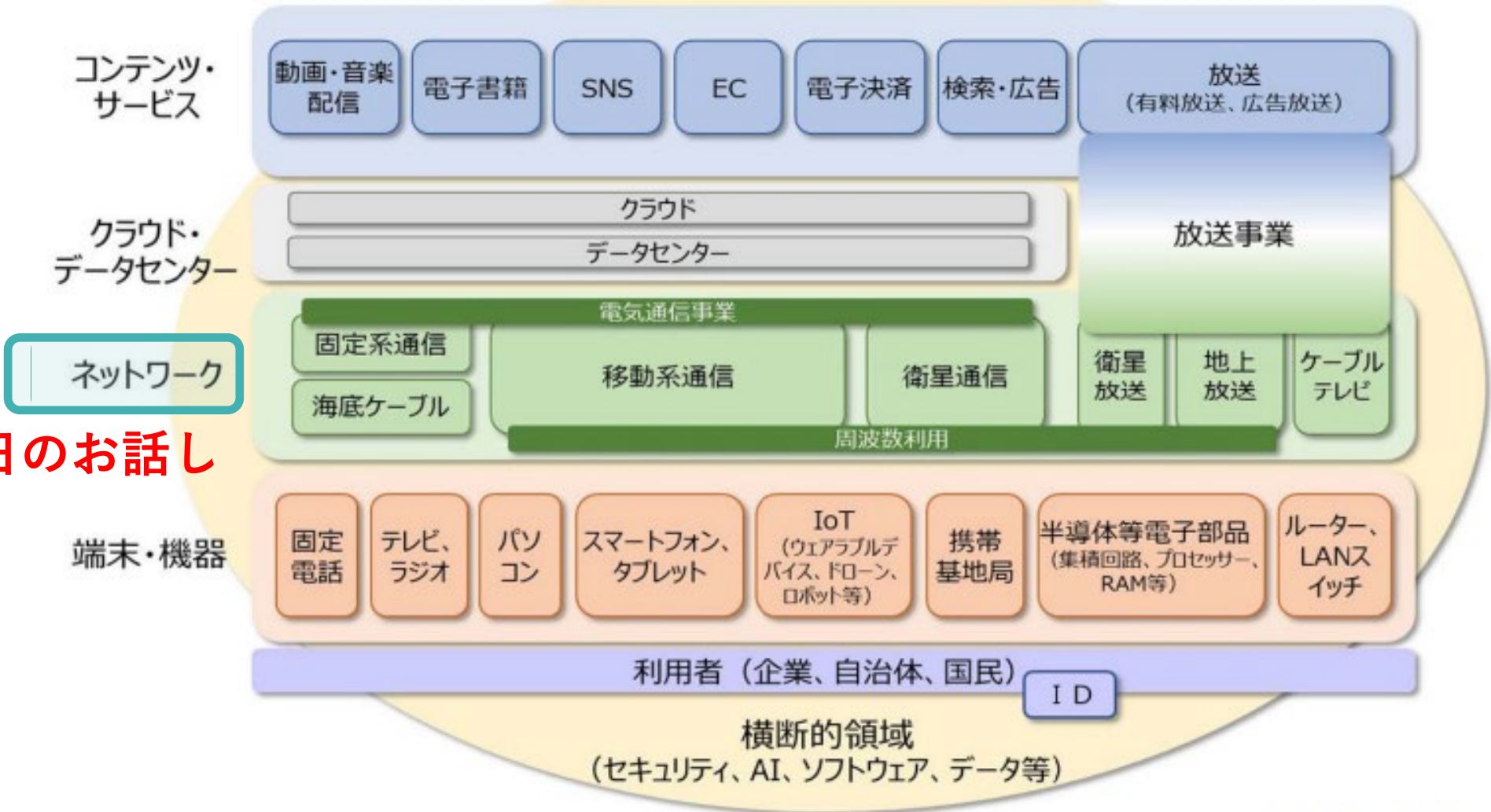
※ 但し、実際にはISP-B側の判断でこの設定が無効化されてしまうケース有り。
(情報がフィルタリングされ、コンテンツISPに伝わらない、など)

