

# マルチエージェントシミュレータを活用した ICT ネットワークの可視化手法について

○山下洋介 伊藤昌彦 ( (株) 富士通エフサス)

## ICT Network Visualization Method Using Multi-Agent Simulator

Y.Yamashita and M.Ito (Fujitsu Fsas Inc)

**概要**— 情報システムはメインフレーム時代のアーキテクチャ集中型から、オープン化による分散型へ、そしてエッジコンピューティング時代に突入した。様々な機器やサービスがネットワークでつながり、DX(Digital transformation)によって新たな価値を創出している。その一方で、システムが複雑化することにより予測不可能なトラブルを招き、その原因究明は高度な技術が要求される。我々はこの課題を解決するため、社会シミュレーションを支える技術であるマルチエージェントシミュレータを活用し、ICTネットワークの可視化手法を提案する。本研究では、その手法に必要な機能を整理し効果を確認した。

**キーワード:** ICT, 統計情報, 可視化, マルチエージェントシミュレータ

### 1 まえがき

#### 1.1 お客様システムの変化

お客様システムは、単一ベンダのハードウェア・ソフトウェアで構成されたメインフレーム（アーキテクチャ集中型）から、複数ベンダのハードウェア・ソフトウェアで構成されたクライアント/サーバ（アーキテクチャ分散型）に進化してきた。

今後、DX(Digital transformation)によりエッジコンピューティングが加速し、オンプレミスとクラウドで構成されたシステムにおいて、様々なハードウェア・ソフトウェアがネットワークを介してつながり、システムの複雑化が加速していく<sup>1)</sup>。

#### 1.2 情報システム部門に求められる変化

情報システム部門は、メインフレーム中心の時代においては、単一ベンダのシステムエンジニアを窓口とし、問題解決を図れば良かった。オープン化されたシステムでは、ログ情報などから問題の初期切り分けを行い、複数ベンダのシステムエンジニアに調査・対処を依頼することが必要になった。

DX時代では、さらにセンシング技術<sup>2)</sup>やクラウド技術が必要になると共に、複雑化したシステムの問題切り分けにおいてはベンダに捉われず、システム全体の把握と解決方法を必要とする (Fig1)。

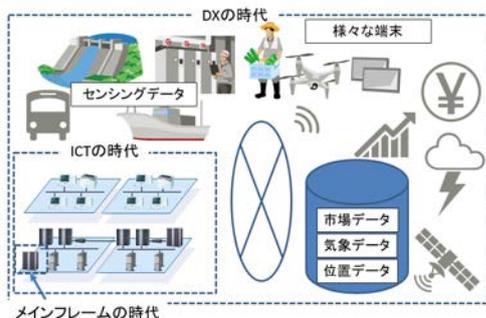


Fig1: DX 時代の保守・運用範囲

#### 1.3 マルチベンダ製品の監視ツール

我々は、複数ベンダで構成されるシステムに対応できる監視ツールを開発、監視サービスを提供してきた。

監視ツールは機器の生死監視をするとともに、標準的なOSのログであるシステムログやイベントログなどの記録情報を収集する。異常メッセージを受信した場合、メールや警告灯などの手段でお客様に通知する。

また、ネットワークプロトコルであるSNMP(Simple Network Management Protocol)でパケット送受信数や機器のリソース(CPU,メモリ,IO)使用率などの統計情報も収集し、あらかじめ設定した閾値を超えた場合、通知する(Fig2)。

この監視ツールは、記録情報や統計情報を、長期間において蓄積する。そのため、複数ベンダの機器や

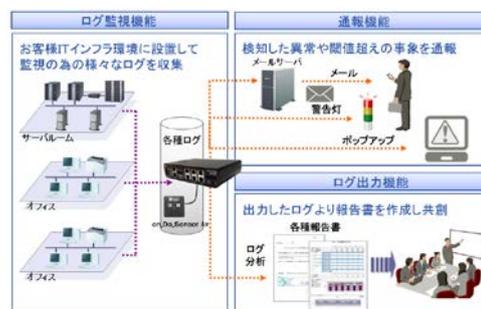


Fig2:監視ツールの収集する情報

サービスで構成するシステムのトラブル時に問題の箇所を特定することに役立つ。合わせて情報はお客様や他ベンダの担当者に説明・納得させるための重要な証拠となる。

### 2 DX時代のトラブル

監視ツールはIPアドレスを基本とする単位で情報を蓄積する。そのため機器が特定でき、記録情報に明確に記録されているトラブルや、現在継続して発生しているトラブルの切り分けに有効である。

