

インターネットにおける異なる地域の Regional Tier-1 AS 同士の接続関係の分析

瓜本 拓也¹ 小谷 大祐¹ 岡部 寿男¹

概要: インターネットの AS は上位のものから Tier 1, Tier 2, Tier 3 と呼ばれる階層構造になっており, 同じ Tier に属する AS 同士は対等な関係 (ピアリングの関係) にあると考えられている. また Tier 2 の一部は特定の地域の経路情報を Tier 1 を経由することなく得られる Regional Tier 1 とも言われている. Regional Tier 1 の AS の規模やターゲットとしている顧客層は地域によって様々であり, それが 2ヶ国間の Regional Tier 1 とみなされる AS 同士が接続する際に関係に影響し, 必ずしも双方が対等な関係にない可能性がある. そこで, 本研究では Regional Tier 1 の対象とする地域を国単位であると仮定し, 2ヶ国間の Regional Tier 1 とみなされる AS 同士の接続関係を分析する. まず, 国単位の Regional Tier 1 を判別する手法を提案した. 次に, 所属 AS 数が多い 5ヶ国と日本の Regional Tier 1 同士の接続関係を確認し, Regional Tier 1 同士の接続にトランジットの関係になるものが一定数存在することを確認した. また, そのなかで多くの外国の Regional Tier 1 をカスタマに持つ AS や, 規模が小さい外国の AS に対してピアリングをし, それより大きな外国の AS をカスタマとしているものなどの事例を発見した.

Analysis of Inter-regional Relationship among Regional Tier-1 ASes in the Internet

TAKUYA URIMOTO¹ DAISUKE KOTANI¹ YASUO OKABE¹

1. はじめに

インターネットは AS(Autonomous System) と呼ばれる独立した方針で運用されているネットワークがそれぞれのネットワークのポリシーに従い相互接続することで成り立っている. そのため, インターネットでは AS 間の接続関係の全体像を把握することは困難である. しかし, それを知ることは, 新しいプロトコルやサービスの設計や評価やネットワークインフラの脆弱性診断に役立つ [1]. そのため, 今まで様々な研究が行われてきた.

各 AS は, 自身が直接接続している AS から受け取った経路情報を元に, どの AS にパケットを転送すればよいかを把握するとともに, 各 AS のルーティングポリシーに従って他の AS に経路情報を広告する.

各 AS のルーティングポリシーは AS 間によって異なる. 先行研究によると, AS 間関係は大きく分けて

3種類ある [1], [2].

- (1) トランジット (Transit, customer-to-provider, C2P 等): 相対的に大規模な AS(プロバイダ) と小規模な AS(カスタマ) の関係である. 一般的にカスタマがプロバイダからインターネット全体への接続性を購入するものである. 原則として, プロバイダはカスタマに自身の知っている全ての経路を広告し, カスタマは自身および自身のカスタマの経路のみを広告する.
- (2) ピアリング (Peering, peer-to-peer, P2P など): 規模がほぼ同じである AS 同士の関係である. 一般的に自身および自身のカスタマの経路情報のみを広告しあい, 他のピアリング相手や自身のプロバイダに関する経路情報は広告しない.
- (3) シブリング (Sibling): 同一機関が複数の AS を所持している場合の AS 同士の接続形態である. 一般的に互いに全ての経路情報を広告する.

2つの AS 間関係だけでなく, Tier と呼ばれるインターネット全体における各 AS の位置付けの概念も存在す

¹ 京都大学

る。一般的に Tier 1 と呼ばれる AS は、ピアリングとカスタマへの通信のみでインターネットのほぼ全ての経路情報を入手できる AS を指す。Tier 2 と呼ばれる AS は、Tier 1 から購入するトランジットでインターネット上のほぼ全ての経路情報を入手でき、かつ、Tier 1 以外の AS とピアリングできる AS である。そして、Tier 3 と呼ばれる AS は、Tier 1 あるいは Tier 2 から購入するトランジットでインターネット上のほぼ全ての経路情報を入手でき、かつ、Tier 1 あるいは Tier 2 以外の AS とピアリングできる AS である。また、Tier 2 のうち、特定の地域の経路情報はピアリングとカスタマへの通信のみでほぼ全て入手できる AS は、Regional Tier 1 と呼ばれている。

