RPKIの技術課題と信頼構造

一般社団法人日本ネットワークインフォメーションセンター
木村泰司

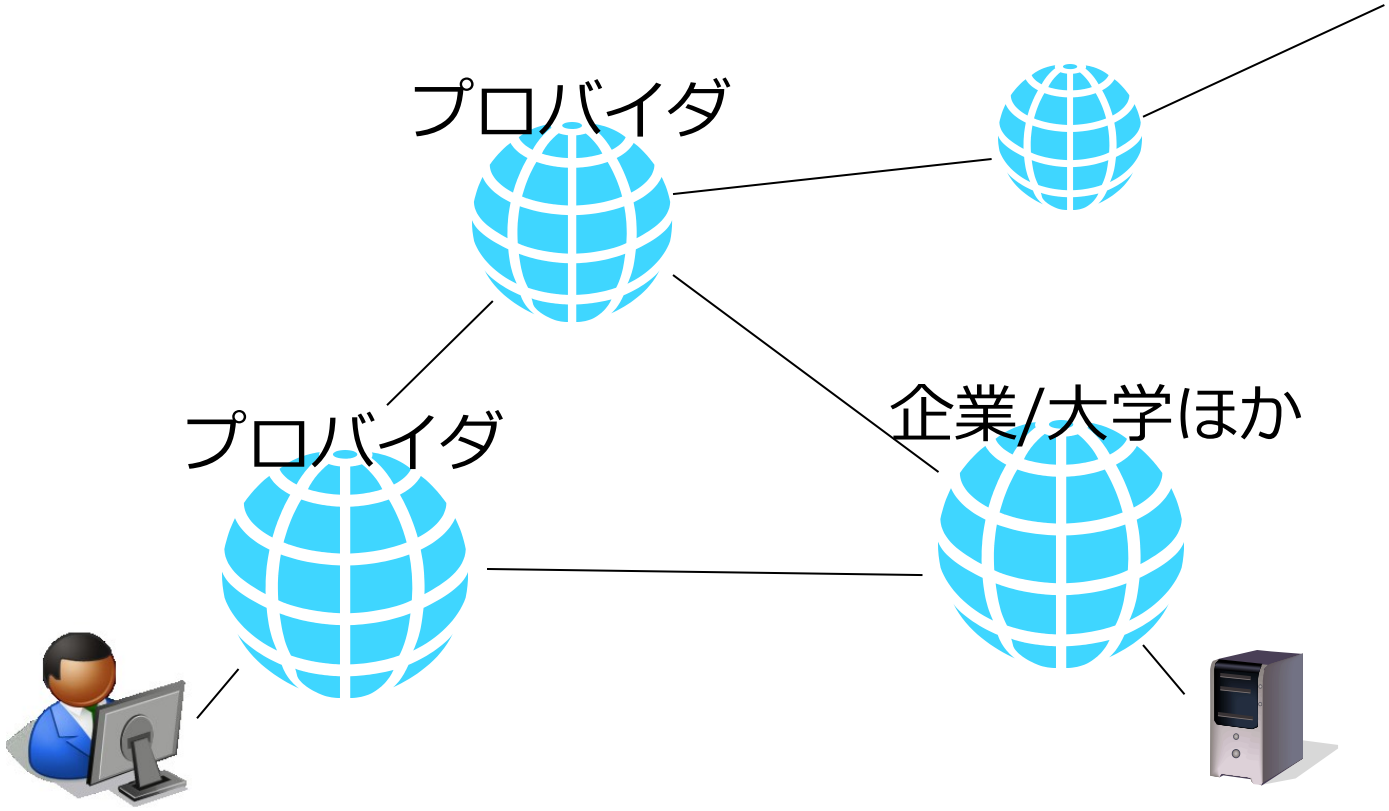
内容

- インターネットとAS
- AS間ルーティングにおけるインシデント
- IPアドレス管理とRPKI
- Origin Validationの仕組みと現状
- 技術課題
- 信頼構造