しかし、ネットワーク負荷を起因とした一過性のトラブルや記録情報に明確に残らないようなトラブル(Fig3)を絞り込むには、統計情報から問題の箇所を発見

する必要がある<sup>3)4)</sup>

統計情報はIPアドレス毎で膨大なリソース使用率やパケット数など数値の集まりであり、目視で分析することは困難である。

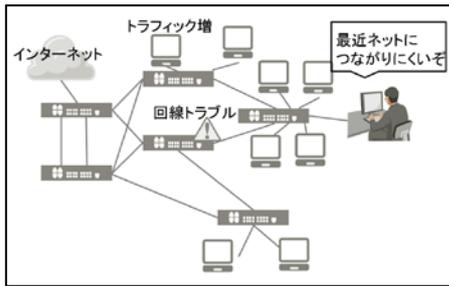


Fig 3: ネットワークトラブル事例

### 3. 解決手法の提案

#### 3.1 解決する手法の条件

膨大な統計情報を活用するために必要な条件は3つあると考える。

1つ目は「統計情報の本質を可視化できること」である。CPUやメモリ・IOなどのリソースの統計情報はプログラムが単位時間に各リソースを使った割合で分かる。ネットワークの統計情報も単位時間に機器を移動したパケット数である。そのため、機器に影響を与えたことや、機器への移動を動的に可視化することが求められる。

2つ目は「利用者の設定変更で見え方を容易に変えられること」である。利用者は、可視化した動的な対象の移動や影響の中から、異常の原因となる箇所を探す。そのため、注目したい箇所に応じ、対象を必要に応じ、表示/非表示でき、目的に合わせて変化させられる機能が求められる。

3つ目は「統計情報の情報量に対応できること」である。統計情報はIPアドレス毎にリソースとネットワークの統計情報を保持し、利用者の可視化したい範囲に答えるため、数十台のサーバやネットワーク機器から、場合によっては数百台のサーバやクライアントが混在することになる。

統計情報を可視化する上で重要な利用者のインターフェースとなる機能に上記3つの要件を満たすマルチエージェントシミュレータを用いたICT可視化システムを提案する。

#### 3.2 マルチエージェントシミュレータ

マルチエージェントシミュレータは社会システムのシミュレーションで社会活動における人の動きをエージェントとしてモデリングし、エージェント全体の動作や相互作用を俯瞰的に可視化する。可視化した動作を、複数の人で検討・共創することで様々な課題を解決してきた<sup>5)6)7)8)</sup>。

マルチエージェントシミュレータは社会シミュレーション研究の活動を支える重要なツールであり、利用者の厳しい要求を受け入れ品質や操作性を向上させてきた<sup>5)6)</sup>。また、必要な定義を与えればプログラミングレスでシミュレーションが可能となる。

さらに、可視化するだけでなく、様々な事象の原因と

なるエージェントモデルを柔軟に追加することで、ある社会空間の予兆を捉えることが可能になる。このことはICT可視化システムの実現の先にある、時代の技術に合わせた最適なICTシステムの再設計をお客様と共創する事に役立つと考える。

### 3.3 ICT可視化システムの提案

ICT可視化システムは、お客様システム内に監視ツールを設置し、統計情報を収集、富士通のデータセンター側に送信し、マルチエージェント向けのモデルデータに変換する。利用者は必要なときに自身のPCにダウンロードして分析する。

具体的には、お客様システム内の監視ツールに蓄積した統計情報を暗号化し、安全に富士通のデータセンターに送付する(Fig4①~②)。

データセンターでは、統計情報のログに応じた変換機能により、統計情報をマルチエージェントシミュレータのモデルデータに変換し、マルチエージェントシミュレータのエンジンに渡す(Fig4③~④)。