ところで、各 Regional Tier 1 の規模やターゲットとしている顧客層はそれぞれ異なっている。にも拘わらず、各 Regional Tier 1 は Tier 2 の一般的な定義にあるように、Tier 1 以外の AS とピアリングできる AS なのだろうか。もしそうであれば、他地域の Regional Tier 1 同士が直接接続する場合、その関係は必ずピアリングになるはずであるが、AS の規模の差等の要因でピアリングの関係にない可能性もある。そこで、本研究では Regional Tier 1 という地域は国単位であると仮定し、異なる国の Regional Tier 1 とみなされる AS 同士の接続が、ピアリングの関係になるのか、トランジットの関係になるのかを分析する。

各国の Regional Tier 1 を判定する方法は以下の通りである。まず、[6]に基づき、Tier 1 に属する AS をインターネット全体のグラフから除外する。続いて、Regional Internet Registries (RIR) のデータを用いて、各 AS の所属する国をラベル付けし、分析対象以外の国に所属する AS もグラフから除外する。残った AS のうち、以下の 3 つの条件を満たしたものを、その国の Regional Tier 1 であると判定する。

- (1) Tier 1 の AS が到達できる全ての AS に到達できる。
- (2) 国内に Tier 1 以外にプロバイダとなる AS がない。
- (3) Tier 1 以外に国内にピアリングやカスタマが少なくとも 1 つある。

各国の Regional Tier 1 を判定した後、2ヶ国の Regional Tier 1 と判定された AS の間の関係を調べる。

本研究では、CAIDA による 2019 年 1 月時点のデータセット [10] を用いて、所属 AS 数が多い 5 ヶ国 (アメリカ・ブラジル・ロシア・イギリス・ポーランド) と日本の 6 ヶ国の Regional Tier 1 同士の接続関係を確認した。その結果、Regional Tier 1 同士の接続にもトランジットの関係になるものが一定数存在すること、国によっては、2ヶ国の Regional Tier 1 の間にピアリングの関係しかないもあることなどを確認できた。また、そのなかで多くの外国の Regional Tier 1 をカスタマに持つ AS や、規模が小さい外国の AS に対してピアリングをし、それより大きな外国の AS をカスタマとしているものについての考察も行った。

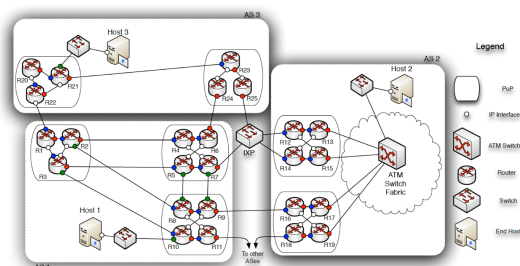


図 1 インターネットトポロジを求める研究の 4 つの段階 [1], p.3 の Figure 1 より転載

以下、第 2 章では関連研究を紹介し、第 3 章では、本研究で用いたデータセットについて述べる。第 4 章では国ごとの Regional Tier 1 を判別する手法について述べ、第 5 章では実際に 2ヶ国の Regional Tier 1 の間の関係性を確認する。第 6 章では、考察も行い、最後に第 7 章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

本章では、インターネットトポロジを求める先行研究について紹介する。

Reza らのサーベイ論文によると、インターネットトポロジを求める研究は、求める粒度により、図 1 のように 4 つの段階に分けることができる [1]。最も詳細なものから順に、(1) ルータのインターフェイスレベル (2) ルータレベル (3) ルータが存在する地域 (Point of Presence, PoP) レベル (4) AS レベルになる。

本研究は、AS レベルの接続関係に着目したものである。AS レベルの研究において、接続関係をグラフで表現する際は、AS がグラフのノード、AS 間の論理接続がグラフのエッジとなる [1]。また、単純化のため、IXP もノードとしてモデル化することもある。

AS レベルの研究では、単なる接続の有無だけではなく、AS 間の関係を推定する研究も重要である。AS 間の関係については、大きく分けると、相対的に大規模な AS (プロバイダ) と小規模な AS (カスタマ) の関係であるトランジット、規模がほぼ同じである AS 同士の関係であるピアリング、同一機関が複数の AS を所持している場合のシプリングの 3 つがある。

AS 間の関係を求める上で、valley-free property という性質がよく利用されている [1]。これは、1 つの経路において、1 度プロバイダからカスタマ、あるいはピアリング相手にパケットを転送したら、それ以降は基本的にプロバイダからカスタマへの通信かシプリング間の通信かのいずれかであるという考え方である。この考え方は、自身のプロバイダやピアリング相手の経路を自身の他のプロバイダやピアリング相手には広告しないという原則に基づいている。Gao は、valley-free property に加えて、プロバイダは

