

## 経路情報の時間的な変化を視覚化するツールの開発

崎山 亮<sup>†</sup> 岡村 耕二<sup>††</sup> YoungseokLEE<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>九州大学大学院システム情報科学府 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

<sup>††</sup>九州大学情報基盤センター 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

<sup>†††</sup> Dept. of Computer Science and Engineering Faculty of Electrical and Computer Engineering,  
Chungnam National University Gungdong 220, Yuseonggu, Daejeon, 305-764 Korea

E-mail: <sup>†</sup>sakiyama@ale.csce.kyushu-u.ac.jp, <sup>††</sup>oka@ec.kyushu-u.ac.jp, <sup>†††</sup>lee@cnu.ac.kr

あらまし AS間における経路制御ではBGPが使用されており、平常時であれば安定した経路が選択される。しかし、ネットワーク障害が発生した場合、その代替経路は経由するASのポリシーにしたがって動的に決定される。この代替経路が管理者のポリシーにしたがったものか確認することは、ASの数が多ければ非常に困難である。このため、障害などで代替経路が選択される場合、どのような経路が選択されたか、わかりやすく提示できれば管理者の役に立つと考える。そこで、我々はネットワーク管理者にAS間の経路変化を提示するツールの開発に取り組んでいる。本稿で提案するツールは、定期的に保存されたBGP経路情報より変化した経路を求め、変化した経路について視覚化を行い、管理者に提示する。また、このツールを利用した解析例として、2006年8月14日に発生した首都圏大規模停電の経路変化を視覚化し、ツールの評価と課題を述べる。

キーワード BGP, AS, 経路情報, 情報視覚化

## A Visualization Tool for Temporal Change of BGP Route Information

Ryo SAKIYAMA<sup>†</sup>, Koji OKAMURA<sup>††</sup>, and Youngseok LEE<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

Hakozaki 6-10-1, Higashiku, Fukuoka, 812-8581 Japan

<sup>††</sup> Computing and Communications Center, Kyushu University

Hakozaki 6-10-1, Higashiku, Fukuoka, 812-8581 Japan

<sup>†††</sup> Dept. of Computer Science and Engineering Faculty of Electrical and Computer Engineering,

Chungnam National University Gungdong 220, Yuseonggu, Daejeon, 305-764 Korea

E-mail: <sup>†</sup>sakiyama@ale.csce.kyushu-u.ac.jp, <sup>††</sup>oka@ec.kyushu-u.ac.jp, <sup>†††</sup>lee@cnu.ac.kr

**Abstract** BGP (Border Gateway Protocol), a routing protocol between ASes (Autonomous Systems), always selects the stable routes. However, when the network failures occur, the alternative routes will be selected dynamically according to BGP routing policy. These policies are usually very complex because of too many ASes. Therefore, when the alternative routes are to be selected during network failure, it is useful for network operators to present which routes are selected. For this purpose, this paper focuses on the effective visualization tool of BGP route changes. We have verified the usefulness of this tool in QGPOP network.

**Key words** BGP, AS, Routing Information, visualization

### 1. ま え が き

インターネットにおける経路制御は、統一のポリシーの下に管理されるネットワークの集合であるAS (Autonomous System) を単位として自律的に行われている。AS間における経路制御プロトコルをEGP (Exterior Gateway Protocol) と呼び、現在ではBGP (Border Gateway Protocol) [1] がEGPの実質的

な標準となっている。BGPは異なるAS間の経路情報をやりとりするために使用されるプロトコルであり、平常時であればプロトコルに従った安定した経路が選択される。しかし、ある地点でネットワーク障害が発生した場合、その代替経路は経由するASのポリシーに従って動的に決定される。この代替経路が管理者のポリシーにしたがったものか確認することは、ASの数が多ければ非常に困難である。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*>13.0.0.0	210.130.152.53	300	0	2497	701 703 80 i
*>14.0.0.0	210.130.152.53	300	0	2497	3356 i
*>14.17.250.0/24	210.130.152.53	300	0	2497	1239 13716 i
*>14.21.206.0/24	210.130.152.53	300	0	2497	4323 i
*>14.23.112.0/24	210.130.152.53	300	0	2497	2497 174 21889 i
*>14.23.113.0/24	210.130.152.53	300	0	2497	2497 174 21889 i
*>14.23.114.0/24	210.130.152.53	300	0	2497	2497 174 21889 i
*>14.36.100.0/23	210.130.152.53	300	0	2497	2497 4323 i