また、データセンターにWEBサイトポータルを用意し(Fig4⑥)、お客様のシステム毎にシステム構成を表示し、設定の変更を可能にする。設定の変更後、再度、変更内容と共に注目したい期間の統計情報で、モデルデータを再生成する。

このようにして生成したモデルでシミュレーションを実行することでトラブルの原因を検討することが可能となる(Fig4⑧)。

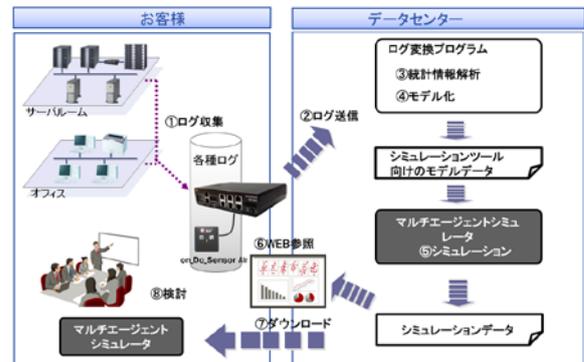


Fig 4: ICT可視化システム

### 3.4 ICT可視化システム実現と妥当性について

本研究ではICT可視化システムを実現するため、マルチエージェントシミュレータに要求する機能を明確にし、1つのシミュレータを選定・実装した。構築したICT可視化システムのプロトタイプで、「運用に必要な定量的な評価」、またICTの可視化という機能に注目し、「利用者の定性的な評価」を実施し、妥当性を確認した。

## 4 シミュレータの選定とモデリング

### 4.1 シミュレータの選定

提案するICT可視化システム実現のため、マルチエージェントシミュレータは次の点を考慮して選定した。

1つ目は「マルチプラットフォームで動作すること」データセンターにおいて、統計情報をモデルデータに変換するサーバはセキュリティや外部攻撃を想定し、堅牢なLinux系OSを採用している。また、クライアントにおいて、お客様はオンライン/オフライン関係なく検討する必要がある。そのためPCのOSとして広く普及しているWindows OSに対応する必要がある。

2つ目は「エージェントの移動動作を簡単に実現できること」である。マルチエージェントシミュレータではエージェントの速度や方向を詳細に定義できるが、本研究は決められた経路に沿って移動するだけで良い。その代わりに、経路の設定に時間を要しないものにする。

3つめは、「空間を簡単に構築できること」である。本研究では、ICT機器やケーブル、リソース(CPU、メモリ、IO)は静的なオブジェクトであり、移動や影響を与える力学作用もオブジェクト化する。そのため、上記以外のオブジェクトや枠をシミュレーション実現のために定義するなど、セル型のシミュレータのように、空間の定義に時間を要するものは避けたい。

WEB事例や論文<sup>9)</sup>を参考に、いくつかのシミュレータの中から実際に試行をおこない、3つの条件に対応できる「SOARS」を選定した(Table1)。

Table 1:シミュレータ比較

項	ツール名	開発元	プラットフォーム	移動定義	空間構築
1	S4 Simulation System <sup>10)</sup>	NTTデータ数理システム	△Win	○速度・方向をモデル化	○セル空間で表現
2	Artisoc <sup>11)</sup>	構造計画研究所	△Win, Mac	○速度・方向をモデル化	○セル空間で表現
3	NETLOGO <sup>12)</sup>	ノースウェスタン大学	◎Win, Linux, Mac	○速度・方向をモデル化	○セル空間で表現
4	StarLogo <sup>13)</sup>	MIT	×Mac	○速度・方向をモデル化	○セル空間で表現
5	SOARS <sup>14)</sup>	東京工業大学	◎Win, Linux, Mac	◎スポット間の移動をモデル化	◎スポットのみで表現
6	MASON <sup>15)</sup>	ジョージメイソン大学	◎Win, Linux, Mac	○速度・方向をモデル化	○セル空間で表現

SOARSは特徴として、静的なオブジェクトである「スポット」と動的なオブジェクトである「エージェント」でそれぞれの役割や動作を定義する「ロール」でシミュレーションを実現する。