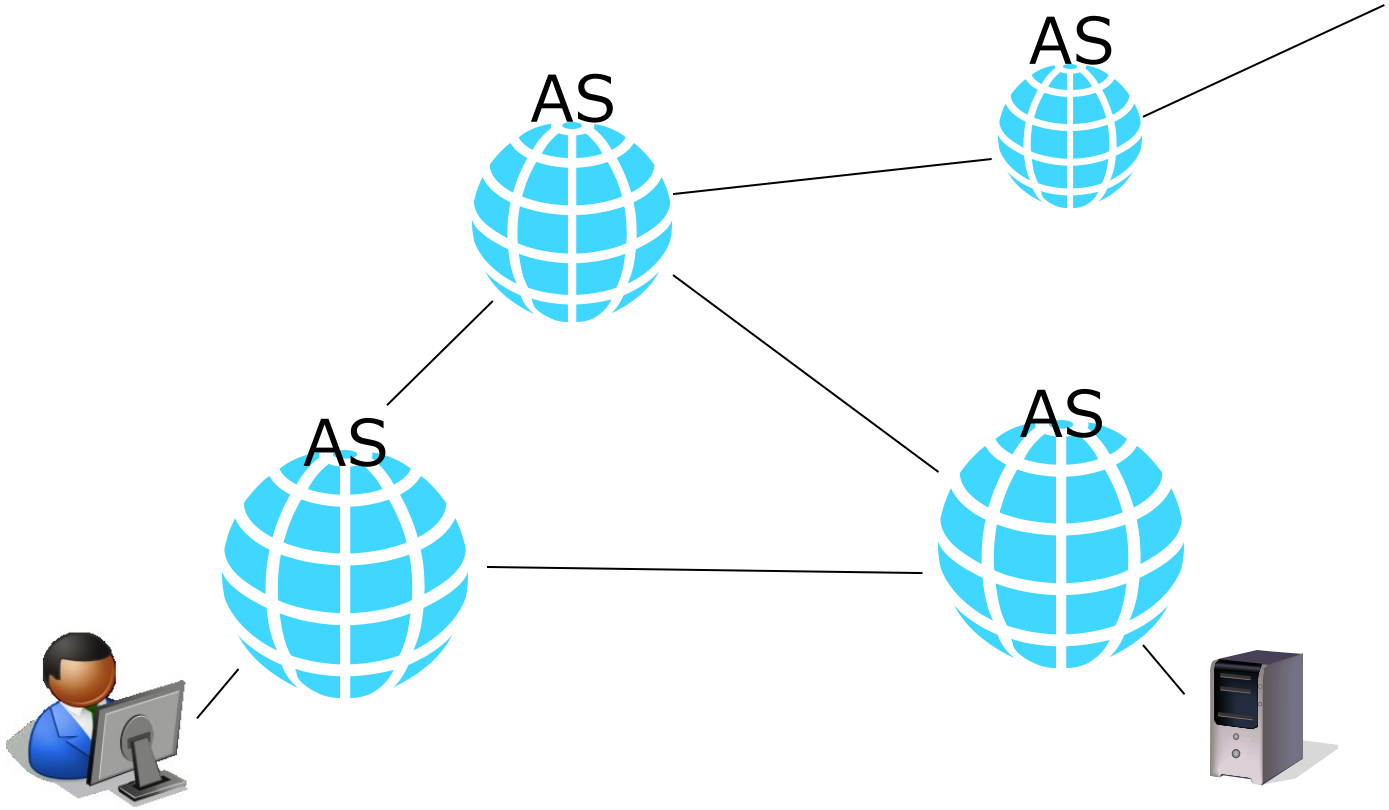
インターネットとAS

インターネットの姿（１）

インターネットの姿（２）

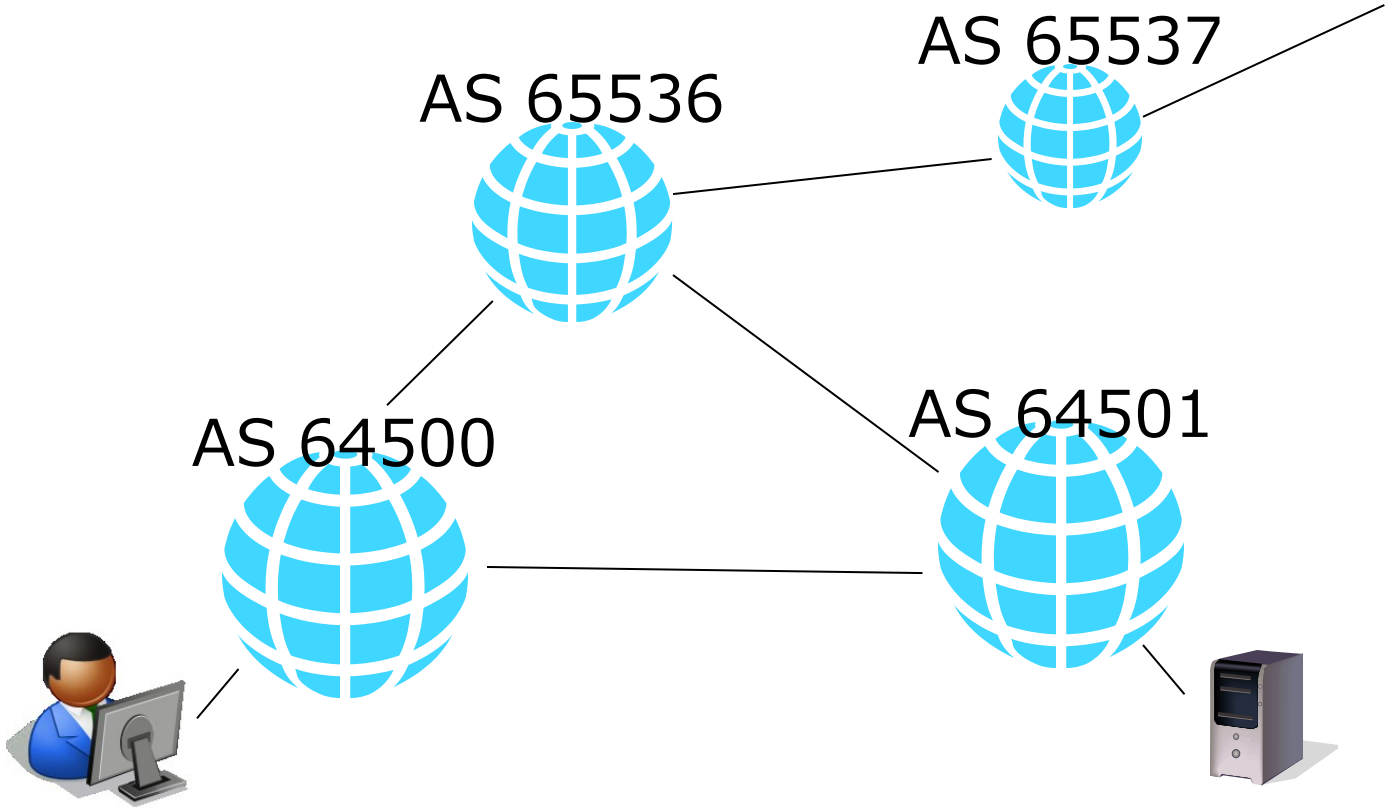


AS(Autonomous System) – 自律システム



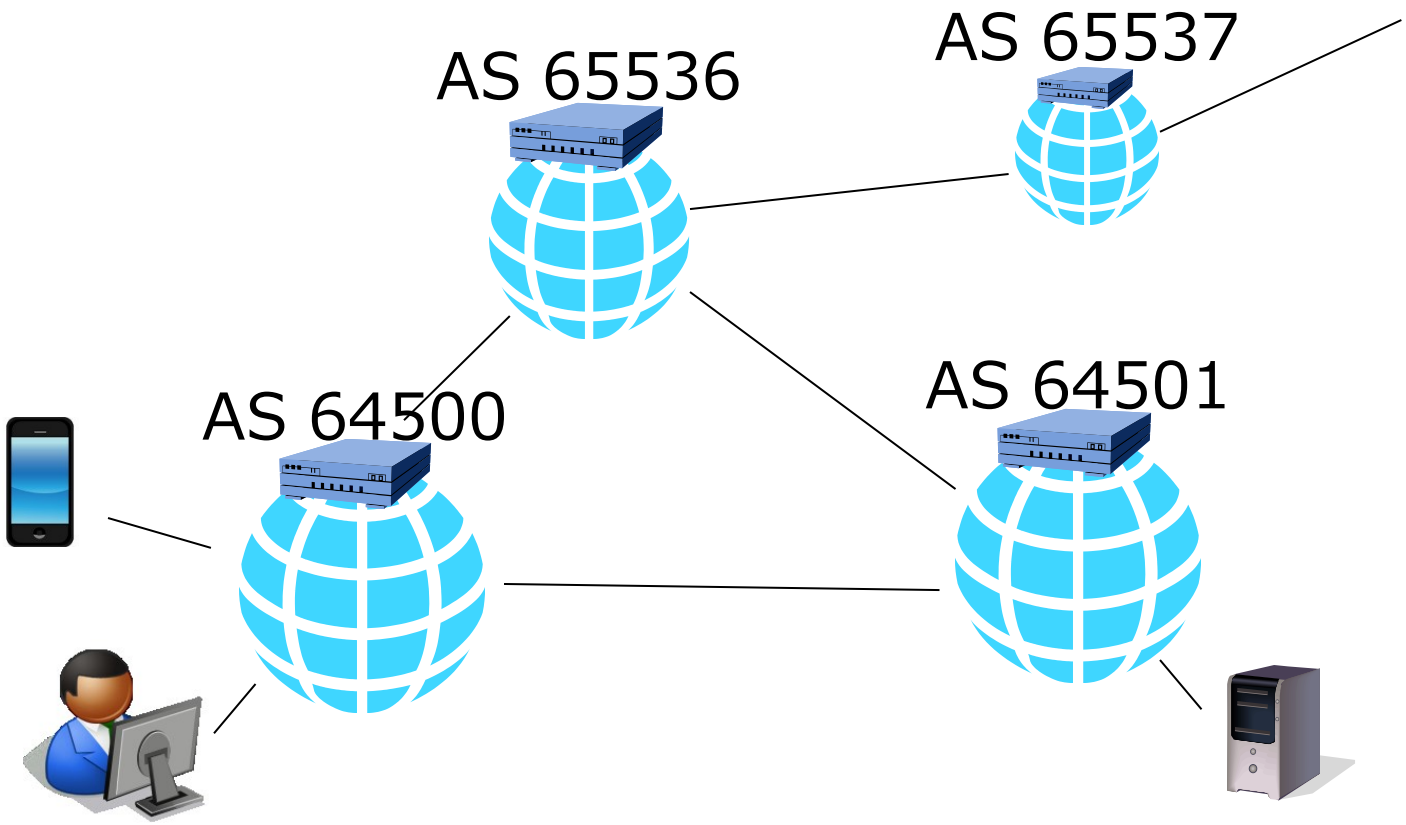
インターネットは、自律的なネットワークである「AS」のつながりによって構成されている。

AS番号



ASを識別する番号の「AS番号」は、JPNICのような「レジストリ」によって割り当てられる。

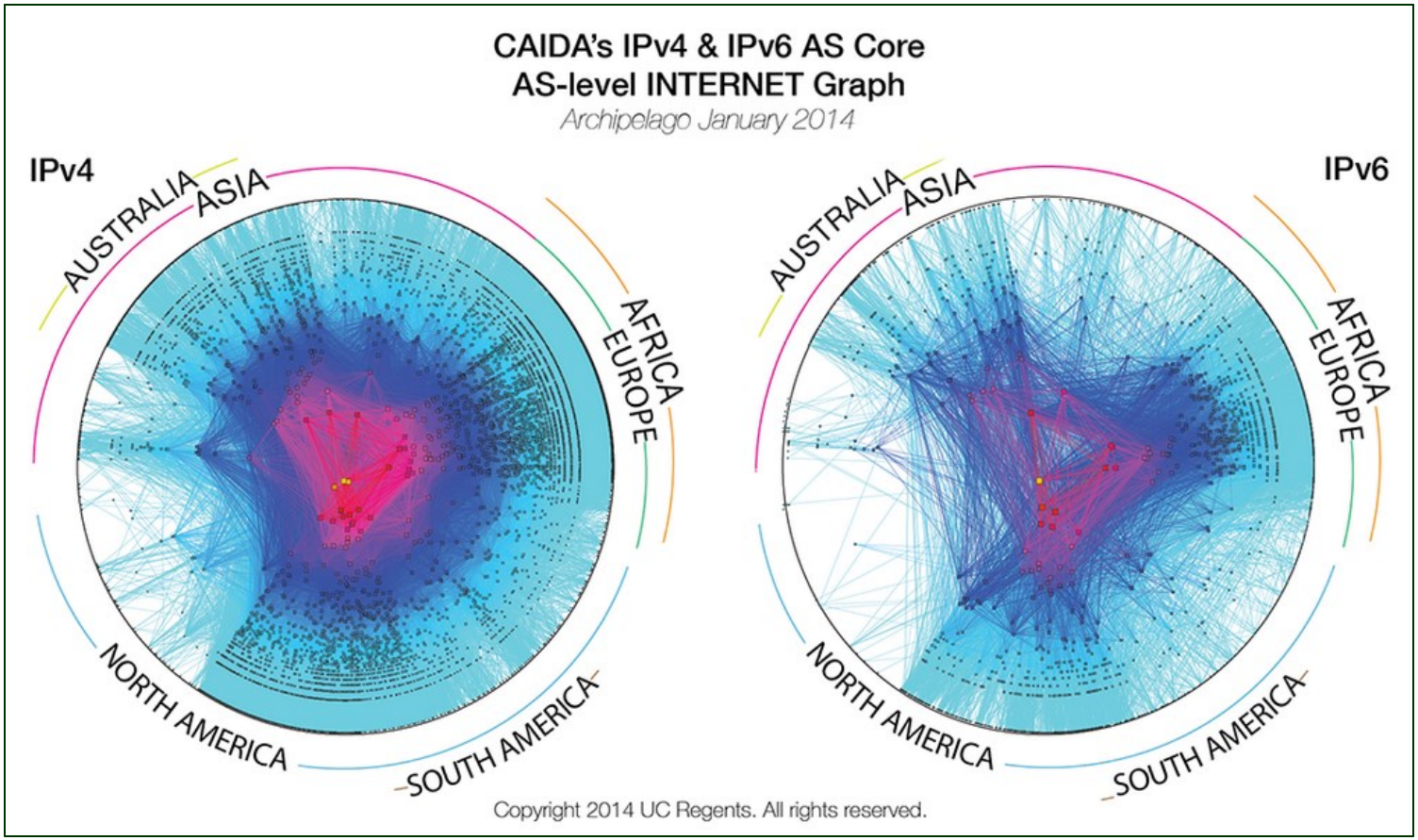
AS間ルーティングとBGP



ASで収容されているIPアドレスは「経路情報」と呼ばれ「BGP」を使って伝播される。

インターネットとASのつながり

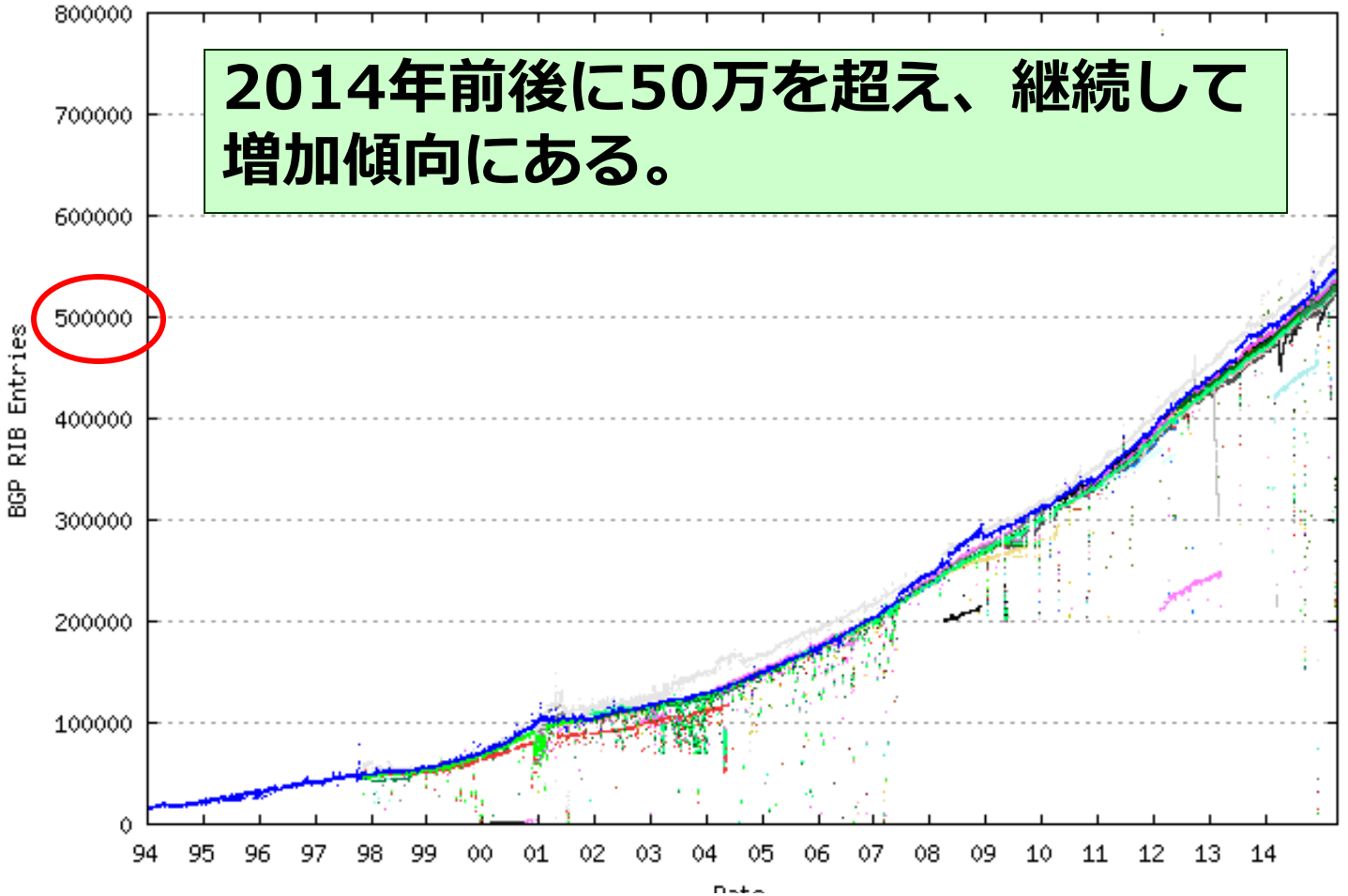
IPv4 and IPv6 AS Core: Visualizing IPv4 and IPv6 Internet Topology at a Macroscopic Scale in 2014
http://www.caida.org/research/topology/as_core_network/2014/