図 1 経路表のフォーマット

Fig. 1 Format of Routing Table

ネットワーク管理者は、障害時にバックアップ経路に切り替わるようにポリシーの決定を行うが、実際に障害が発生するまでは、ポリシーに従った代替経路が選択されるかどうかはわからない。このため、過去に起こった障害でどのような代替経路が選択されたか、わかりやすく提示できれば管理者の役に立つと考える。

我々は、九州ギガポッププロジェクト [2](QGPOP, AS2523) の BGP ルータが持つ経路情報を定期的に保存・蓄積している。なお QGPOP の BGP ルータはインターネットのフルルート (約 190,000 経路) を持っている。この経路情報の解析を行うことで、過去の経路の時間的な変化を把握することができる。また、管理者に経路の変化を提示する手法として、視覚化手法を用いることで、より理解しやすくなると考える。しかしながら、経路情報は大規模データであるため、すべてを視覚化することは困難である。そこで、我々は経路の変化のみを視覚化することに着目した。経路の変化のみを視覚化することにより、必要なデータを最小限に抑えつつ、動的に変化していく経路を直感的に把握することができる。と考える。

本稿では、経路情報の時間的な変化を視覚化するツールとして開発した ABEL2 について概要を述べ、その評価を行う。

## 2. 経路表の形式と収集法

インターネットで送受信されるパケットは、複数のルータに中継され、宛先のネットワークに届いている。このため、各ルータは経路制御プロトコルに従い、経路表と呼ばれるデータベースを構築している。経路表とは、宛先のネットワークに対し、次に転送すべきルータのアドレスをまとめた情報である。BGP ルータの持つ経路表には、次に転送すべきルータだけでなく、パス属性と呼ばれる、BGP メトリックに関する情報も含む。

本研究では、研究用ネットワークである QGPOP のネットワーク上の BGP ルータが持つ経路表を用いる。QGPOP は SINET, WIDE, APAN-JP や韓国の研究ネットワーク KORREN, また、商用のネットワークである IJ などと BGP ピアリングを持っている。経路表の収集には、BGP 機能を実現するソフトウェアである Zebra [3] を用いる。Zebra が記録する経路表について、図 1 に一部抜粋したものを示す。

図 1 の経路表には、宛先のネットワーク、次に転送すべきルータのアドレスに加え、Metric や LocPrf などのパス属性も含まれている。本研究では、パス属性の 1 つである、AS パス属性

に注目する。AS パス属性は経路表中では Path で示された項目であり、宛先に到達するまでに経由する AS 番号のリスト (AS パス) を示している。例えば、QGPOP から 4.17.250.0/24 のネットワークにパケットが到達するまでに経由する AS は、順に AS 2497, AS 1239, AS 13716 となる。各時刻における AS パスを比較することで、経路の時間的な変化を知ることができる。

## 3. 視覚化手法

### 3.1 視覚化の問題点

視覚化は、情報を視覚的に分かりやすい形で提示して、直感的に把握できるようにするために行われる。多数の AS パスを AS 番号のリストとしてテキストで見ると、AS をノード、AS 同士の接続関係をリンクとしたグラフで見た方が直感的な理解が早いと考えられる。

AS パスを視覚化する際の問題点は、経路表が大規模データということである。視覚化による直感的な理解のためには、情報量を一面で表示できる程度に抑える必要がある。しかし、2006 年 8 月時点で経路表に記載されているプレフィックス数は約 190,000、ユニークな AS 数は 20,000 以上になり、これらすべてを一面に表示することは困難である。このため、必要な情報のみ抽出することで、情報量を削る必要がある。

### 3.2 経路変化の視覚化

本研究において着目すべきことは経路の時間的な変化である。そこで、開発するツールでは、経路表に記載されているすべての経路を視覚化するのではなく、2 つの経路表の差分より得られる経路の変化のみを視覚化を行う。本研究では、10 分ごとに経路表を保存・蓄積している。10 分ごとの経路表を比較した場合、AS パスが変化しているプレフィックスの総数は平均して 200 程度である。この程度の経路であれば、十分に視覚化可能であると考えられる。