カスタマより一般的には規模が大きく、ASの規模はASの次数(接続しているASの数)に比例するという直感に基づくアルゴリズムで、ASの関係を求めた[3]。Battistaらは、valley-free propertyに反するルート数を最小限に抑えるようにASの関係のラベルをリンクに割り当てる問題を考え、そのアルゴリズムがNP困難であることを示し、近似アルゴリズムを提案した[4]。インターネットでは、誤設定による経路情報のリークなど、valley-free propertyの考え方に反した経路広告が行われることがある。Matthewらは、valley-free propertyの考え方を適用せず、ASレベルでAS間の関係のラベル付けをするアルゴリズムを提唱した[6]。アルゴリズムの詳細は3章で述べる。

ASの地理に関する研究も行われている。RastiらはP2PアプリケーションからエンドユーザのIPアドレスを取得し、それを元にエンドユーザと直接接続するASの地理的な広がりを見積もった[5]。

3. 使用したデータセット

本章では、本研究で用いたデータセットについて紹介する。

3.1 ASの関係性データセット

本研究で用いたデータセットは、Matthewらによるアルゴリズム[6]に基づいて作成されたものである。このアルゴリズムは、以下の3つを仮定している。

- (1) ASはグローバルな到達性を獲得するために、プロバイダと契約する。
- (2) ネットワークの最上位(Tier 1)には、互いにピアリングし合い、クリークとなっているASが存在する。
- (3) プロバイダからカスタマへのリンクを辿ったとき、同じASが2度登場することはない。(P2Cリンクによる輪は存在しない。)

なお、クリークとはグラフ理論において、元のグラフGに対して、Gのサブグラフのうち、完全グラフになるものを指す。一般的にピアリングの関係では互いに他のピアリング相手についての情報を広告しない。Tier 1のASはプロバイダを持たないため、お互いに通信するには、直接接続するしかないと考えられる。以上のことから、Tier 1のAS同士はお互いに相互接続し合い、完全グラフの形になっていると推測できる。そのため、クリークの検出がTier 1の判定に役立つと言えるだろう。このアルゴリズムにおいては、クリークの中でも、Transit degreeが高いASが多く集まっているものを、ネットワークの最上位(Tier 1)を構成するクリークとみなしている。なお、Transit degreeとは、あるASと接続しているASのうち、そのASによって通信が媒介されたASの数を示している。

また、このアルゴリズムで推測できるのはトランジットの関係とピアリングの関係のみである。そのため、シブリ

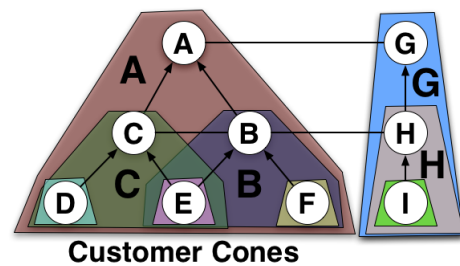


図2 Customer-Coneについて

<http://as-rank.caida.org/about#rank> より転載

ングの関係などは推測できない。

データセットは、Route Views Project [7], RIPE's Routing Information Service (RIS) [8], IANA's list of AS assignments [9]のデータを用いて作成されている。適合率はC2Pで99.6%, P2Pで98.7%, 再現率はC2Pで99.3%, P2Pは99.3%の精度でAS間の関係にラベルを付与することができるが示されている。

CAIDAにより上述のアルゴリズムで毎月データセットが生成され公開されている[10]。このデータセットには、各AS間の接続関係にラベル付けをしたデータと、ネットワークの最上位(Tier 1)を構成するクリークに含まれるASのリストが含まれている。

3.2 Customer Cone

Customer Coneとは自身のカスタマの経路のみを通過してたどり着くASの総数のことである。

図2のAのCustomer ConeはA, B, C, D, E, Fの6つであり、BはB, E, Fの3つ、DはD自身で1つである。CAIDAはこれをASのランク付けの際の評価基準に用いている。また、各ASのCustomer ConeとなるASの一覧は[10]のデータと一緒に公開されている。