現在のAS番号割り当て数 79,870

The 32-bit AS Number Report
http://www.potaroo.net/tools/asn32/

BGPにおける経路情報の数



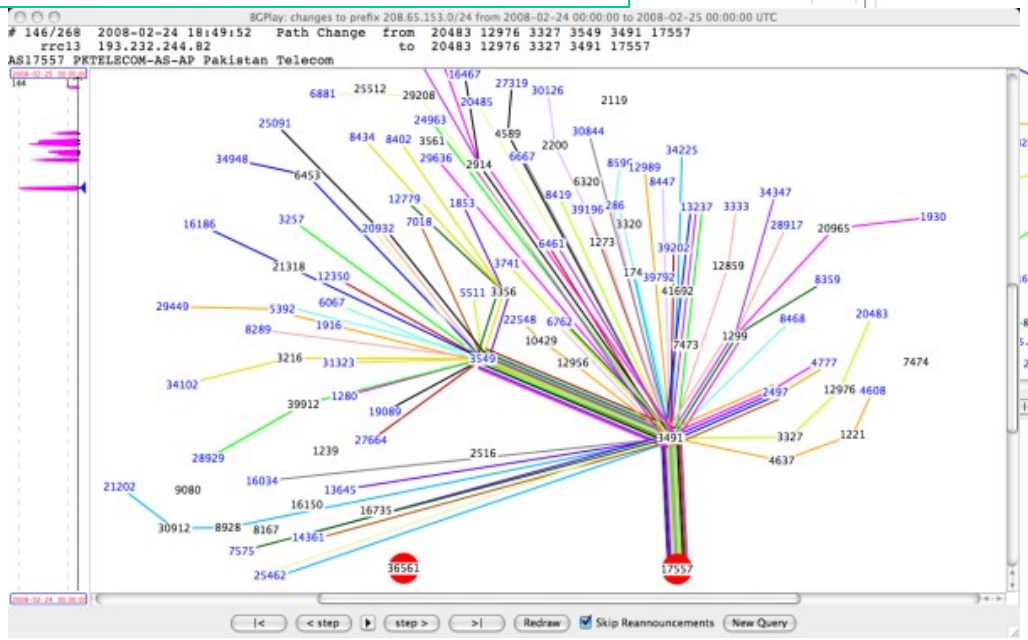
BGP Statistics from Route-Views Data, 2 April, 2015
http://bgp.potaroo.net/bgprpts/rva-index.html

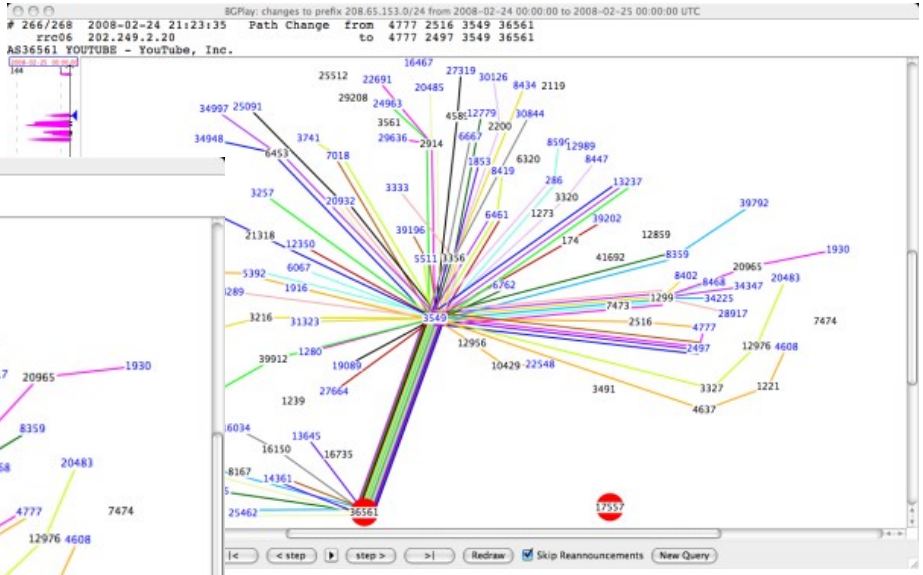
AS間ルーティングにおけるインシデント

一般社団法人 日本ネットワークインフォメーションセンター

2008年のYouTubeインシデント

インシデント発生時





平常時

YouTube Hijacking: A RIPE NCC RIS case study, 17 Mar 2008, RIPE NCC,
http://www.ripe.net/internet-coordination/news/industry-developments/youtube-hijacking-a-ripe-ncc-ris-case-study

YouTubeの経路情報が別のASによって広告され、約2時間半の間、アクセスできなくなった。

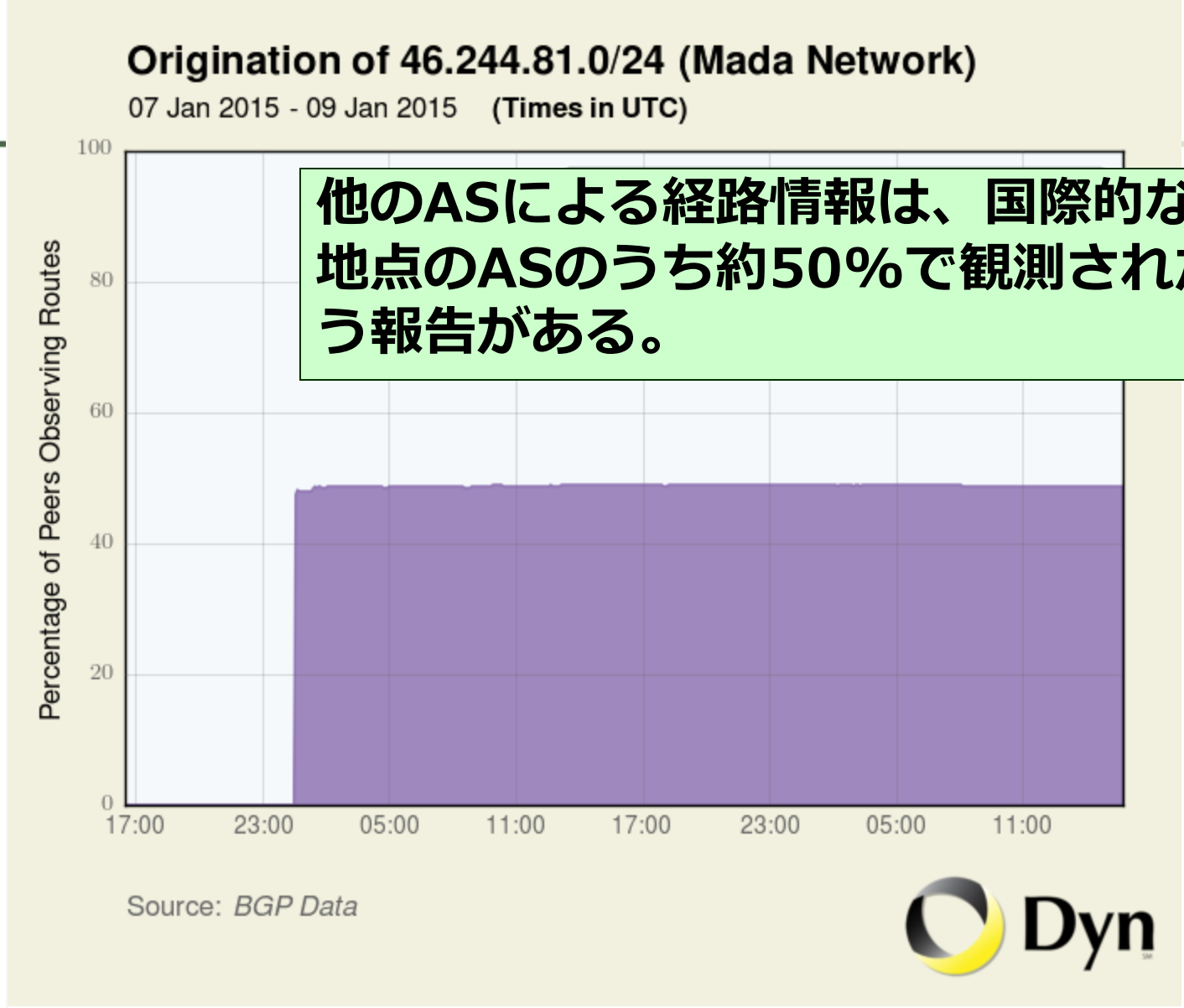
（見やすさのため色を反転してあります）

```
show router bgp routes 8.8.8.8
===============================================================================
BGP Router ID:212.156.116.127 AS:9121 Local AS:9121
===============================================================================
Legend -
Status codes : u - used, s - suppressed, h - history, d - decayed, * - valid
Origin codes : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete, > - best, b - backup

==============================
BGP IPv4 Routes
==============================
Flag Network LocalPref MED
Nexthop Path-Id VPNLabel
As-Path
-------------------------------------------------------------------------------
u*>? 8.8.8.8/32 100 None
212.156.253.130 None -
No As-Path
*? 8.8.8.8/32 100 None
212.156.253.130 None -
No As-Path
-------------------------------------------------------------------------------
Routes : 2
===============================================================================
```

GoogleパブリックDNSのIPアドレスを持つ、別のDNSサーバに誘導される状況を示している。

We would expect to see 8.8.8.0/24 here originated by AS 15169.
This is the proof of Turk Telekom hijacking Google DNS.