## 4.2 モデリングの対象とモデリング手法

### 4.2.1 モデリングの対象

本研究では統計情報として、お客様システムのネットワーク機器で送受信するユニキャストパケット数をシミュレーションの対象とした。

統計情報は10分周期毎でSNMPプロトコルにより、取得した累計値である。累計値の為、前回収集分の差分が、前回から10分間にやり取りしたパケット数であり、途中のパケット推移はブラックボックスである(Fig5)。

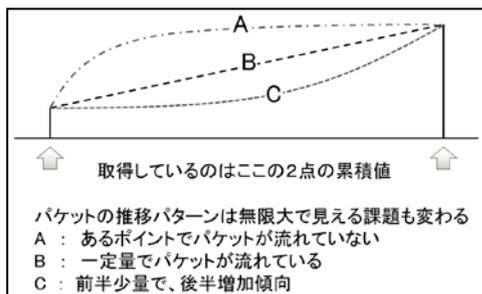


Fig 5:パケット統計情報の特徴

### 4.2.2 モデリング手法

ネットワーク機器やネットワークの物理回線をスポットと捉え、送受信したパケットをエージェントと捉える。スポットでは統計情報から読み取った「時刻」「パケット数」をもとに、指定時刻になったらエージェントを生成する。生成されたエージェントはスポットの経路情報を変数として持ち、エージェントが今いるスポットを認識し、次の経路に移動するという単純な意思決定を行う(Table2)。

Table 2:エージェントロール

項	スポットロールB
項	スポットロールA
1	XX時XX分 機器Aを初期スポット、エージェントロールAのエージェントを生成
2	XX時XX分 機器Aを初期スポット、エージェントロールBのエージェントを生成
項	エージェントロールC
項	エージェントロールB
項	エージェントロールA
1	機器Aの場合、回線Aに移動
2	回線Aの場合、回線Bに移動

### 4.2.3 モデリングの工夫

パケットエージェントの移動は単純な動作を定義しただけで、どのような効果を生むかを把握したいため「機器-回線-機器」で終端し、機器をまたいでの移動はしないようにした(Fig6)。



Fig 6:移動元と移動先の関係

また、10分以内のパケット数の推移はブラックボックスなため、等間隔な移動に変換することもできるが、事実ではなく誤解を与える。そこで利用者に可視化の効果を与えるという点で誤解を与えず、他の回線を流れるパケット数との差が分かるように「大きさで表現すること」が良いと判断した(Fig7)。

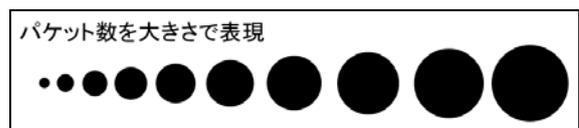


Fig7:パケット数を大きさで表現

また、送信元や送信先毎にパケットを色で分けずる手法を考案した(Fig8)。

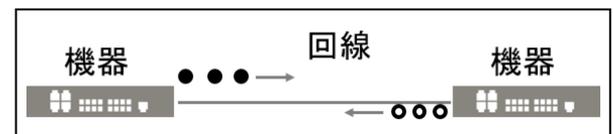


Fig 8:送信元(先)毎の色分け

これらのことは、認知科学分野<sup>16)17)</sup>でも、比喩表現において、「被喩辞」「喩辞」の関係を数学的な関係を証明する試みがあり、どこまでの変換を許容し、最大限の効果を上げるかという点で大変興味深く、説明者する

側と受ける側の情報の共有をスムーズにさせるためにマルチエージェントシミュレータを用いたICTの可視化システムでも重要なカギになると考える。

ICT可視化システムは全体の自動化を目的に統計情報の自動モデリングを目標としている。本研究では分かりやすい表現変換の定式化まではいかないが、「可視化表現の定性的な評価」で問題意識のある利用者にツールの効果をヒアリングすることで、上記2つの工夫点について情報の共有がスムーズにいくか確認した。

## 5 実装とシミュレーションの結果

### 5.1 運用実現に向けた定量的評価

#### 5.1.1 シミュレーションデータの読み込み時間

SOARSでは作成したシミュレーション実行画面は「アニメーション」として利用でき、初期画面からショートカットですぐ起動できるため、説明までに関係者を待たせる時間は運用上、問題ないと判断した。