3.3 RIRによるAS番号の割り当てデータ

RIR(Regional Internet Registry)は特定地域内のIPアドレスの割り当てを行う組織である。具体的には、北アメリカを担当するARIN, ヨーロッパ, 中東, 中央アジアを担当するRIPE NCC, アジア, 太平洋地域を担当するAPNIC, ラテンアメリカとカリブ海地域を担当するLACNIC, そしてアフリカを担当するAfriNICの5つに分かれている。RIRは各地域で割り当てたASのAS番号とそのASを割り当てた国などをまとめたデータを毎日公表している。

4. 提案手法

本章では、CAIDAによる各AS同士の関係に関するデータを元に、どのASが各国のRegional Tier 1であるかを推定する手法を提案する。

4.1 Tier 1 判定における仮定

本研究では 3.1 節で紹介した CAIDA が提供しているデータセット [10] を使用する。このデータセットではシブリングなどの関係を捉えることが出来ないため、その AS の属する Tier を正しく判定できないものが存在する。しかし、このデータセットは非常に高い精度を保っている。簡単のため、本研究では、このデータセットが正しいものであると仮定し、Tier を判定することにする。

Tier 1 に属する AS とは、ピアリングとカスタマへの通信のみでインターネットのほぼ全ての経路情報を入手できる AS のことであり、そのため一般的に Tier 1 同士は相互にピアリングしている。しかし、CAIDA が提供しているデータセットには、Tier 1 の一部のみとピアリングしており、プロバイダも持たない AS、すなわち、ピアリングしていない他の Tier 1 に到達できないと判定される AS が含まれている。このような AS の中には、本来は Tier 1 とのシブリングの関係にあり、Tier 1 と判定すべき AS が含まれる可能性がある。しかし、本研究では、それらの AS は入手できない経路情報が一定数あると判断し、Tier 1 の候補からは除外することとし、Tier 1 に属する AS は、ネットワークの最上位 (Tier 1) を構成するクリークに含まれる AS のみであると判断した

4.2 Regional Tier 1 の条件

Regional Tier 1 の定義は、特定の地域の経路情報はピアリングとカスタマへの通信のみでほぼ全て入手できる AS である。ただし、Tier 1 をプロバイダに持つ 2 つの AS はピアリングの関係を持たなくても、プロバイダを経由すればお互いに通信が可能となる。このような AS は、直接 2 つの AS 間を接続していないかもしれない。そのため、実際はプロバイダの経路を使ってその地域内の通信を網羅していたとしても、必要になれば、特定の地域の経路情報はピアリングとカスタマへの通信のみでほぼ全て入手できるだけの規模はある AS も存在していると言える。このような AS に関して、本研究では Regional Tier 1 と同等に扱う。

以上より、本研究では、Tier 1 から購入するトランジットでインターネット上のほぼ全ての経路情報を入手でき、かつ Tier 1 以外の国内の AS とピアリングできる AS を各国の Regional Tier 1 とすることにする。ここで、ほぼ全ての経路情報とは、Tier 1 の AS が到達できる AS。すなわち、全ての Tier 1 の Customer Cone の和集合とし、バックアップ用の AS など、自身の経路をほとんどの AS に広告していないものは除外する。

Tier 1 以外の国内の AS とピアリングできる AS の判断基準も明確なものはないが、国内に Tier 1 以外にプロバイダとなる AS がある場合、少なくともこの条件を満たすことはできない。そこで、国内に Tier 1 以外にプロバイダと

なる AS がないことをその国の Regional Tier 1 の条件の 1 つにした。

AS によっては、国内の他の AS と全く接続していないものがある。例えば、2019 年 1 月時点のデータでは、ブラジルの AS263414 にはカスタマやピアリングしている AS はなく、プロバイダはアメリカの AS20473 のみである。このような AS は、Tier 1 以外の国内の AS とピアリングできる AS とはいえないだろう。そこで、Tier 1 以外に国内にピアリングやカスタマがあることを、その国の Regional Tier 1 であることの条件の 1 つにした。

以上のことから、本研究では、以下の 3 つを満たす AS を Regional Tier 1 とする。

- (1) Tier 1 の AS が到達できる全ての AS に到達できる。
- (2) 国内に Tier 1 以外にプロバイダとなる AS がない。
- (3) Tier 1 以外に国内にピアリングやカスタマが少なくとも 1 つある。

4.3 Regional Tier 1 の判定アルゴリズム

まず、AS をノード、AS 間の接続をエッジとしたインターネット全体の有向グラフを作成する。なお、各エッジには、CAIDA のデータセットにあるラベルをつける。エッジが P2P の場合、枝は双方向にし、P2C や C2P の場合はプロバイダからカスタマに枝を張る。