Turkey Hijacking IP addresses for popular Global DNS providers,
Posted by Andree Toonk - March 29, 2014, BGPMON
http://www.bgpmon.net/turkey-hijacking-ip-addresses-for-popular-global-dns-providers/



他のASによる経路情報は、国際的な観測地点のASのうち約50%で観測されたという報告がある。

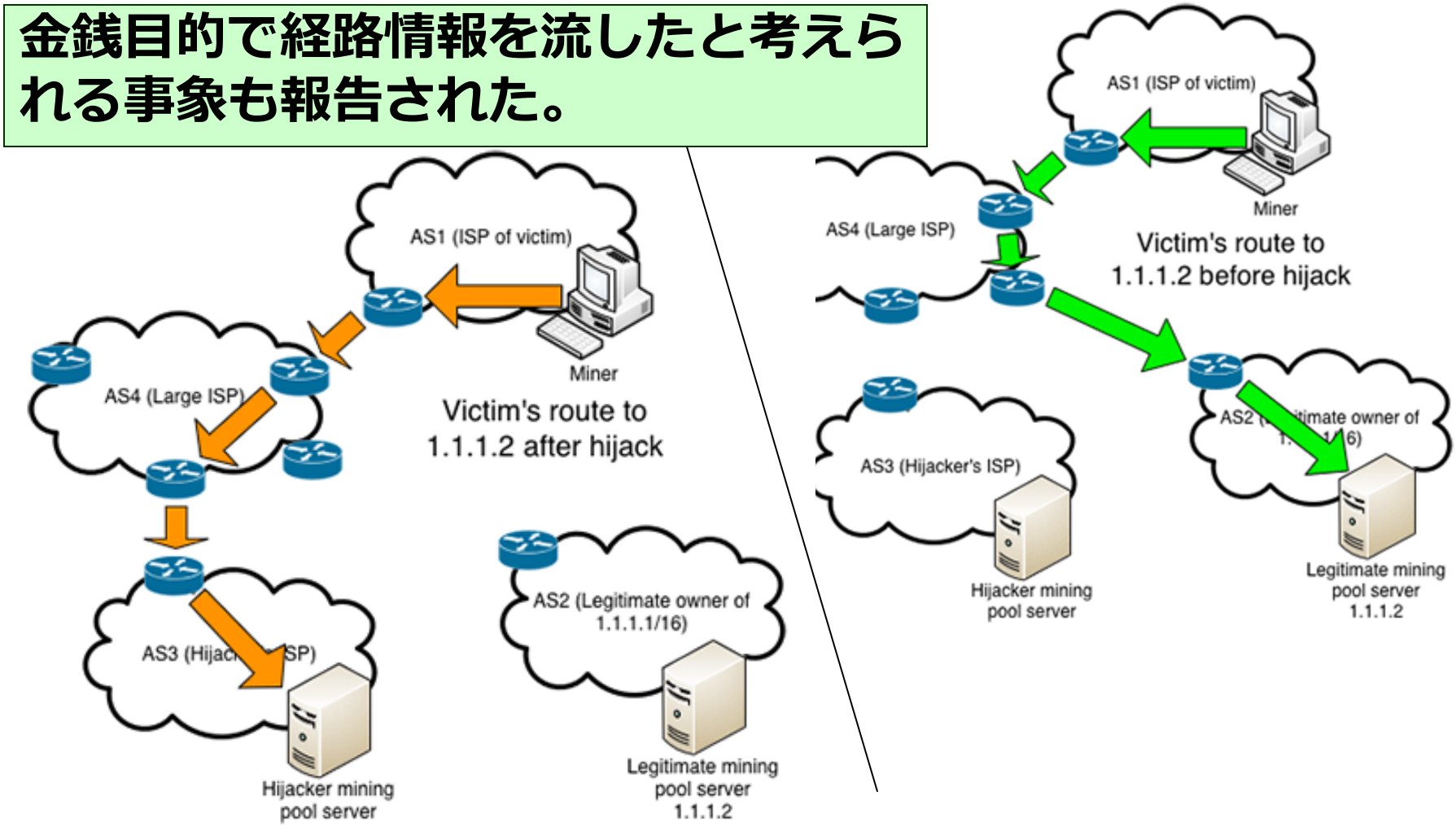
On-going BGP Hijack Targets Palestinian ISP, Apr 10, 2015, Dyn Research
http://research.dyn.com/2015/01/going-bgp-attack-targets-palestinian-isp/#!prettyPhoto

AS間のルーティングにおいては…

- **インターネットにおける到達性が大規模に失われたり、本来とは異なるサーバに誘導される可能性がある。**
  - ただし、DDoSを避けるため、といった目的で意図的に行われることもある。

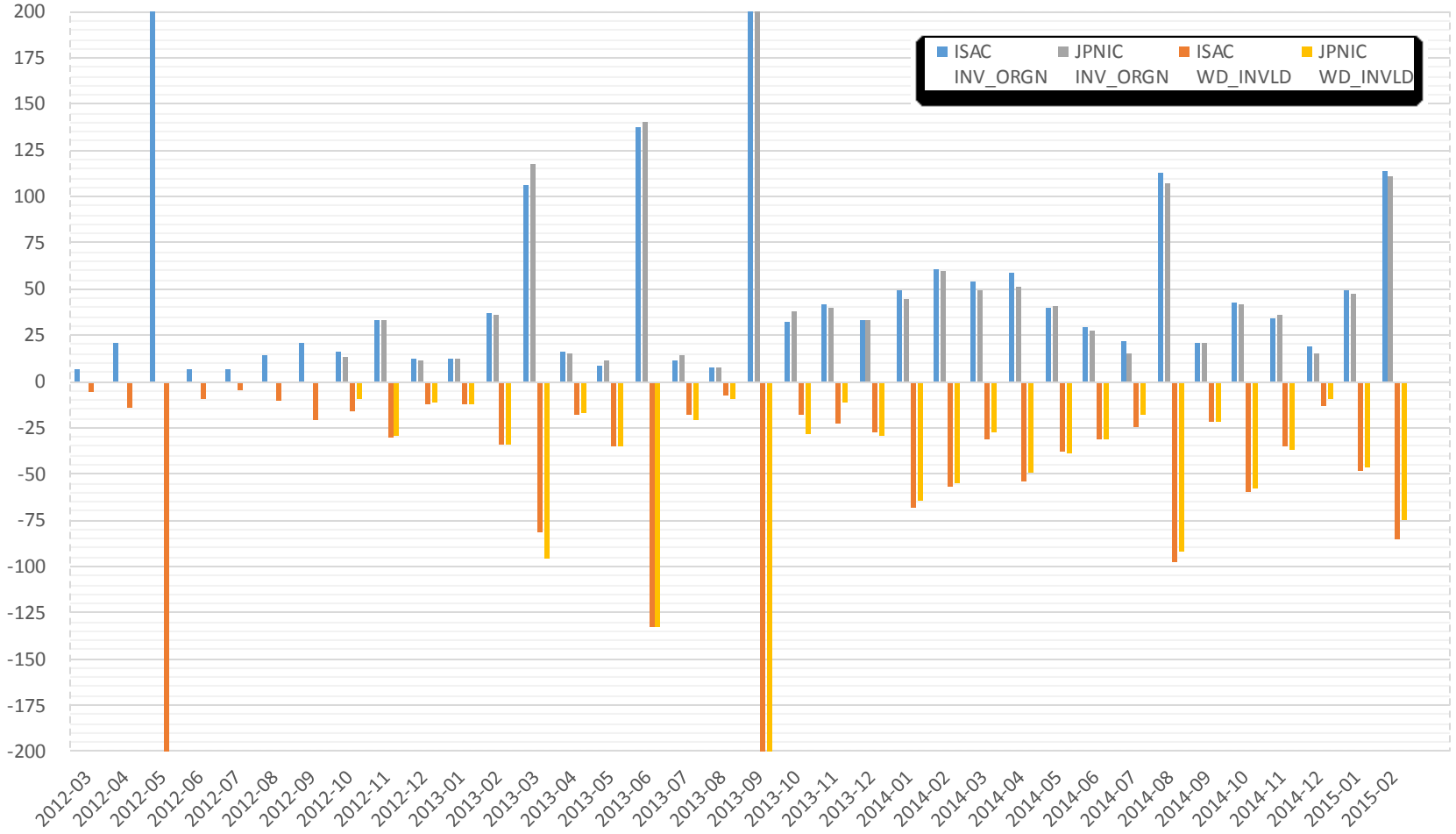
BitCoinのマイニングプールへの経路をハイジャック

金銭目的で経路情報を流したと考えられる事象も報告された。



BGP Hijacking for Cryptocurrency Profit, 7 August 2014
Pat Litke and Joe Stewart, Dell SecureWorks Counter Threat Unit
http://www.secureworks.com/cyber-threat-intelligence/threats/bgp-hijacking-for-cryptocurrency-profit/

国内における観測



AS番号が本来とは異なる疑いのある経路情報が毎月平均で10件程度観測されている。(JPIRRの登録情報との比較)

AS間ルーティングに必要なものは…

- **IPアドレスとASの正しい情報**
  - IPアドレスの割り当てを受けている方が把握している「本来の」ASによって経路情報が広報されているかどうか
  - IPアドレスが正しく割り当てられたものかどうか