Chapter 4

これからの インターネット

これからのインターネット

今日のお話し



(出典) 総務省作成 令和3年 情報通信白書

おまけ traceroute (tracert) で経路を探れ

```
C:\Users\mypc>tracert www.youtube.com
```

youtube-ui.l.google.com [142.250.199.110] へのルートをトレースしています

1	<1 ms	4 ms	<1 ms	aterm.me [192.168.2.1]	
2	3 ms	7 ms	5 ms	nas816-1.p-tottori.nttpc.ne.jp [210.139.57.99]	<NTT-PC InfoSphere
3	22 ms	20 ms	18 ms	210.139.57.109	
4	16 ms	18 ms	16 ms	p252--502.osk-d-acr01.sphere.ad.jp [210.153.241.245]	
5	*	*	*	要求がタイムアウトしました。	
6	19 ms	20 ms	22 ms	210.173.184.56	<インターネットマルチフィード
7	22 ms	19 ms	19 ms	108.170.243.98	<Google LCC
8	28 ms	26 ms	25 ms	142.250.229.251	
9	23 ms	26 ms	22 ms	209.85.246.82	
10	23 ms	27 ms	23 ms	108.170.242.193	
11	25 ms	25 ms	25 ms	142.250.214.149	
12	22 ms	25 ms	22 ms	nrt13s52-in-f14.1e100.net [142.250.199.110]	

トレースを完了しました。

```
C:\Users\mypc>
```

最後に・・・ この世界に興味をもっていたら



The screenshot shows the homepage of the Japan Network Operators' Group (JANOG). The header includes the JANOG logo and the group's name in English and Japanese. A navigation bar contains links to HOME, General Information, Meetings, Mailing List, Archive, Resource, Sponsors, and English Page. The main content area is titled "General Information" and features a sidebar with links to JANOGについて, ワーキンググループ, JANOG Comments, 個人情報保護に関する取り組み, JANOG FAQ, and JANOG運営委員会. The main text area contains sections for "JANOGについて", "JANOGの会則", and "JANOGの歴史", each with a brief description and a link to a comment or history document. A large banner on the right side of the page advertises "JANOG52 in Nagasaki" on July 5-7, 2023, with a photo of colorful lanterns. The footer contains copyright information for 2008 and links to a Sitemap and Contact to JANOG.

JANOGについて

JANOGとはJapan Network Operators' Groupを意味し、インターネットに於ける技術的事項、および、それにまつわるオペレーションに関する事項を議論、検討、紹介することにより日本のインターネット技術者、および、利用者に貢献することを目的としたグループです。

JANOGのポリシーは、"JANOG Comment 1"として、以下のドキュメントにまっています。

[JANOG Comment 1](#)

JANOGの会則

JANOGの会則は、"JANOG Comment 2"として、以下のドキュメントを公開しています。

[JANOG Comment 2](#)

JANOGの歴史

JANOGのこれまでを、"wiki風JANOG史"として、以下のドキュメントを公開しています。

[JANOG History](#)

JANOG52は [株式会社イーサイド](#)、[長崎県立大学](#)、[株式会社長崎西興](#)のホストにより開催します。

Copyright 2008- Japan Network Operators' Group, All rights reserved. Sitemap Contact to JANOG

<https://www.janog.gr.jp/>

JANOGとはJ~~A~~pan Network Operators' Groupを意味し、インターネットに於ける技術的事項、および、それにまつわるオペレーションに関する事項を議論、検討、紹介することにより日本のインターネット技術者、および、利用者に貢献することを目的としたグループです。

参考

- JPNIC <https://www.nic.ad.jp/ja/>
- JPRS <https://jprs.co.jp/>
- ARIN whois <https://whois.arin.net/ui/>
- APNIC whois <https://wq.apnic.net/static/search.html>
- JPIX <https://www.jpix.ad.jp/>
- JPNAP <https://www.jpnap.net/>
- JANOG <https://www.janog.gr.jp/>
- IPv4アドレス枯渇対応タスクフォース
<https://kokatsu.jp/blog/ipv4/>
- 総務省情報通信関連施策
https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/index.html