次に、インターネット全体のグラフから、該当する国のサブグラフを抽出し、そこから Tier 1 の属する AS を削除する。次に 4.2 節で述べた 3 つの条件のうち、(2) と (3) を満たす AS を探す。具体的にはサブグラフの全てのエッジのラベルと接続先のノードを確認し、(2) と (3) を満たす AS のみを集める。それらの AS のうち、(1) の条件を満たすものを探す。

まず、Tier 1 に該当する AS をプロバイダに持てば、すなわち、全ての Tier 1 の Customer Cone の和集合に含まれていれば、全ての Tier 1 が到達し得る AS に到達可能であるといえる。もし、含まれていなければ、以下の方法で、到達可能か否かを判定する。

- (1) 求める AS が到達可能な AS を格納する集合 A を用意する。
- (2) その AS の Customer Cone を集合 A に格納する。
- (3) その AS の全てのピアリング相手の Customer Cone を集合 A に格納する。
- (4) その AS の全てのプロバイダの Customer Cone を集合 A に格納し、全てのプロバイダに対して (2)~(4) を繰り返す。これを、プロバイダがなくなるまで行う。
- (5) 集合 A と Tier 1 の Customer Cone の集合を比較し、集合 A が Tier 1 の Customer Cone の集合を含んでいれば、求める AS は Tier 1 が到達し得る全ての AS に到達可能であるといえる。そうでなければ、到達不能な AS があるといえる。

5. 評価と考察

本章では、CAIDA が公開している各 AS 同士の接続関係に関するデータを使用し、前章の国の AS に対して先述の方法で Regional Tier 1 を決定し、Regional Tier 1 と判定された AS 同士の接続関係を確認し、考察する。

5.1 使用したデータと比較した国

本研究で使用したデータは、CAIDA の Web サイトで配布されているもののうち、2019 年 1 月のものを用いた。これは 2019 年 1 月 1 日～5 日の経路情報を元にして作成されたものである。この時、クリークであった AS は 19 個であり、AS3356, AS1299, AS174, AS2914, AS3257, AS6762, AS6453, AS3491, AS6461, AS12956, AS209, AS3320, AS7018, AS701, AS5511, AS2828, AS1239, AS286, AS6830 である。また、本研究で比較した国は、所属 AS 番号が多い上位 5 カ国 (アメリカ, ブラジル, ロシア, イギリス, ポーランド) と日本の計 6 ケ国である。これらのデータに関する基礎的な統計を表 1, 表 2 にまとめる。

表 1 各国の AS に関する基本データ

国名	国内の AS の総数	Tier 1 の数	Regional Tier 1 の数	Regional Tier 1 の割合
アメリカ	26751	11	631	2.36%
ブラジル	6319	0	88	1.39%
ロシア	6220	0	27	0.43%
イギリス	2606	0	246	9.44%
ポーランド	2516	0	27	1.07%
日本	1103	0	16	1.45%

5.2 結果

各国の Regional Tier 1 同士の接続関係は表 3 の通りである。

アメリカ・ブラジル間の接続数は 251 個あり、そのうち 55 個でアメリカ側がプロバイダとなっている。その全てでプロバイダは AS3549 である。また、アメリカ側がカスタマとなっているものは 4 個であり、プロバイダは AS16735, AS4230, AS10429, カスタマは AS2688, AS4913, AS11179 である。

一方で、アメリカ・ロシア間は、80 個全ての接続がピアリングと判定されている。

アメリカ・イギリス間の接続数は 638 個あり、そのうちアメリカ側がプロバイダとなっているのは 19 個である。アメリカ・ブラジル間とは異なり、プロバイダとなっているアメリカの AS は AS3549 の他に、AS702, AS7922, AS8757, AS19324 がある。一方で、アメリカ側がカスタマとなっ

ているのは 16 個で、カスタマとなっているアメリカの AS は様々である。イギリス側も様々な AS がプロバイダやカスタマになっており、アメリカ・ブラジル間とは違い、様々な AS が対等でない接続をしていることがわかった。

アメリカ・ポーランド間の接続は 7 個あり、そのうち 6 個がピアリングである。アメリカの AS14061 と AS14907 が、それぞれポーランド AS20804 と AS29314 と AS196844 に対してピアリングしている。残りの 1 つはアメリカの AS20473 がポーランドの AS34209 のプロバイダとなっている。