図 2(a) にすべての経路を視覚化した場合の例、(b) に変化した経路のみを視覚化した場合の例を示す。図 2(a) では、多くの AS と通信している重要な AS が一目で把握できるなどの利点があるが、その分複雑になる。一方、図 2(b) では、経路変化に関与しない AS を除外することで、その代替経路を簡潔に把握しやすい。このため、開発するツールでは、図 2(b) のように、変化した経路のみを視覚化を行う。

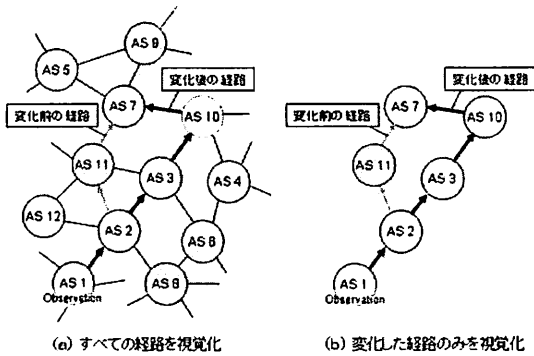


図2 経路変化の視覚化

Fig. 2 Visualization of changed path

#### 4. 関連研究

経路情報の視覚化に関連する研究は、以前より行われている。

CAIDA [4] の公開する AS Internet graph は、AS 間の接続やトラフィックを、視覚化したものである。2次元の円の内部に各 AS を点として配置し、その間をトラフィックに応じた色の線で結んでいる。点の色や位置もトラフィックに応じて異なり、トラフィックが多い AS ほど円の中央に配置される。そのため、多くの AS と通信している重要な AS が一目で把握できる。また、CAIDA では Otter [5] や Plankton [6] などの視覚化ツールが公開されているが、これらのツールは AS 同士の接続や距離、トラフィックなどを視覚化するものであり、経路の時間的変化を視覚化するものではない。

BGPlay [7] は、ローマ大学の Computer Networks Research Group により開発された経路変化を視覚化するツールである。BGPlay はプレフィックス、開始時間、終了時間を指定すると、そのプレフィックスが含まれる AS を赤色で表示し、開始時間に対象 AS からの経路がある AS について視覚化を行う。その後、終了時間までの変化の様子をアニメーションで表示することができる。ただし、視覚化するデータは RIS データベースに登録されているものであり、管理者が自由に自分のネットワークを視覚化することができない。

そこで、本研究では定期的に保存された複数の経路表を入力とし、経路表の差分より求められる経路変化を管理者に提示できるツールの開発を行う。

#### 5. 視覚化ツールの概要

本研究において、時間的な経路変化の視覚化を行うツールを ABEL2 と呼び、ABEL [8] の後継として開発を行っている。ABEL2 は、任意の 2 つの時刻における経路表の差分より経路の変化を求め、その視覚化を行うツールである。しかし、経路表は大規模データであるため、経路表をそのまま読み込み視覚化処理を行うことは難しい。このため、あらかじめ経路表を計算し、視覚化に適したデータに変換しておく必要がある。

また、ABEL2 では経路の変化だけでなく、各 AS 間の接続

表 1 0:00 の経路表

Table 1 Routing table at 0:00

network	path
プレフィックス a	AS1 AS2 AS3
プレフィックス b	AS1 AS4 AS5
プレフィックス d	AS1 AS6
プレフィックス e	AS2 AS7
プレフィックス f	AS1 AS7

表 2 0:10 の経路表

Table 2 Routing table at 0:10

network	path
プレフィックス a	AS1 AS2 AS3
プレフィックス b	AS1 AS9 AS5
プレフィックス c	AS1 AS6
プレフィックス e	AS8 AS7
プレフィックス f	AS1 AS7

表 3 経路変化

Table 3 Routes of change

time	network	previous path	current path
0:10	プレフィックス b	AS1 AS4 AS5	AS1 AS9 AS5
0:10	プレフィックス c	none	AS1 AS6
0:10	プレフィックス d	AS1 AS6	none
0:10	プレフィックス e	AS2 AS7	AS8 AS7