#### 5.1.2 シミュレーションのデータ量

SOARSで下記の条件で可視化できることが分かり、運用に適用可能と判断した。スポット数、エージェント数は表現できる空間の範囲を説明し、再現期間は、連続で確認できる時間、データの総容量は、利用者がサーバからダウンロードしてPCに保存したとき、持ち運び易いデータの総容量を示す。利用者は問題の箇所を絞り込み、関係者と共創するには1日単位でダウンロードできれば十分であるため問題ないと判断した。

- ① スポット数(機器数,回線数): 42個
- ② エージェント数(パケット数): 1921個
- ③ 再現期間: 1日
- ④ データの総容量: 1M(画像が93%を占める)

### 5.2 工夫したモデリングの実現と定性的評価

工夫したモデリングとして「大きさ」、「色分け」を自動化するうえで、最適な実現方法を試行した。また、その工夫により、利用者にもたらす効果を確認した。

#### 5.2.1 エージェントサイズの効果的な区分方法

パケットは回線毎、時間帯毎に10分間で送受信する数にばらつきがあるが、パケット数を10分以内に等間隔で移動するだけでは利用者の気づきを促進しなかった。そのため10分毎の量を「大きさ」に変換し、最も利用者にとって分かり易い区分方法を検討した。大きさはさらに4つの分割方法を試行し比較した。元のデータは1か月の230ポート分のユニキャストパケットの分布である(Fig9)。このパケット数に対し変換した方法をそれぞれ説明する。

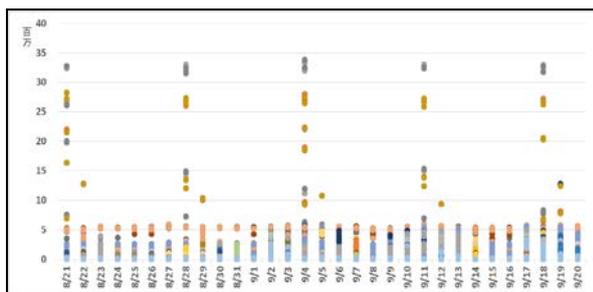


Fig 9:1 か月のパケット数分布

#### 5.2.1.1 上限・下限を均等に10等分の大きさで表現

0を除く下限と上限の値を単純に10分割する方法である(Fig10)。パケット数は回線毎や時間帯で桁が異なる違いがあり、特異なパケット数に引きずられ、殆どが最小の大きさに変換された。シミュレーションとしてほとんどのデータが最小の大きさになるため、まったく利用者の気づきを生み出すことはなかった(Fig11)。

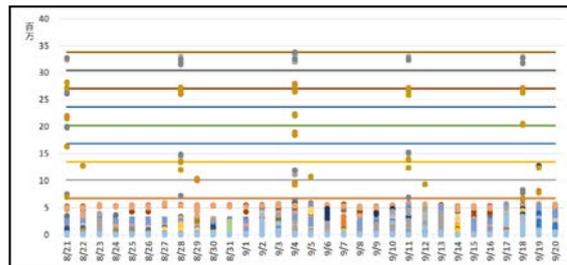


Fig10: 上限・下限の10均等分割の分割状況

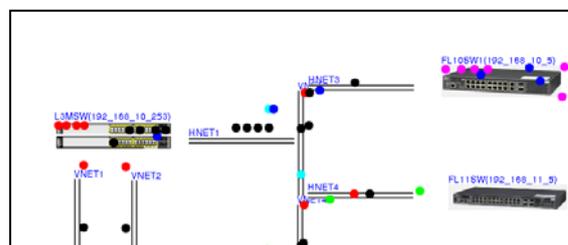


Fig 11:10均等分割のシミュレーション画面

#### 5.2.1.2 平均値を元に10分割の大きさで表現

パケット数全体の平均値を基準に下限から平均まで、を5等分し、その間隔で平均から上限までを分割した。これは単純な下限・上限を10分割するよりもデータの塊の多い箇所を詳細に分割する(Fig12)。