アメリカ・日本間の接続は 94 個あり、そのうち 85 個がピアリング、1 個がアメリカがプロバイダのトランジット、残りの 8 個が日本がプロバイダのトランジットである。プロバイダとなるアメリカの AS は AS703 であり、カスタマとなる日本の AS は AS9466 である。一方で、カスタマとなるアメリカの AS はバラバラであり、プロバイダとなる日本の AS は AS2497 と AS2516 と AS10026 である。

イギリス・ポーランド間の接続は 53 個あり、そのうち 52 個がピアリング、残りの 1 個がイギリスの AS8928 がポーランドの AS31242 のプロバイダとなっている。

イギリス・日本間の接続は 182 個あり、そのうち 178 個がピアリング、1 個がイギリスがプロバイダのトランジット、残りの 2 個が日本がプロバイダのトランジットである。日本がプロバイダとなる場合は AS2497 が AS61215 のプロバイダで AS2516 が AS6894 のプロバイダである。イギリスがプロバイダとなる場合は AS15412 が AS37906 のプロバイダである。

残りの AS 間では P2P の関係しか見られなかった。

5.3 考察

5.3.1 アメリカの AS3549 について

アメリカの AS3549 は、ブラジルの 55 個の Regional Tier 1 をカスタマとしており、イギリスとの接続においても、アメリカの AS がプロバイダとなる 16 個のうち、8 個は AS3549 がプロバイダとなっている。こういったことから、明らかに他の AS よりも規模が大きいのではないかと考えた。

表 4 に AS3549 を含むアメリカの Regional Tier 1 の規模を示す。他の Regional Tier 1 と比べると、インターネット全体での Customer Cone は国内で 1 位であり、2 位の AS7922 に対して倍以上の差をつけている。一方でアメリカ国内の Customer Cone では、AS7922 と順位が逆転している。表の他の AS 全体と比べると、直接接続している AS がある国数の多さから、積極的に外国の AS との接続に力を入れている AS であることが分かる。

表 5 に示した Tier 1 と推測された AS と比較すると、AS3549 の規模は Tier 1 に含まれる AS の中位層とほぼ変わらないことが分かる。

表 2 各国の AS 間の関係

自国\相手		US	BR	RU	GB	PL	JP
1. アメリカ AS 数 : 26751 個	P2P	14998	-				
	P2C	32706	-				
	C2P	32706	-				
2. ブラジル AS 数 : 6319 個	P2P	2762	48092	-			
	P2C	105	9413	-			
	C2P	622	9413	-			
3. ロシア AS 数 : 6220 個	P2P	1487	351	6024	-		
	P2C	40	1	9019	-		
	C2P	103	1	9019	-		
4. イギリス AS 数 : 2606 個	P2P	2929	220	1767	6954	-	
	P2C	373	3	8	1413	-	
	C2P	1526	3	24	1413	-	
5. ポーランド AS 数 : 2516 個	P2P	592	39	261	191	160	-
	P2C	17	0	1	3	3346	-
	C2P	156	1	3	13	3346	-
6. 日本 AS 数 : 1103 個	P2P	486	12	89	472	9	230
	P2C	107	0	0	12	0	1079
	C2P	177	0	1	5	0	1079
合計 AS 数 : 45515 個	P2P	23254	52286	9979	12533	1252	1298
	P2C	35290	9523	9088	1815	3367	1198
	C2P	33348	10039	9132	2981	3519	1262

表 3 各国の Regional Tier 1 同士の接続関係

自国\相手		US	BR	RU	GB	PL	JP
1. アメリカ AS 数 : 631 個	P2P	1082	-				
	P2C	0	-				
	C2P	0	-				
2. ブラジル AS 数 : 88 個	P2P	192	826	-			
	P2C	4	0	-			
	C2P	55	0	-			
3. ロシア AS 数 : 27 個	P2P	80	4	22	-		
	P2C	0	0	0	-		
	C2P	0	0	0	-		
4. イギリス AS 数 : 246 個	P2P	603	30	255	3914	-	
	P2C	19	0	0	0	-	
	C2P	16	0	0	0	-	
5. ポーランド AS 数 : 27 個	P2P	6	0	19	52	20	-
	P2C	1	0	0	0	0	-
	C2P	0	0	0	1	0	-
6. 日本 AS 数 : 16 個	P2P	85	3	11	179	3	36
	P2C	8	0	0	2	0	0
	C2P	1	0	0	1	0	0
合計 AS 数 : 1035 個	P2P	2048	1055	391	5033	100	317
	P2C	72	4	0	21	1	10
	C2P	32	55	0	18	1	2