- **伝達してきた経路情報に対する判断の仕組み**
  - 伝播してきたBGPメッセージに含まれるIPアドレスやAS番号に対して、正しさを確認できる仕組み

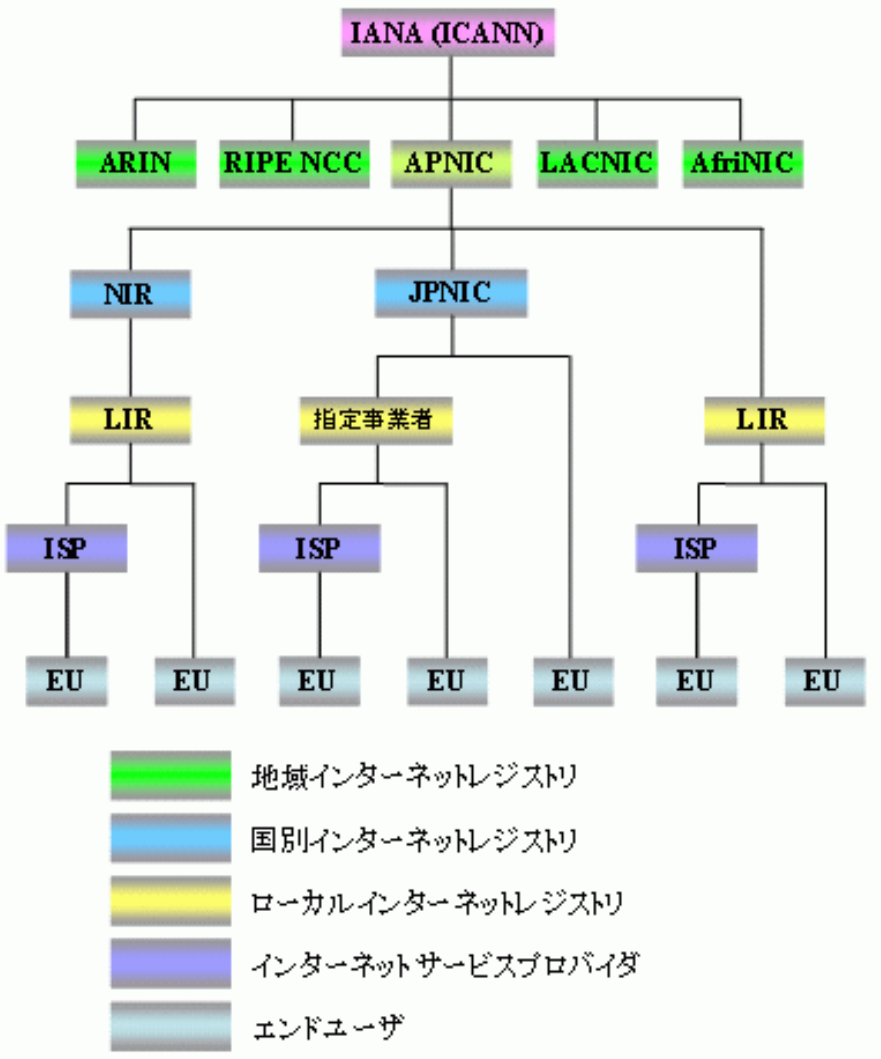
IPアドレス管理とRPKI

JPNIC 一般社団法人 日本ネットワークインフォメーションセンター

IPアドレス管理（１）

- **IPアドレスの階層的な管理**
  - IPアドレスはIANA（Internet Assigned Numbers Authority）によって5つのRIR （Regional Internet Registry）に割り振られ、更に地域ごとに階層的に管理されている。
- **ネットワーク情報の登録**
  - IPアドレスの割り振り／割り当ての情報（ネットワーク情報）は、階層ごとのInternet Registyに登録され、WHOISなどを通じてネットワーク運用のために利用される。

IPアドレス管理（２）



「IPアドレスの管理 - JPNIC」より, https://www.nic.ad.jp/ja/ip/admin.html

IPアドレス管理とルーティング

- **IPアドレス管理**
  - インターネットレジストリ（Internet Registry）によってネットワークを持つ組織などに割り当てられるもの
- **ルーティング**
  - ISPなどの接続性を提供する組織などが、ルータの設定を通じて行うもの

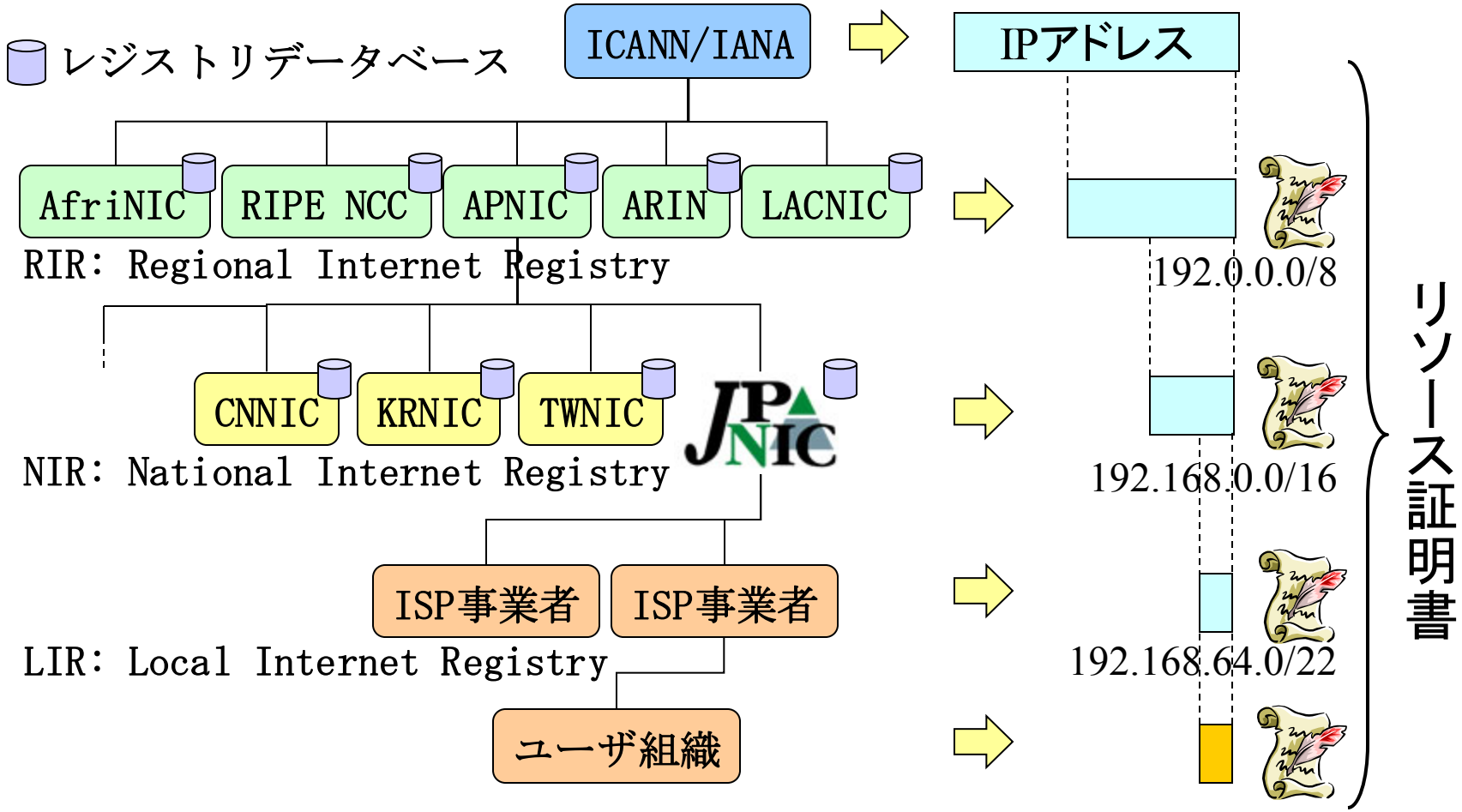
IPアドレス管理とルーティングは、これまでは技術的に連動していなかった言える。

RPKI

- **Resource Public-Key Infrastructure**
  - IPアドレスやAS番号といった番号資源（Number Resource）の割り振り／割り当てを証明するPKI
  - 1997年頃、Stephen Kent氏（BBN Technologies）によって提案され、IETF（Internet Engineering Task Force）で仕様策定が行われている。

IPアドレスの割り振り／割り当てを証明する「リソース証明書」のためのPKI

リソース証明書



リソース証明書の例

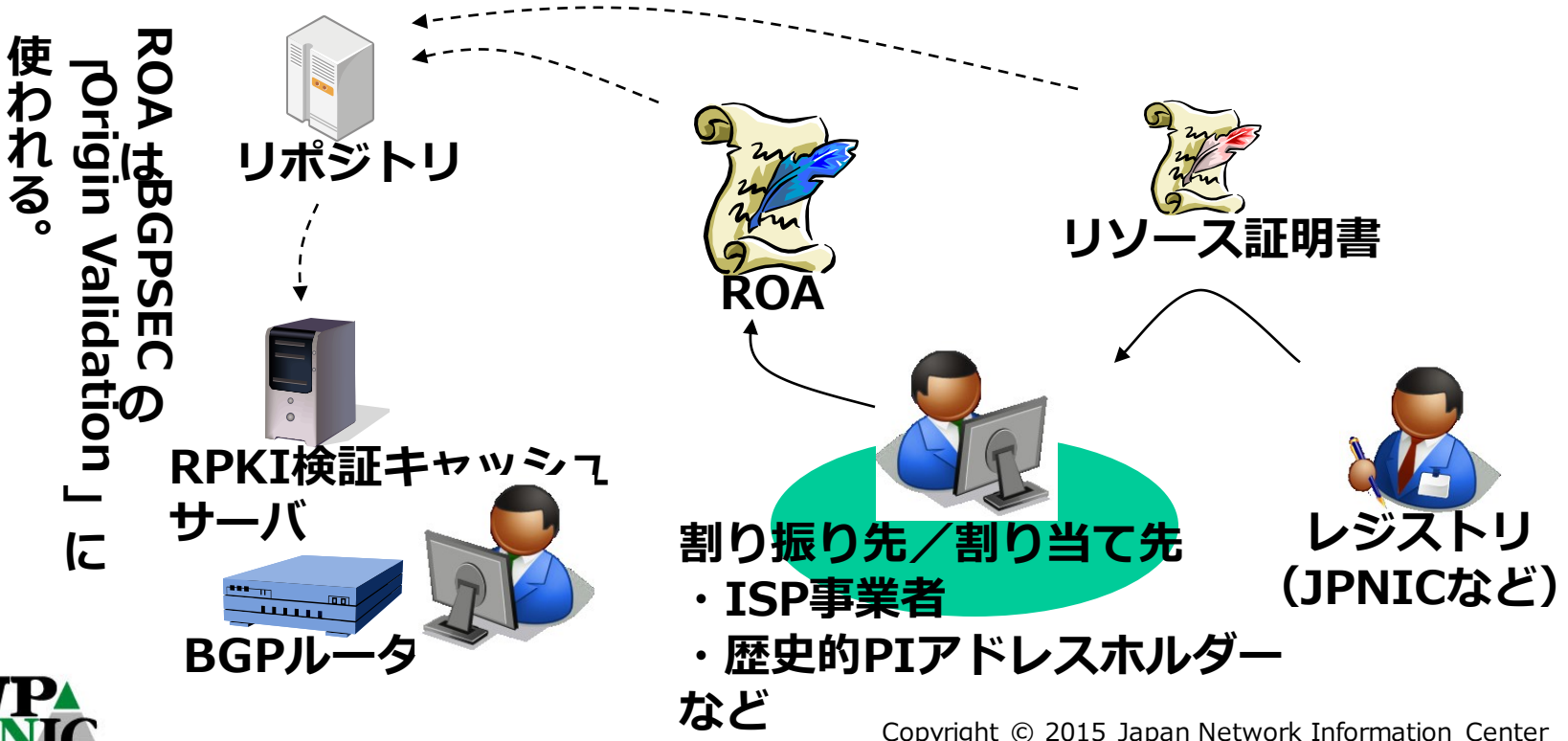
```
Certificate:
    Data:
        Version: 3 (0x2)
        Serial Number: 1 (0x1)
        Signature Algorithm: sha256WithRSAEncryption
        Issuer: CN=D5BBADA3
        Validity
            Not Before: Apr 15 10:24:39 2014 GMT
            Not After : Apr 14 10:24:39 2019 GMT
        Subject: CN=D5BBADA3
        Subject Public Key Info:
            Public Key Algorithm: rsaEncryption
                Public-Key: (2048 bit)

        X509v3 extensions:
            X509v3 Basic Constraints: critical
                CA:TRUE
            X509v3 Subject Key Identifier:
                18:CE:ED:52:F0:99:02:8A:58:3C:F1:7B:53:71:0E:1F:5D:37:4F:8D
            X509v3 Key Usage: critical
                Certificate Sign, CRL Sign
            Subject Information Access:
                CA Repository - URI:rsync://rpki01.nic.ad.jp/repository/
                1.3.6.1.5.5.7.48.10 - URI:rsync://rpki01.nic.ad.jp/repository/jpnic-ta-03.mft
            sbgp-autonomousSysNum: critical
                    Autonomous System Numbers:
                      0-4294967295

            sbgp-ipAddrBlock: critical
                    IPv4:
                      0.0.0.0/0
                    IPv6:
                      ::/0
```