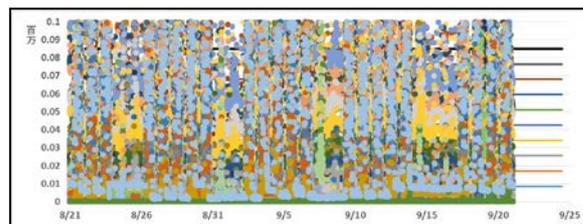


Fig12: 平均値をもとにした分割状況

パケットの差が分かりやすく表れ、制御パケットとデータパケットの差が出せるなどの効果を得た(Fig13)。

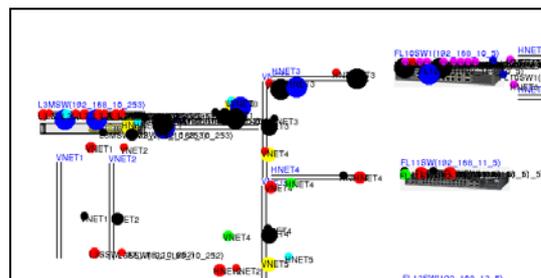


Fig13: 平均値をもとに分割したシミュレーション画面

### 5.2.1.3 機械学習 階層型クラスタリングで分割

機械学習 階層型クラスタリングのアルゴリズムで最も近い値をもつものから分割していく<sup>18)</sup>。分類の感度が良く、分割数を指定しない方法である。本研究ではデータ数が多く、利用できるアルゴリズムがないため、不採用とした。

### 5.2.1.4 機械学習 非階層型クラスタリングで分割

機械学習 非階層型クラスタリングのアルゴリズム K 平均法でクラスタ毎の平均を軸に分割する<sup>19)</sup>。あらかじめ分割数を指定できる。上限・下限を 10 等分に分割した場合より大きさの差が出たが、平均値を基準に分割した場合より、制御パケット、データパケットの差が出なくなった。これは K 平均法のグループ分けアルゴリズムとしての特性で狙ったグループを詳細に分割できないためである(Fig14)。

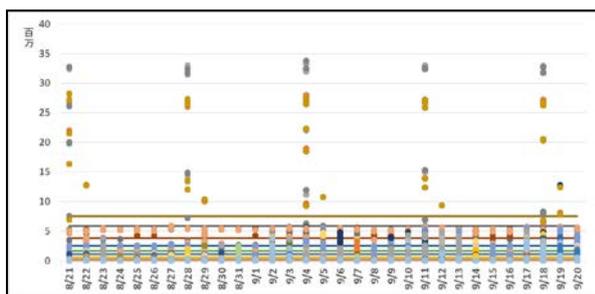


Fig14:K 平均法による分割状況

## 5.2.2 送信元/送信先を考慮した分類の方法

機器から機器に移動するとき、送信元/送信先でそれぞれ分類することによって、どのような効果を得られるか確認した。

### 5.2.2.1 送信元で色分けした場合の効果

送信元毎にエージェントを色分けした。送信元から回線を経由して送信先の機器にエージェントが集まったとき、例えば回線や機器を二重化している場合、経路の偏りを確認できる。今回、実装したことで分かった事として、利用者は全体を俯瞰的に見てから、注目する箇所を絞り込んでいくが、送信先にたどり着いたエージェントが消えてしまうと、利用者は追えなくなってしまう。そのため、送信先にたどり着いたエージェントを機器上に滞留させることで経路の偏りを確認することができた。例として送信元の機器 A~G に色を割り当て、機器に滞留している色つきの円で表現し経路を認識できる(Fig15)。

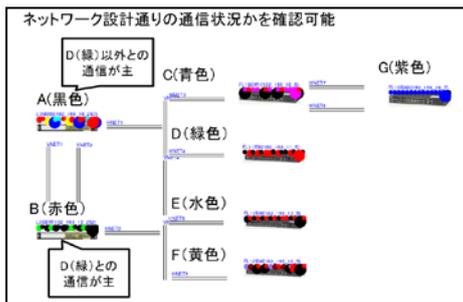


Fig15:送信先で経路の偏りを確認

### 5.2.2.2 送信先を色分けした場合の効果

送信元の機器に注目し、どの機器に向かおうとしているのか分かる。一つの機器から同時に複数の機器に送信する流れを可視化することに向くことが分かった。本研究はユニキャストを対象としたがブロードキャストの可視化に有効と考察した。