の重み付けも行う。重み付けを行うことで、経路変化の規模を客観的に判断できるようになる。

##### 5.1 経路変化の計算

経路表は 10 分ごとに保存・蓄積されており、これらの差分をとることで、経路変化を計算することができる。経路変化の抽出は、2 つの経路表から一致するプレフィックスを発見し、その AS パスを比較し、異なっていた場合、変化前と変化後の AS パスを記録するというものである。もし、10 分前の経路表に一致するプレフィックスがない場合、新規プレフィックスとして、その AS パスを記録する。同様に、10 分後の経路表に一致するプレフィックスがない場合、古いプレフィックスとして、その AS パスを記録する。結果、時間的な経路変化を示す表が作成できる。

具体例として、表 1 を 0:00 の経路表、表 2 を 0:10 の経路表とした場合の経路変化の抽出を行う。表 1 のプレフィックス a と表 2 のプレフィックス a の AS パスは一致するため、記録は行わない。しかし、表 1 のプレフィックス b と表 2 のプレフィックス b の AS パスは異なるため、経路変化として記録される。プレフィックス c は表 2 にしか存在しないため、新規プレフィックスとして記録する。また、プレフィックス d は表 1 にしか存在しないため、古いプレフィックスとして記録する。同様にプレフィックス e は経路変化として記録し、プレフィックス f は記録しない。

このようにして作成されたものが表 3 である。表 3 には、あるプレフィックスの AS パスが変化した時間、変化前の AS パ

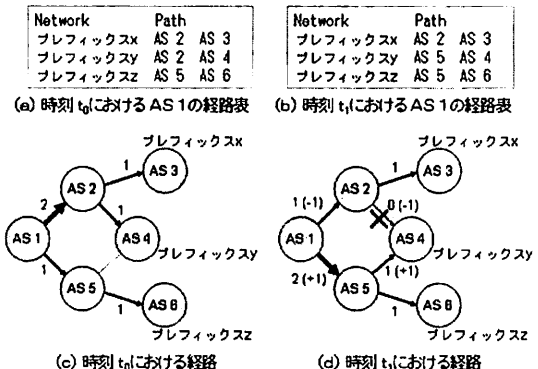


図 3 プレフィックス数による重み付け  
Fig. 3 Weights by number of prefixes

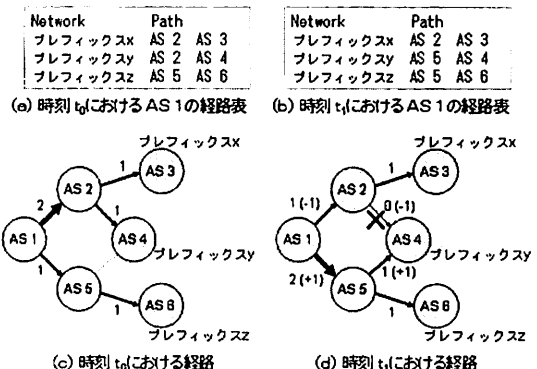


図 4 プレフィックス長による重み付け  
Fig. 4 Weights by prefix length

ス、変化後の AS パスが記載しており、この表を入力として、視覚化処理を行う。

### 5.2 重み付け

経路の変化がどの程度影響を及ぼしたかを客観的に判断するため、各 AS 間の接続に重みを付ける。ABEL2 では、プレフィックス数による重み付けとプレフィックス長による重み付けの 2 種類を切り替えて表示できるようにする。

#### 5.2.1 プレフィックス数による重み付け

図 3(c) は図 3(a) の経路表 (AS 1 の経路表, 時刻:  $t_0$ ) を視覚化したものである。プレフィックス x は AS 3, プレフィックス y は AS 4, プレフィックス z は AS 6 からそれぞれ広告されている。AS 1 のネットワークからプレフィックス x へのトラフィックは AS 2, AS 3 に中継される。

プレフィックス数による重み付けは、AS 1 のネットワークから、あるプレフィックスに到達するために使用される AS 間の接続を 1 として、経路表に記載されているすべてのプレフィックスを合計したものである。この数値が大きい AS 間の接続は、AS 1 にとって主要な接続であると言える。

図 3(d) は図 3(b) の経路表 (AS 1 の経路表, 時刻:  $t_1$ ) を視覚化したものである。図 3(d) で示す重み付けの括弧内の数値は、図 3(c) と比較した時の増減を示している。この増減の大きさにより、経路変化の規模を推定することができる。