Origin Validationの仕組みと現状

JPNIC 一般社団法人 日本ネットワークインフォメーションセンター

リソース証明書とROA

- **Route Origination Authorization**
  - IPアドレスのホルダーによる署名付きデータで、割り当てられたIPアドレスの経路広告を特定のASから経路広告することを認可したことを示す。

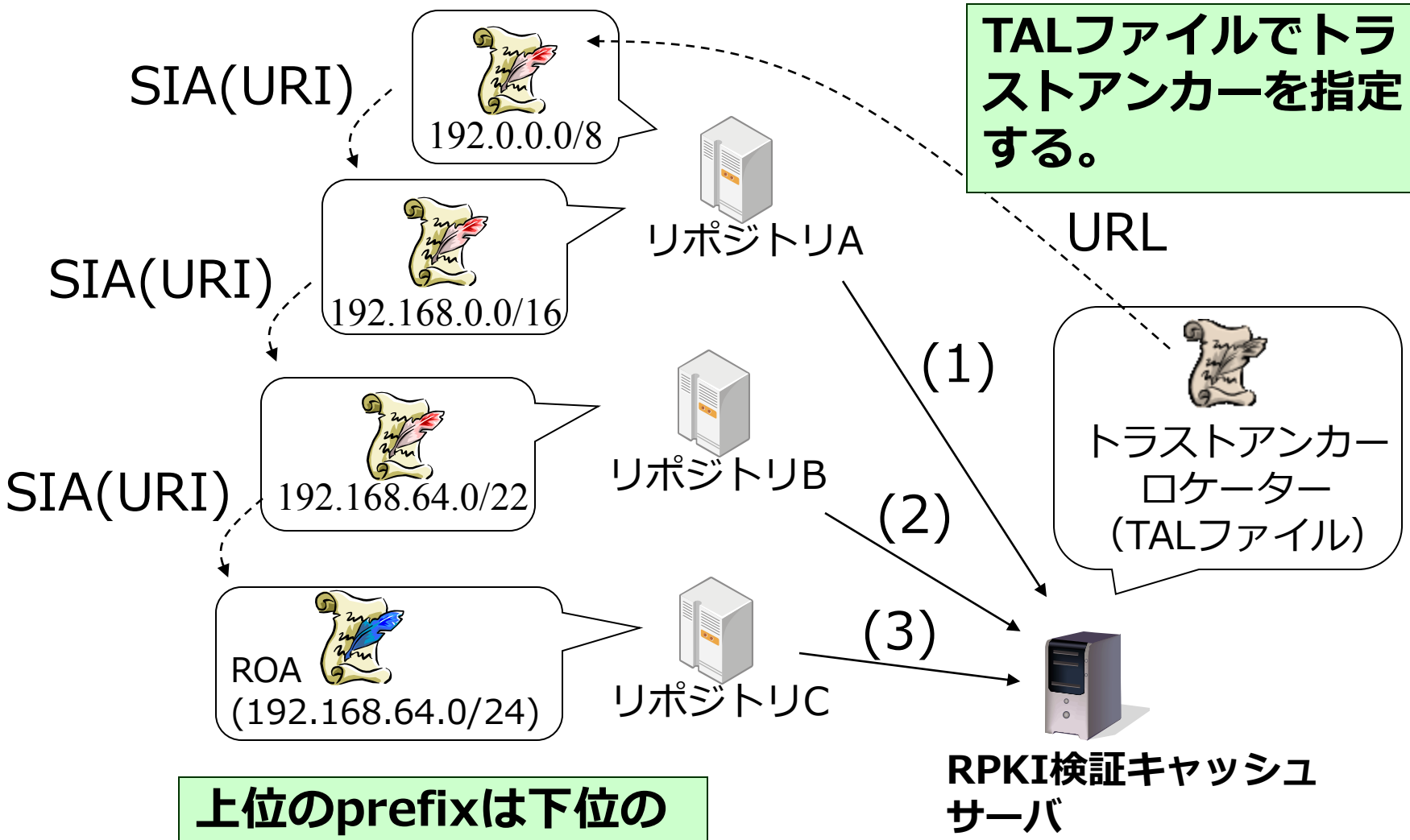


Origin Validationの仕組み

- **RPKIキャッシュ**
  - リソース証明書の署名検証を通じて、IPアドレスが正式に割り当てられたものであることを確認
  - ROAの署名検証を通じて、経路広告元のAS番号が正式なIPアドレスの割り当て先によって指定されたものであることを確認
- **BGPルータ**
  - BGP Updateメッセージとして伝播してきたIPアドレスprefixと経路広告元のAS番号を確認

BGPルータにおいて、BGP経路情報の中の不適切なIPアドレスや本来とは異なる経路広告元が検出できる。

トラストアンカーと署名検証



TALファイル – trust anchor locator

TALファイルの例

rsync://rpki-repository.nic.ad.jp/ta/jpnic-preliminary-ca-s1.cer

MIIBIjANBgkqhkiG9w0BAQEFAAOCAQ8AMIIBCgKCAQEAnjfovjOzuZP5zOT5iHtB
3z35k9uarx3ltKHrh4eq1xO4f7i0Dt/VEsqLJxuBfuRPUwskaH/96ewzqeeL9iPv
vGHL479kJ6YrhN7StkNXLVePxw4uHe7DWuw0CSsRCLEu+SssWTiXyEp3olkgutUV
mwZrNZ1aCfi8tvibz44v1iYvOYcTXRXgvwneJbxepqt+2xchHwMrjBIWsexdqVK7
1/iMHXChEr6wCzZyFW2rJjeFEAF6nFnu1DDhb1bSVe+PEd4PmrQ5vNeYkcffC3dL
Y8ZrjCU51LFD441EA8ae0gDRBnnD7+O3J0rjUi+Y34xLu5XSw8nDordErnX31sqV
XwIDAQAB

署名検証するためには、入手済みのTALファイルを読み込んでトラストアンカーの証明書をダウンロードする。

ROA – Route Origination Authorization

ROAの内容表示

```
$ cd /var/rcynic/data/authenticated/rpki-repository.nic.ad.jp/
$ print_roa 1003/6gaLktvYFfRfkbwTJnYU-STtxYI.roa
ROA Version:    0
SigningTime:    2015-03-20T11:12:21Z
asID:           2515
 addressFamily:  1
    IPAddress:  192.41.192.0/24

$ print_roa publication/1003/HKEK_75JQYmCWP26zFDz2IcXSIg.roa
ROA Version:    0
SigningTime:    2015-03-20T11:12:21Z
asID:           2515
 addressFamily:  1
    IPAddress:  202.11.240.0/21
$
```

ROAには署名日時とAS番号、IPアドレスの範囲が記載されている。

RPKIの現在

- **RIRのリソース証明書の開始**
  - 5つのRIRでリソース証明書の提供がすでに行われている。
  - アジア太平洋地域のNIRでは、2015年3月3日にJPNICが試験提供を開始した。
- **Origin Validation実装の安定化**
  - Cisco、Juniper、Alcatelといった大手ルータベンダーのサポートが始まっている。