## 5.2.3 定性的評価

ICT 可視化システムを用いて、実際のお客様システムから取得したネットワークの統計情報を可視化した。効果を確認した。また、実際にお客様対応をしているコールセンタの担当者である「コールセンタ担当」、お客様先で実際にトラブル対応する「システムエンジニア」に使ってもらい効果と改善点をまとめた。

### 5.2.3.1 可視化の効果

1 つ目の効果として、通信におけるデータの方向が把握できる。ユニキャストパケットは TCP を中心にしており、制御パケットとデータパケットの違いを大きさで把握できることが分かった<sup>20)</sup>。具体的には要求元であるクライアントからは制御パケットで少ないパケット数を送付するため、小さいパケットエージェントが送信先に向かう。応答元であるサーバがある方向の機器からはパケット数が多いため、大きいパケットエージェントが返ってくることがわかった。このことから、パケットエージェントの変化が通常と違い、小さすぎたり、大きすぎたりした場合、その機器間で問題が発生している可能性があるかと絞り込むことができる。

2 つ目の効果として、時間的変化による、機器への負荷を把握できる。業務時間、業務時間外の変化が分かり、大きいパケットエージェントが発生する箇所が把握できる。機器の負荷状況の把握により、トラブルの発生しやすい箇所の特定や設計時に想定していなかったトラブルにつながる箇所の発見につながる。

### 5.2.3.2 コールセンタ担当の意見

通信が遅い等のトラブルでは装置・要因特定に時間を要していた。装置の障害のように LED の点灯/点滅がなく、原因の装置を特定することは困難なため、何もわからないままコールセンタに連絡が入る。そのため、お客様にネットワーク構成図、関連する各装置ログ・設定ファイルを全て提供頂き、関係する装置毎のトラブル対応部門で連携しての切り分けが必要になる。

本研究で提案する ICT 可視化システムを用いると、システム構成の把握が容易にでき、通信遅延トラブルの原因となる調査対象が絞り込め、必要最低限のログ確認で済むため、迅速なトラブル解決が可能となる。

### 5.2.3.3 システムエンジニアの意見

システム構築時に設計通り、通信できていることの確認に用いることができる。パケットの送信元と送信先の関係が色で確認できるので、設計通りパケットが流れていることを確認できる。

## 5.2.4 システム全体の改善点

### 5.2.4.1 コールセンタ担当の意見

コールセンタはお客様から連絡をいただくと、トラブルの内容を的確に把握し、瞬時にお客様に依頼内容を伝える必要がある。そのため、常時、監視ツールで統計情報を蓄積しておき、必要なときに、ICT 可視化システムでお客様と状況を共有したい。また、装置毎のトラブル対応部門にも共有可能にしてほしい。

ネットワークだけでなく、ソフトウェアの動作状況も確認できると良い。

### 5.2.4.2 システムエンジニアの意見

ユニキャストパケットだけでなく、ブロードキャストで余計なパケットが流れていないかを確認できるとよい。効果としてセキュリティ的な攻撃の予兆や、設計ミスによるブロードキャスト通信が把握できる。

マニュアルを見るほど難しくなく理解できた。簡単に色々な表現も含めたアプローチで気づかせてくれるので良いが、他にもデータの表現を変えることで把握できる方法を専門家のノウハウを反映してほしい。

## 6 考察と今後の展開

### 6.1 考察

ICT 可視化システムの定量的評価で実際の運用を考慮した観点で問題ないことを確認した。また、システムエンジニアやコールセンタ担当などの利用者に過去の経験を踏まえて可視化機能の効果や改善点の意見をいただいた。

また、本研究では事実情報である統計情報を可視化するために「必要な変換」を実施したが、変換の仕方によって可視化の気づきを促進し、利用者の分析スキルに依存しない手法を実現できることが分かった。

また、統計情報をモデリングし、事実情報を踏まえて利用者と共創するアプローチは、必要なセンサー等で計測し、モデル化することで、社会シミュレーションにおいても、分析者の考えるシナリオの現実性を向上させるヒントになると考える。