また、AS3549 は、2014 年の時点で、データがある 4 月と 6~12 月のうち 8 月以外の 7 ヶ月では clique に含まれており、元々 Tier 1 として機能していたと推測できる。

AS3549 のプロバイダは、AS3356(clique のなかで、Customer Cone が最大の AS) と AS4657(シンガポールの AS

だが、Regional Tier 1 ですらない) の 2 個の AS であると推測されている。ARIN の whois ^{*1}によると、そのうち AS3356 と AS3549 の管理者は共に Level 3 Parent, LLC という企業である。このことから、AS3549 は AS3356 とシブリングの関係であるとも推測できる。

5.3.2 アメリカ・ブラジル間の接続と Customer Cone

表 6 はアメリカの AS3549 と接続しているブラジルの AS をインターネット全体における Customer Cone の順に並べ、それぞれ AS3549 との接続関係も入れたものである。

Customer Cone は AS の規模を表す指標の 1 つである。そのため、基本的には Customer Cone が大きな AS ほど規模が大きい AS、すなわち他の AS とピアリングの関係になりやすい AS であると言えるだろう。しかし、AS3549 とブラジル間の接続関係を見てみると、インターネット全体とブラジル国内の両方で Customer Cone が最大の AS である AS16375 は AS3549 のカスタマであるのに対し、AS10429 や AS4230、AS1916 はピアリングの関係にある。特に AS1916 に関しては Customer Cone が AS16375 の 10 分の 1 以下である。このような接続関係になっている可能性として 2 つ考えられる。1 つは単なる判定ミスである。もう 1 つは歴史的経緯である。AS3549 とピアリングしている 3 つの AS の AS 番号は他の AS よりも小さい。AS 番号は一般的に小さい番号ほど古い時期に提供されているものである。そのため、AS 番号が小さな 3 つの AS は過去には AS3549 とピアリングの関係にあり、そのまま今も

*1 <https://www.arin.net>

表 4 アメリカの Regional Tier 1 の国内や国外への規模

AS 番号	全体の Customer Cone	国内の Customer Cone	カスタマになる他の国の Regional Tier 1 の AS 数	カスタマになる Regional Tier 1 の AS がある国数	直接接続している AS がある国数
AS3549	6607	1483	99	23	53
AS7922	2517	2247	2	1	18
AS7843	883	864	0	0	12
AS62663	853	4	0	0	10
AS11537	804	670	4	4	22
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 5 Tier 1 の国内や国外への規模

AS 番号	国	全体の Customer Cone	国内の Customer Cone	カスタマになる他の国の Regional Tier 1 の AS 数	カスタマになる Regional Tier 1 の AS がある国数	直接接続している AS がある国数
AS3356	US	33339	8410	552	91	114
AS1299	EU	28760	95	465	94	114
AS174	US	25095	6453	704	116	153
AS2914	US	23720	3640	372	68	94
AS3257	DE	22911	497	320	54	85
AS6762	IT	15631	575	152	68	96
AS6453	US	14893	2754	204	81	111
AS3491	US	9193	458	86	35	77
AS6461	US	7557	3805	85	15	58
AS12956	ES	4648	136	47	27	72
AS209	US	4463	3245	38	8	34
AS3320	DE	3445	768	102	23	42
AS7018	US	3110	2832	17	5	27
AS701	US	3053	1732	30	13	31
AS5511	FR	2509	459	59	36	63
AS2828	US	2283	1516	19	2	29
AS1239	US	2020	365	27	21	43
AS286	NL	1906	332	49	10	46
AS6830	AT	1906	118	39	12	34

表 6 ブラジルの AS と AS3549 の接続関係

AS 番号	全体の Customer Cone	国内の Customer Cone	AS3549 との接続関係
AS16735	1857	1777	C2P
AS10429	1515	1472	P2P
AS4230	521	506	P2P
AS28329	376	375	C2P
AS25933	324	321	C2P
AS52873	124	124	C2P
AS53013	110	109	C2P
AS1916	73	71	P2P
AS53181	51	51	C2P
⋮	⋮	⋮	⋮

アリングの関係を続けている可能性がある。

5.3.3 AS4713(OCN) について

表 7 は日本の AS を Customer Cone 順に並べたものである。

表 7 日本の AS を Customer Cone 順に並べたもの

AS 番号	Regional Tier 1	組織名	全体の Customer Cone	国内の Customer Cone
AS2516	○	KDDI	571	344
AS2497	○	IIJ	421	358
AS17676	○	Softbank BB	288	246
AS4713	×	OCN	175	146
AS10026	○	Pacnet Global	144	111
AS2907	×	SINET	96	82
AS23815	×	JPIX	92	75
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