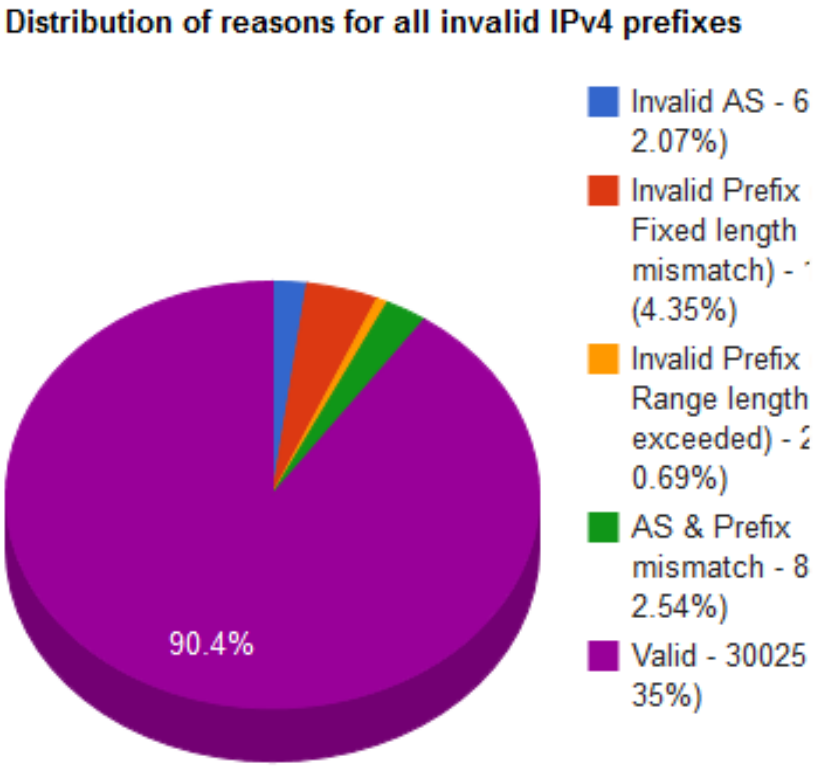
国際的な普及の状況

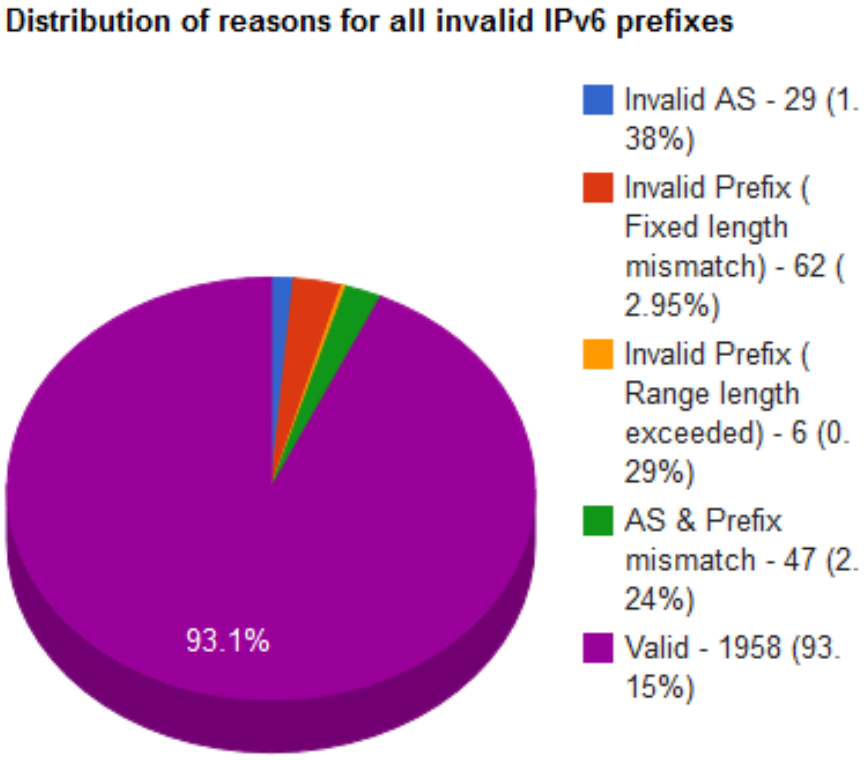
RPKI Dashboard, SURFnet, 2015/4/3
http://rpki.surfnet.nl/

RIR	Total	Valid	Invalid	Unknown	Accuracy	RPKI Adoption Rate
AFRINIC	12664 (100%)	52 (0.41%)	45 (0.36%)	12567 (99.23%)	53.61%	0.77%
APNIC	142987 (100%)	1059 (0.74%)	661 (0.46%)	141267 (98.8%)	61.57%	1.2%
ARIN	205818 (100%)	1339 (0.65%)	325 (0.16%)	204154 (99.19%)	80.47%	0.81%
LACNIC	72797 (100%)	16573 (22.77%)	970 (1.33%)	55254 (75.9%)	94.47%	24.1%
RIPE NCC	146611 (100%)	12960 (8.84%)	1349 (0.92%)	132302 (90.24%)	90.57%	9.76%

ROAによってカバーされるIPアドレスの割合はまだ低い。ただしRIPE地域は単純増加の傾向にある。

ROAを使った検証結果の内訳



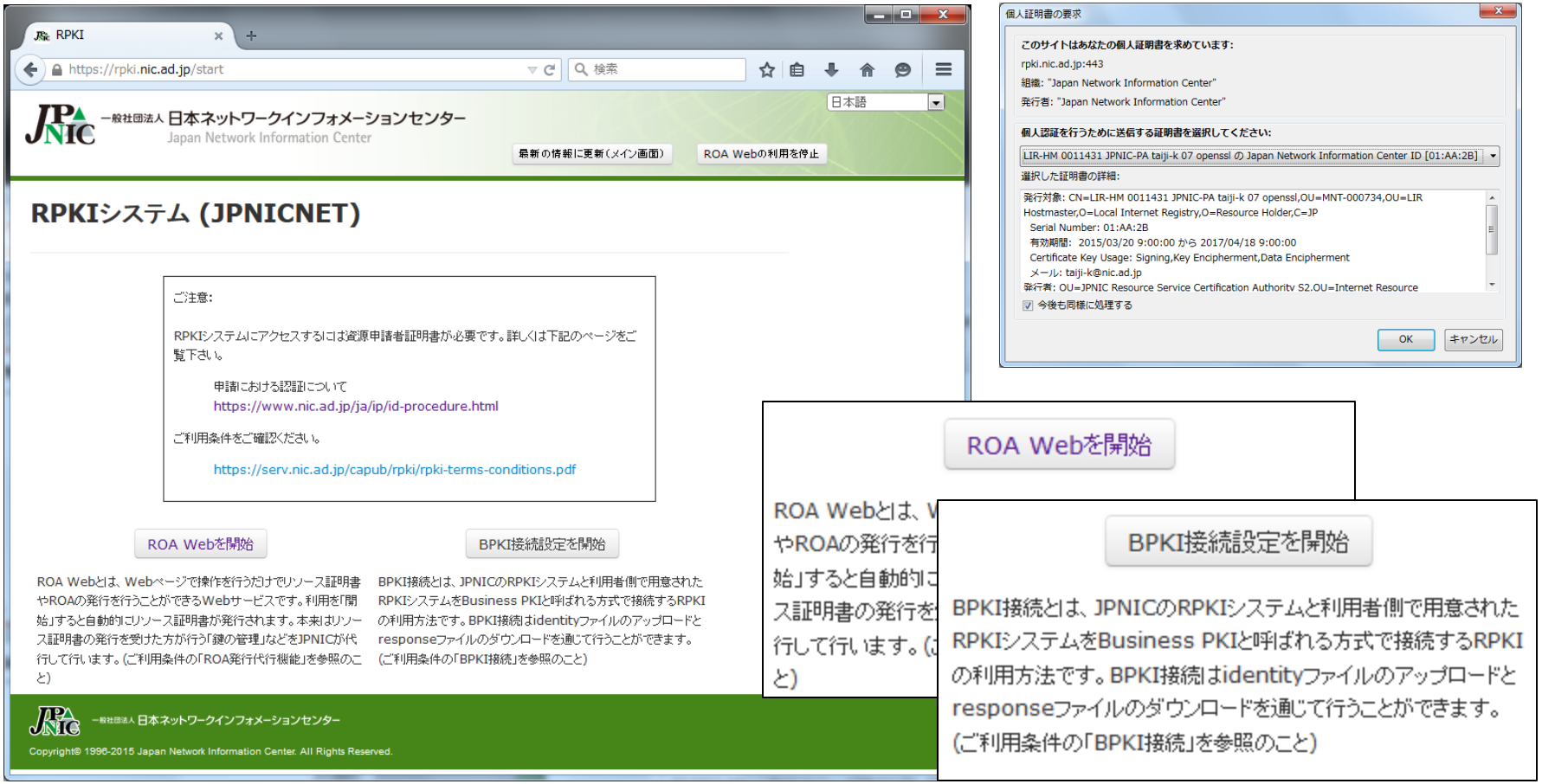


RPKI Dashboard, SURFnet, 2015/4/3
http://rpki.surfnet.nl/

実際の経路情報とは異なるROAが約10%発行されている。(IPアドレス管理とAS運用の違いも一因)

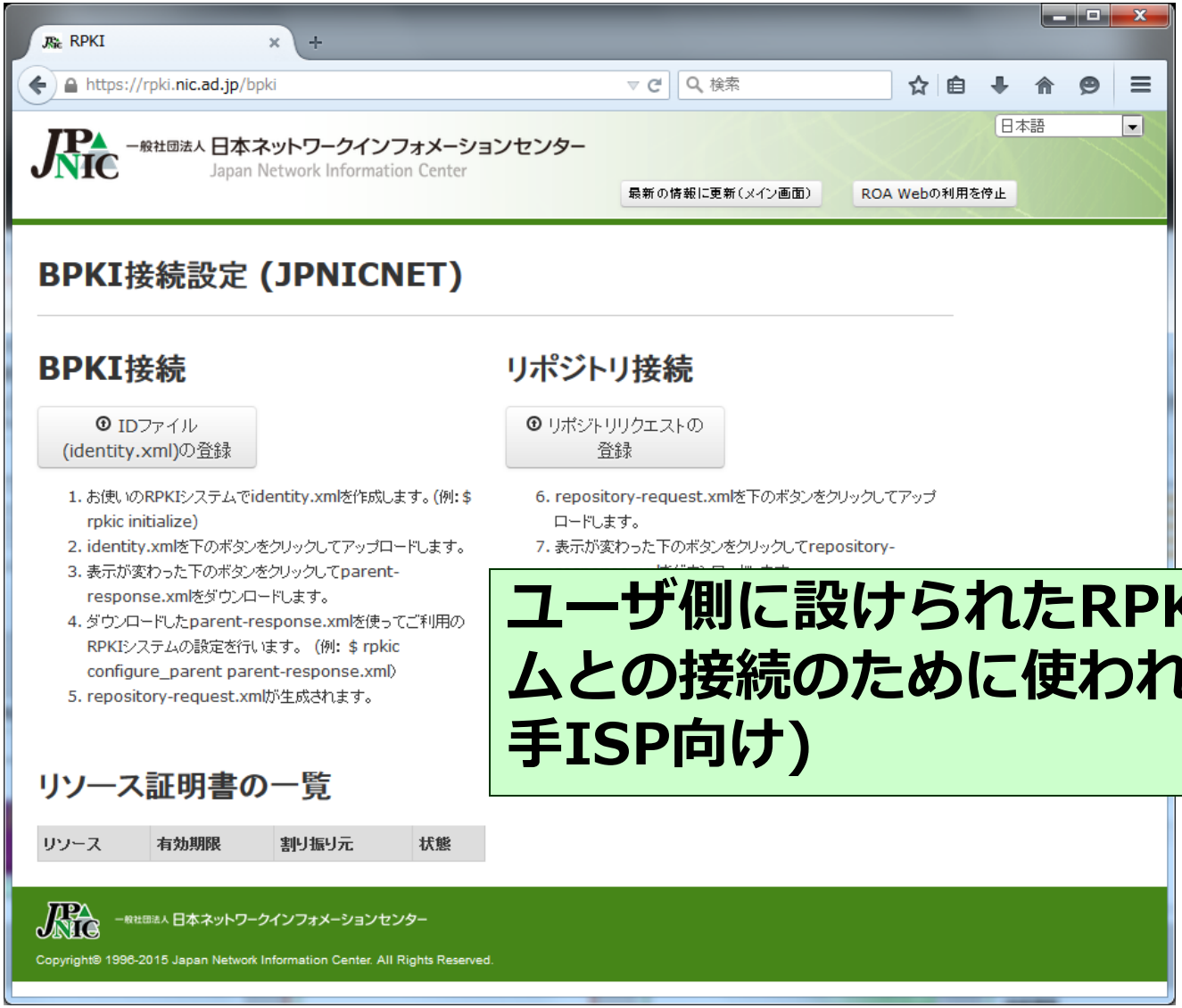
国内での試験提供

JPNICのRPKIシステム



IPアドレスの申請者の証明書を使ってユーザを認証する。利用を開始するとリソース証明書が発行される。

BPKI(Business PKI)接続設定



ユーザ側に設けられたRPKIシステムとの接続のために使われる。(大手ISP向け)