#### 5.2.2 プレフィックス長による重み付け

プレフィックス数による重み付けと同様に、図 4(c) は図 4(a) の経路表を視覚化したものである。

プレフィックス長による重み付けは、AS 1 に広告されているプレフィックスのアドレススペースを合計し、それを相当するプレフィックス長に変換する。例えば、/24 のプレフィックスが 2 つ広告されている場合、そのプレフィックス長は /23 相当となる。プレフィックス長が小さい AS 間の接続は、AS 1 にとって主要な接続であると言える。

図 4(d) は図 3(b) の経路表を視覚化したものである。図 4(d) で示す重み付けの括弧内の数値は、図 4(c) と比較した時の増減を示している。

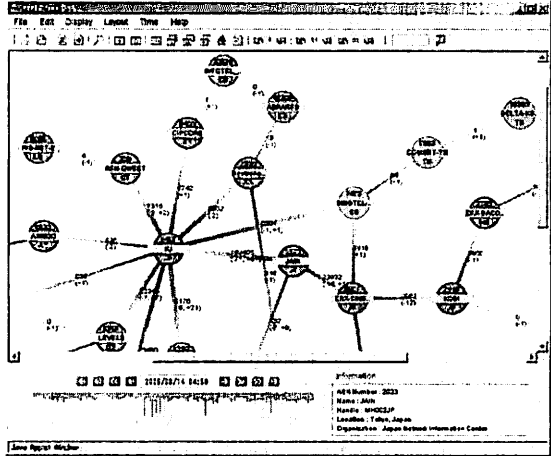


図 5 ABEL2 の外観  
Fig. 5 Appearance of ABEL2

### 5.3 視覚化

視覚化においては、AS をノード、経路をエッジとして、AS 間の接続関係をグラフとしてとらえて、その構造を視覚化する。使用するノード配置アルゴリズムは単純なもので、以下の 2 つの条件をある程度収束するまで繰り返す。

- AS 同士が重ならない
- 接続のある AS 同士の距離を一定に保つ

視覚化を実現するプログラム言語として、Sun Microsystems, Inc. [9] の Java を用いる。図 5 に ABEL2 の外観を示す。ツール中央のウィンドウに経路の変化を視覚化したグラフを表示する。ノードである AS は、所属する国別に色分けを行い、上から AS 番号, AS 名, 所属する国を表示している。エッジの太さは、プレフィックス数、またはプレフィックス長による重み付けを示している。この線が太い AS 間の接続は、経路表を持つ AS にとって主要な接続であると言える。トラフィックの流れはエッジの濃淡で表し、濃いほうから薄い方にトラフィックが流れる。また、AS 間の新しい接続を赤線で、削除された接

表 4 首都圏大規模停電の概要

Table 4 Power cut that occurred in Tokyo

日時	2006年8月14日 7:38 ~ 10:44 (3時間6分)
7:38	停電発生
7:50 ごろ	神奈川県内復旧
8:20 ごろ	千葉県内復旧
10:44	前面復旧
被害	約 140 万戸が停電
東京	約 97 万戸 (中央, 渋谷など 14 区 1 市)
神奈川	約 22 万戸 (横浜, 川崎両市)
千葉	約 20 万戸 (浦安, 市川の両市)

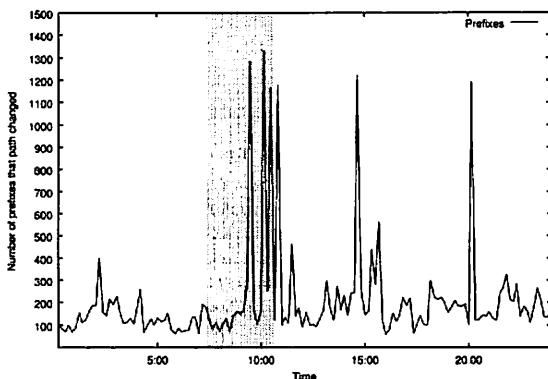


図 6 8月14日におけるASパスが変化したプレフィックスの数

Fig. 6 Number of prefixes that AS path changed at 8/14

統を破線で表している。

ツール下部のグラフは、指定した日の経路変化の推移を表す。また、ツール右下のテキストボックスには選択したASの情報が表示される。この情報は、Multicast Technologies, Inc. [10] が公開するAS情報の記載されたファイルを利用している。