このなかで、AS4713(OCN) については、Tier 1 である AS2914 を所有する NTT が運営しており、日本では一般的に Tier 2 と言われている AS である。本研究で使用したデータセットでも、全体の Customer Cone が日本で 2 番目に多い AS2497(IIJ) と 3 番目に多い AS17676(Softbank) と

はピアリングの関係にあると推定されている。しかし、全体の Customer Cone が日本で 1 番目に多い AS2516(KDDI) のカスタマであると判定されており、Tier 2 と判断されなかった。本当に OCN が KDDI のカスタマである可能性も否定できないが、Matthew らのアルゴリズムが本来ピアリングの関係であるものを誤ってトランジットの関係と判断した可能性がある。

6. おわりに

本研究では、各国で Regional Tier 1 とみなされている AS は Tier 2 の一般的な定義にあるように、他国の Tier 1 以外の AS とピアリングできる AS であるかどうかを調査した。そのために、まず各国の Regional Tier 1 を判別する基準を示した。具体的には、Tier 1 の AS が到達できる全ての AS に到達でき、国内に Tier 1 以外にプロバイダとなる AS がなく、Tier 1 以外に国内にピアリングやカスタマが少なくとも 1 つあるものを Regional Tier 1 とした。

そして、実際に異なる国の Regional Tier 1 同士が具体的にどのような接続関係にあるのかを確認した。その結果、大部分はピアリングの関係になっているが、トランジットの関係になっている AS も一定数確認できた。また、現在のネットワークでは Regional Tier 1 と判断されているが、かつては Tier 1 と判定されていた AS も存在し、そのような AS には他国との接続関係が他の Regional Tier 1 よりも Tier 1 に近いものがあることを確認した。そして、Regional Tier 1 の AS 間の接続の基準には、AS 番号 (AS の古さ) など関わっている可能性を示した。最後に一般的な意見に反した判別結果となった AS が存在することを提示し、データの不完全さについても言及した。

本研究の今後の課題として、調査する国を増やすこと、2019 年 1 月以外の関係についても求めることがあげられる。それにより興味深い関係や関係の時間による変化を見ることができ的可能性がある。また、データの不完全性についても、データを増やすなどして、より精度を上げることが望まれる。本研究では Regional Tier 1 を国単位で決定したが、Regional Tier 1 の AS がカバーしている範囲は国単位とは限らない。そこで、グラフのコミュニティ分析などを用いて、インターネットをいくつかのクラスタに分け、クラスタ間の接続関係を求めることがあげられる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP17K12671 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Reza Motamedi, Reza Rejaie, and Walter Willinger. : A Survey of Techniques for Internet Topology Discovery. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 2, pp. 1044-1065. 2015.
- [2] 浅井 大史, 江崎 浩. : 固有値解析を用いた AS 間接続関係の数値評価手法の提案. 情報処理学会研究報告インター

- ネットと運用技術 (IOT) , Vol. 2009, No. 21, pp. 271 - 275. 2009.
- [3] L. Gao. : On inferring autonomous system relationships in the Internet. *IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN)*, vol. 9, no. 6, pp. 733-745. 2001.
 - [4] G. Di Battista, M. Patrignani, and M. Pizzonia. : Computing the types of the relationships between autonomous systems. *Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications*. vol. 1. IEEE, 2003, pp. 156-165.
 - [5] A. H. Rasti, N. Magharei, R. Rejaie, and W. Willinger. : Eyeball ASes: from geography to connectivity. *Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*. ACM, 2010, pp. 192-198.
 - [6] Matthew Luckie, Bradley Huffaker, Amogh Dhamdhere, Vasileios Giotsas, kc claffy. : AS relationships, customer cones, and validation. *Proceedings of the 2013 Internet measurement conference*, pp. 243-256. 2013.
 - [7] U. Oregon Route Views Project. <http://www.routeviews.org/>.
 - [8] RIPE (RIS). <http://www.ripe.net/ris/>.
 - [9] Autonomous System (AS) Numbers. <http://www.iana.org/assignments/as-numbers/as-numbers.xml>.
 - [10] CAIDA AS Relationships. <http://www.caida.org/data/as-relationships/>