ROA Web

Webの操作のみでROAの作成ができる。(ROA発行代行機能)

ROA Webを使ったROA作成

AS番号を指定してROAを作成する。

ROA WebのROA管理画面

発行されたROAとリソース証明書はrsyncを使ってリポジトリからダウンロードできるようになる。

ROA Webでは…

- **私有鍵はRPKIシステム側に存在する。**
  - 私有鍵の用途＝電子署名 “digital signature”
  - 電子署名のメッセージ認証としては…
  - ほぼ全てのRIRで採用されているモデル
  - ただし、リソース証明書ではエンティティの識別はできない。

  ⇒「ROA発行代行機能」と定義
- **ROAにおける電子署名は、電子文書への電子署名とは意味が異なり、IPアドレスの登録情報を「改ざん検知」と「有効期限」という二つの仕組みと共に提供する仕組みであると考えられている。**

技術課題

RPKIの持つ性質と技術課題

RPKIの持つ性質と技術課題

- 署名付きオブジェクトを提供するPKIとして
- 上位認証局証明書から検証するPKIとして
- 運用上の課題

署名付きオブジェクトを提供するPKIとして

課題	対応策と考え方
最新の署名付きオブジェクトROAの提供	リポジトリのサーバrsyncdを分散化。IETFでは新しい差分転送プロトコルも提案されている。
失効情報の伝播	CRLをリポジトリデーター式の中で配布
オブジェクト欠損への対応	発行済みオブジェクトの一覧であるマニフェストMFTを配布
RIRでは主流な「ROA Web」のような形態での提供	エンティティによる署名という概念をなくしつつ鍵管理

なおこの仕組みでは一つの不整合が複数のエラーを起こすことが多い。一つの署名が有効ではない理由を調べるために、複数の仕組みを調べる必要あり。

上位認証局証明書から検証するPKIとして

- **署名検証の結果としては「有効なIPアドレスとAS番号の組み合わせリスト」が得られる**
  - その中から特定の経路情報の有効性を確認するのはRPの役割

⇒ Orign Validationというアプリケーションの上では、一つのROAの有効性ではなく、有効なROAの塊に意味がある

一つのエラーが多数の検証結果に一度に現れてしまう。有効性の監視を行う場合には、単一のROAの有効性ではなく結果全体を対象にする必要がある。

運用上の課題

- **自律分散への影響**
  - 単一障害点ができないようにするにはどうすればよいのか
    - レジストリのRPKI認証局
    - リポジトリ
    - ROAキャッシュサーバ
- **システムの信頼性**
  - 暗号アルゴリズムはRSA2,048/SHA-256のみ
  - TALやSIAではドメイン名で指定 → DNSに依存

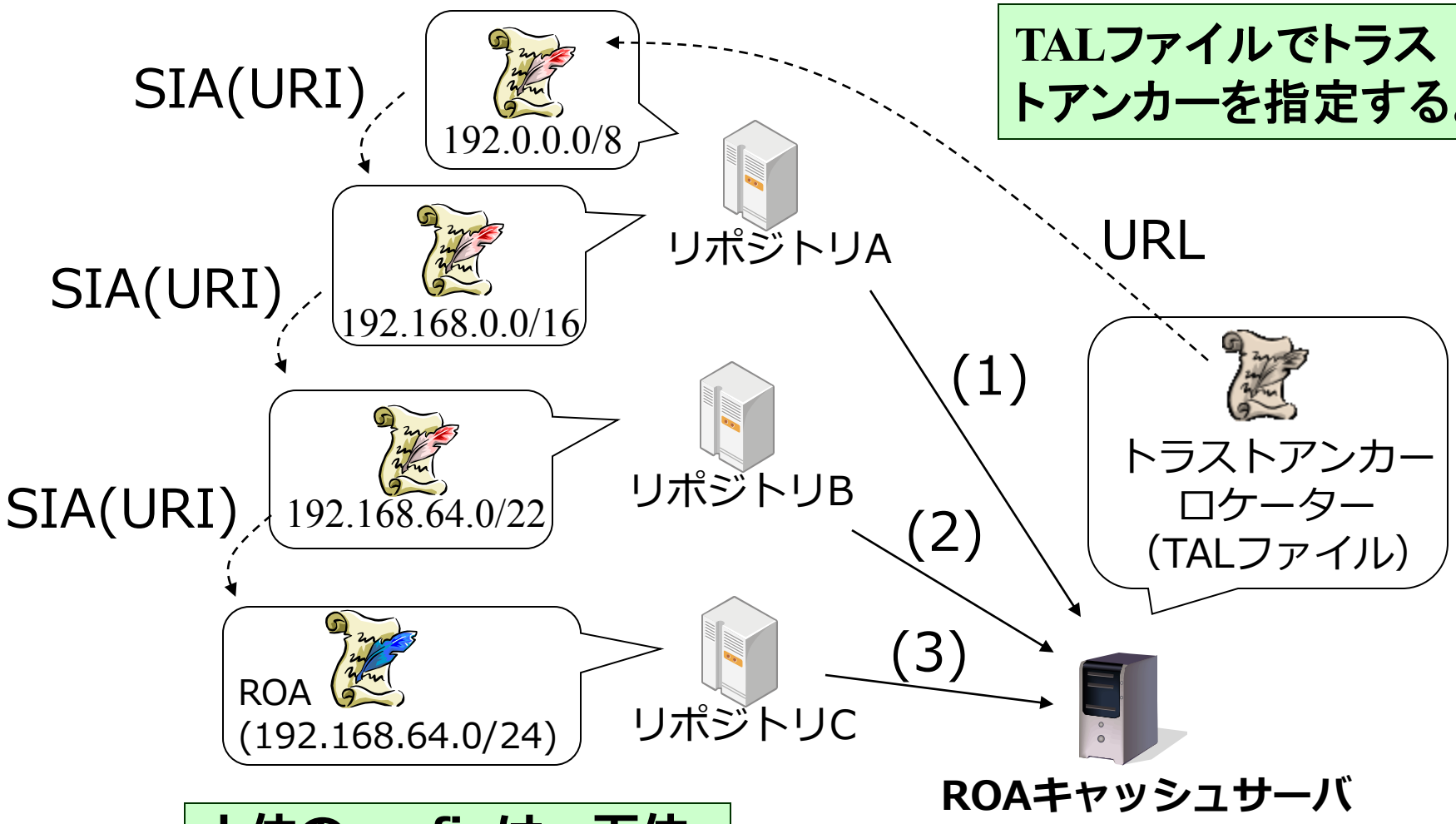
BGPを使ったルーティングの自律分散という特徴を崩さずにセキュリティ技術を導入するにはどうすべきなのか

信頼構造

信頼構造

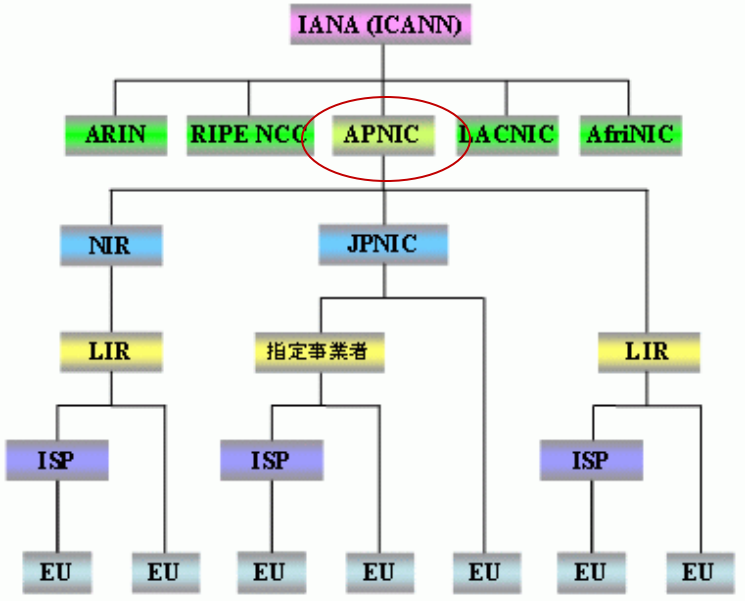
- トラストアンカー
- 依拠当事者としてのROAキャッシュサーバ

トラストアンカーと署名検証



RPKIのトラスト構造

- **5つのRIRがトラストアンカーロケーターを提供**
  - ひとつのCA証明書の有効性によってNIR全域の有効性が影響を受ける？
    - NIRもトラストアンカーに設定？
    - RP側に別の仕組みを設ける？
      draft-ietf-sidr-ltamgmt
      draft-dseomn-sidr-slurm
      draft-kent-sidr-suspenders
  - 設定はRPのプログラムに依存
  - service agreement (ARIN)
  - LIRはWeb上の提供
    （鍵はRIR/NIRサーバ上）



依拠当事者としてのROAキャッシュサーバ

- **パブリックキャッシュサーバ**
  - ROAの検証結果を返すサーバ
  - 対応したBGPルー他の設定を行うだけでROAとRPKIの検証結果が利用できる
  - 今後も増える可能性あり
- **RPKI RPのあるべき姿？**
  - 署名検証は手元で行うべき？
    ⇒ 署名検証サーバを立ち上げないと利用できないPKIになってしまう。
  - パブリックキャッシュサーバを併用？
    ⇒ 単一障害点になりうる。接続の安全性（本日ご紹介したような！）の担保は？

まとめ

まとめ

- RPKIはIPアドレス管理の構造に沿って、「リソース証明書」を発行する仕組み
  - 本来と異なる経路情報を検出するOrigin Validationが注目されている
  - JPNICにおける試験提供の開始
- 技術課題と信頼構造
  - 上から検証を行い「有効なIPアドレスとAS番号の組み合わせリスト」を得る仕組み
  - 鍵保有と署名検証
  - 国際的なツリー構造
  - パブリックキャッシュサーバによる署名検証

おわり