## 6. 事例解析

本稿で提示を行ったABEL2を用いて、経路の変化について調査し、ABEL2の評価を行う。

解析を行う期間は、2006年8月14日に発生した首都圏大規模停電を含む、2006年8月の1ヶ月間とする。表4に、首都圏大規模停電の概要を示す。首都圏大規模停電は、東京を中心とする関東地方一帯で発生し、139万世帯の住宅や鉄道、地下鉄などに電力が供給されなくなり、都市機能が麻痺した。このため、ネットワークにも何らかの影響があった可能性がある。

図6に、8月14日におけるASパスが変化したプレフィックスの数の推移を示す。図中の網掛け部が停電が発生していた時間帯である。停電が発生した時刻は7:38であるが、7:40に記録した経路表においては大きな経路の変化は見られない。QGPOPは日本のASと複数のBGPピアリングを持っているため、通常、日本における主要なAS内のBGPルータに障害が発生すると、経路表は大きく変化する。このため、主要なASのBGPルータには停電直後の影響はなかったと考えられる。

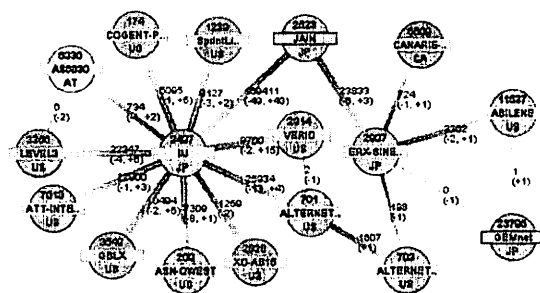


図 7 7:40 における経路の変化

Fig. 7 Routes of change at 7:40

### 6.1 停電時の経路変化

7:40における経路の変化を図7に示す。簡単のためAS 2523から2ホップで到達できるASのみを表示している。図中のエッジに記述されている数値は、その接続を通して広告されているプレフィックス数の合計であり、括弧内は増減値である。図7の右下部に位置するAS 23796 (NTT サービスインテグレーション基盤研究所) への経路が変化していることがわかる。AS 23796への経路は、7:30時点での経路表ではAS 2907を経由していたが、7:40時点での経路表ではAS 2907とAS 11537を経由している。この時、AS 2907とAS 23796の接続は経路表から失われており、この2点間で何らかの障害が発生したと考えられる。なお、変化した経路は、8:10に以前の経路に復旧した。この経路変化が停電の影響であるか、経路が不安定なために起こったものなのかを判断するため、8月における経路変化の調査を行った。結果、AS 23796から広告される経路はこの1回を除いて変化しておらず、安定していたと言える。このため、この経路変化は停電が影響したものと推測できる。

### 6.2 大規模な経路変化

図6より、9:00ごろから20:00ごろまでの間、ASパスが変化したプレフィックスの数が1,000を超える時間が6回観測できた。そこで、図8に最初に経路が大きく変化した9:30の経路を示す。簡単のため、AS 2523から3ホップで到達でき、かつ日本に所属するASのみを表示している。AS 2907を経由していたプレフィックスが709、AS 2497を経由していたプレフィックスが522減り、一方、AS 7660を経由するプレフィックスが1,158増えている。特に、AS 2907からAS 9370を経由していたプレフィックスは、そのほとんどがAS 2907からAS 7660経路に変化していることがわかる。この変化は、2回目の大きな変化である10:10の経路表で、以前の経路に戻っている。10:30の経路変化も同様に、AS 2907経路の経路の大半がAS 7660経路の経路に変化したものであり、10:50に以前の経路に戻っている。14:40と20:10の変化も同様である。

これらの変化が停電の影響によるものなのかを判断するためには、長期的に解析する必要がある。そこで、2006年8月の経路変化の中で、以下の条件を含む経路変化について調査を行った。