### 6.2 今後の課題と取り組み

今後は実際にお客様、コールセンタ担当、システムエンジニアと連携しサービスとして効果があるか PoC を実施する。

合わせてサーバ内部のプロセスがリソースに与える影響を可視化する。また、動作の差分から異常をシミュレーションや異常エージェント因子を加えた場合の予兆解析を試みる。

## 参考文献

- 1) 総務省,平成 30 年版 情報通信白書のポイント,https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd111200.html,(2020-1-14)
- 2) 片山,横山,加藤,高橋,横田,杉安,木下:エージェント型 IoT デバイスの連携による避難行動支援機能,情報処理学会東北支部研究報告,Vol.2016,1/5(2017)
- 3) アイビーシー株式会社,第 39 回サイレント障害の解決に向けて,https://system-answer.com/column/39/,(2020-1-14)
- 4) 加藤,サービスの安定稼働を阻むサイレント障害,https://thinkit.co.jp/article/1089/1?page=0%2C2,(2020-1-14)
- 5) 石田,寺野,鳥居,村上:社会シミュレーションと参加型デザイン,IPJS Magazine,Vol48 No.3,271/277(2007)
- 6) 石西,市川,田沼,出口,金谷:エージェントベースシミュレーションによる高い致死性を持つ感染症対策におけるリスク分析手法の提案,システム制御学会論文誌,Vol.27 No.7,319/325(2014)
- 7) 市川,出口:社会シミュレーションプラットフォーム SOARS を用いた教育と研究,第 8 回横幹連合コンファレンス,E-3-3,1/8(2017)
- 8) 中西,石田: マルチユーザマルチエージェント仮想都市空間,http://www.ai.soc.i.kyoto-u.ac.jp/publications/03/hnp\_jaws2003.pdf#search=%27%E3%83%9E%E3%83%AB%E3%83%81%E3%83%A6%E3%83%BC%E3%82%B6%E3%83%9E%E3%83%AB%E3%83%81%E3%82%A8%E3%83%BC%E3%82%B8%E3%82%A7%E3%83%B3%E3%83%88%E4%BB%AE%E6%83%B3%E9%83%BD%E5%B8%82%E7%A9%BA%E9%96%93%27,(2020-1-14)
- 9) 市川,後藤:シミュレーション言語の特徴と比較,計測と制御,第 52 巻第 7 号,595/600(2013)
- 10) 株式会社 NTT データ数理システム,S4 Simulation System,https://www.msi.co.jp/s4/,(2020-1-14)
- 11) 株式会社構造計画研究所,artisoc,https://www.kke.co.jp/solution/theme/artisoc.html,(2020-1-14)
- 12) ノースウェスタン大学,NETLOGO,https://ccl.northwestern.edu/netlogo/,(2020-1-14)
- 13) マサチューセッツ工科大学,StarLogo,https://education.mit.edu/project/starlogo-tng/#overview,(2020-1-14)
- 14) 東京工業大学,SOARS,https://realworldos.tumblr.com/download,(2020-1-14)
- 15) ジョージ・メイソン大学,MASON,https://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/#Download,(2020-1-14)
- 16) 布山,西郷,比喩理解における意味構造の対応づけ:不定化した自然変換の探索として,https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jsai2018/4Pin1-32/public/pdf?type=in,(2020-1-14)
- 17) 池田,高橋,布山,西郷:不定自然変換理論による比喩理解モデリングの計算論的実装へ向けて,2019 年度日本認知科学会第 36 回大会,,227/236(2019)
- 18) 株式会社 ALBERT,階層クラスタ分析とは,https://www.albert2005.co.jp/knowledge/data\_mining/cluster/hierarchical\_clustering,(2020-1-14)
- 19) 株式会社 ALBERT,非階層クラスタ分析とは,https://www.albert2005.co.jp/knowledge/data\_mining/cluster/non-hierarchical\_clustering,(2020-1-14)
- 20) ネットワークエンジニアとして,TCP - コネクションの確立と切断,https://www.infraexpert.com/study/tcpip9.html,(2020-1-14)