- AS 7660を経由するプレフィックスが大きく増加してい

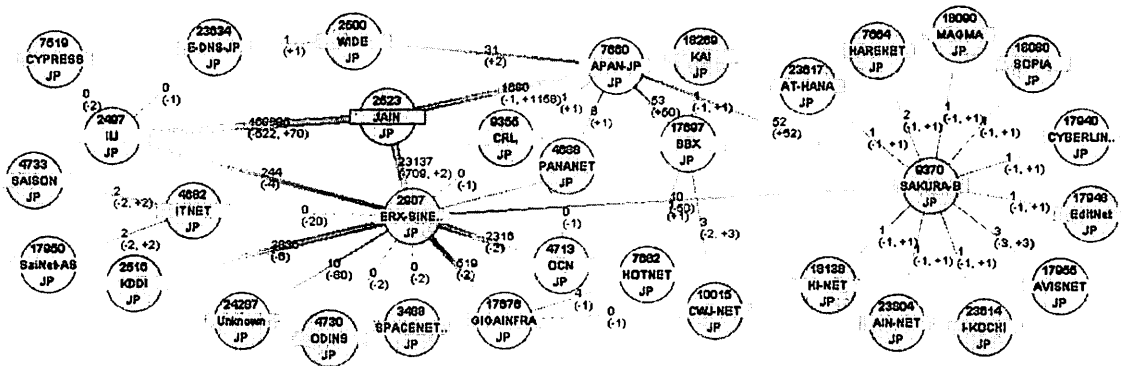


図 8 9:30 における経路の変化  
Fig.8 Routes of change at 9:30

る。(目安として1,000以上)

- AS 2907, AS 2497 を経由するプレフィックスが大きく減少している。(目安として各500以上)

結果,このような経路変化は慢性的に35件も起こっており,逆の経路変化をあわせると70件に上る。このため,この大規模な経路変化は停電の影響ではなく,経路が不安定になっているものと考えられる。

## 7. ま と め

本研究では,過去に起こった障害でどのような代替経路が選択されたかを,管理者にわかりやすく提示するため,経路情報の時間的な変化を視覚化するツールの開発を行った。このため,定期的に保存・蓄積した経路情報の差分を計算し,経路の変化の視覚化を行った。

我々が開発したツールである ABEL2 は,任意の2つの時刻における経路情報の差分より経路の変化を求め,その視覚化を行うツールである。ABEL2 を使用した解析例として,2006年8月14日に発生した首都圏大規模停電の解析を行った。結果,停電の影響があったと思われる経路の変化を,わかりやすく提示することができ,一時的な経路の変化を管理者に提示することができることを示した。これらの情報は,管理者がネットワークの運用ポリシーを決定するための指標の1つになると考える。

今後の課題は,ABEL2 に統計的処理を持たせることである。事例解析では経路変化の視覚化を行ったが,その変化した経路が統計的に不安定な経路なのか,安定していた経路なのかを示すことはできない。このため,過去の経路変化を統計し,経路の安定度も視覚化できるようになると,管理者にとって有用になると考える。また,事例解析で示した例のように AS パスが変化したプレフィックスの数が1,000を超える場合,視覚化することが困難である。このため,視覚化アルゴリズムの改善を行うことや,管理者が表示したい経路変化のみ表示できるようにする必要がある。

## 文 献

- Y. Rekhter, RFC 1771 A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4), <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/rfc1771.txt>
- QGPPOP, <http://www.qgpop.net/>
- GNU Zebra, <http://www.zebra.org/>
- CAIDA, <http://www.caida.org/>
- Otter, <http://www.caida.org/tools/visualization/otter/>
- Plankton, <http://www.caida.org/tools/visualization/plankton/>
- BGPPlay, <http://www.ris.ripe.net/bgplay/>
- Masayuki TABARU, Koji OKAMURA, Seomee Choi, Jaehyuk Ryu, and DaeYoung Kim, Design of ABEL Route Recording System base on BGP for Network management and Application Software, ICOIN 2004, 2004.
- Sun Microsystems, Inc., <http://www.sun.com/>
- Multicast Technologies, Inc., <http://www.multicasttech.com/>
- Siew Cheong Au, Christopher Leckie, Ajeet Parhar, Gerard Wong, Efficient visualization of large routing topologies, International Journal of Network Management, March 2004.
- Mohit Lad, Dan Massey, Lixia Zhang, Link-Rank: A Graphical Tool for Capturing BGP Routing Dynamics, NOMS, April 2004.
- Masayuki TABARU, Koji OKAMURA, Study on the visualization of timely differential for Internet routing information, OPODIS 2004, 2004.