

## インターネット接続のトラブル解決を支援する 通信プロトコルの表現方法の評価

宮本 勝 齋藤耕介 中谷桃子 加藤洋一

日本電信電話株式会社 NTT サイバーソリューション研究所  
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

miyamto.masaru@lab.ntt.co.jp

インターネット接続のトラブル解決支援ツールを対象に、通信プロトコルの可視化方法と、訓練時に利用するメタファの2要因を統制し、評価した。可視化方法は、複数の通信プロトコルの接続状況を、一度に全て表示する条件と、逐次表示する条件を比較した。また、訓練時に用いるメタファが、可視化方法が利用するメタファと一致する／しないの条件を比較した。実験の結果、一部の課題と評価尺度で、逐次表示条件とメタファが不一致条件の有意な有効性が検出されたが、結果の良かった条件に既存知識の高い被験者が偏っていたことが分かり、その影響が無視できないことが示唆された。また、故障原因の可視化情報に曖昧性があり、常識的な推論が働かないインターネットならではの故障原因の推定が困難である傾向が見出された。

## Evaluation of communications protocol representing method for Internet troubleshooting

Masaru Miyamoto, Kosuke Saito, Momoko Nakatani, Yoichi Kato

NTT Cyber Solutions Laboratories, NTT Corporation  
1-1 Hikarino-Oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847

miyamto.masaru@lab.ntt.co.jp

To support the troubleshooting of complex home networks, we qualitatively and quantitatively evaluate communications protocol representation methods. Twenty subjects participated. We compare two visualization approaches: visualize all communication protocols at once or visualize each protocol on demand. In addition, we compare two metaphor approaches used in the visualizations; metaphors that match those used in training and dissimilar metaphors. As a result, significant differences were observed in some tasks and at some scales. But we found that the prior knowledge of subjects created bias in the performance results; the influence of prior knowledge cannot be ignored. Furthermore, we observe that it is difficult to reason well about failure causes if the visualized information representing the failure is ambiguous and common sense reasoning cannot be used due to the symptoms presented.

### 1 はじめに

#### 1.1 家庭における情報環境の複雑化

インターネットの普及と高度化により、家庭における情報環境は、便利になると同時に複雑化している。PC1台のみをインターネットに接続していた時代から、電話、テレビ、プリンタ、ゲーム機、AV機器等を接続し、複雑なホームネットワークを構成するようになってきた。また、通信媒体も有線のみならず、無

線による接続も普及してきている。

この複雑化により、接続トラブルが頻発し、インターネットサービスを提供する企業に対して、問合せが多発し、トラブル対応が積滞している。このため、本稿では、今後の家庭における情報環境を継続して快適なものにするために、インターネットサービスの保守者が、これらのトラブルをより効率的に解決するための支援方法を検討する。

## 1.2 インターネット接続のトラブル解決

Schaafstalら [1] は、トラブル解決のプロセスを、1) 問題の定式化、2) 故障原因の推定、3) テスト、4) 修理と評価の4つに分類している。1) 問題の定式化の工程では、異常部分のみならず、正常な部分を把握することで、次に状況把握する範囲を切り分けていと述べている。

インターネット接続のトラブル解決も同様なプロセスを踏むが、旧来のアナログ電話のそれに比べて、難易度が高い。アナログ電話では、電話機から電話局間のケーブルのどの区間まで疎通があるかを検査し、探索する通信路を切り分けることで問題を定式化する。

一方、インターネット接続の場合は、上記の通信路の切り分けに加えて、通信プロトコルの切り分けも必要である。この通信プロトコルは、階層構造を持ち、より低い層の通信プロトコルの接続が正常でないとい、その上位の通信プロトコルは正常になりえないという階層関係がある。このため、どの通信プロトコルまで接続が正常かを把握し、次に状況把握する範囲を狭めることが有効だと考えられる。

具体的には、まず配線という物理層があり、その上で、IP アドレスを送受信端末の識別子とする IP 層があり、さらにその上で、ホームページの送受信、メールの送受信、IP 電話の通話などのアプリケーション層が動作するという仕組みになっている。

どのケーブルまで疎通があるかという通信路の切り分けは、家電製品の電源ケーブルなどと類似しているため、日常生活の経験を活用することができる。一方、通信プロトコルの切り分けは、そもそも通信プロトコルという概念が日常生活で触れる機会がほとんど無く、目に見えないため、まず問題の定式化が困難となる。

## 1.3 通信プロトコルの可視化方法

通信プロトコルが目に見えないため、それを可視化し、トラブル解決を容易にするための従来研究が存在する。Burnsら [2] は、大学のネットワーク管理のために、ネットワークの接続状況を3DのCGにより可視化する方法を提案した。この方法では、ネットワーク全体のアプリケーション層の接続状況を俯瞰する状態から、個々の機器の物理層までの接続状況にズームアップできる。この提案手法を、従来の市販のツールと比較評価した結果、表示方法が複雑な分、トラブルの発見時間は従来よりも長かったが、トラブル原因の推定精度は高く、解決時間も短いという結果を得た。また、Duezら [3] は、さらに大規模なネットワークを想定し、ハイパーボリックツリーを用いて、大量の端末

を効率よく可視化する方法を提案した。

しかし、我々が対象としているのは、全国の各家庭の家庭内ネットワークであるため、ネットワークも小規模であり、保守者の経験にもばらつきがある。特に、通信方式がアナログからインターネットへ移行しているため、アナログ系の保守者で、インターネット初心者の方が大量に存在しており、これらの保守者への対応が急務である。このようなインターネット初心者の保守者のことを、以降は”IP系初心者”と呼ぶ。

Burnsらのように3DのCGで可視化することは、実装コストが高い。2次元平面に、ネットワークの各通信路に対して複数の通信プロトコルの接続状況を一度に表示した場合(以下、全表示条件)、全てが一覧できるというメリットがある。その反面、IP系初心者にとっては、情報量が多すぎて、認知的負荷が高くなるというデメリットがある。

そこで、以下の仮説を設定する。

**仮説1: IP系初心者を前提とした場合、全表示条件に比べて、一度に一つの通信プロトコルの接続状況のみを表示し、逐次表示する通信プロトコルを切り換える方法(以下、逐次表示条件)が、トラブル解決を効率化する。**

しかし、逐次表示は、表示する通信プロトコルの切り替え操作が必要になるため、この操作コストが、どう影響するか注目したい。

## 1.4 訓練時に利用するメタファ

また、通信プロトコルを可視化し、それを理解をする上では、IP系初心者が描くメンタル・モデルが影響する。電気の仕組みを理解していない人に対して、水の流れや群れの移動のメタファを利用して理解することで、人間が持つ常識を活用して、不足している知識を補うような常識推論という仕組みが機能することが示されている [4]。また、水の流れか、群れの移動のメタファかによって、前者が電流の理解が、後者が抵抗の理解がしやすいという結果が出ている。

電気をインターネットに置き換えた場合、水の流れのメタファは一種類の流れではなく、複数の流れの積層として表現できる。下位のプロトコルがうまく流れると、それが土台となり、上位のプロトコルがはじめて流れるという階層関係を類推させる。

また、道路上の車のような群れの移動のメタファは、プロトコルごとに車の種類が存在し、下位のプロトコルの車が目的地に到着し、戻ってきて初めて上位のプロトコルに対応する車が発進できるようになりレーする車として表現することができる。

いずれの場合でも、訓練時に利用したメタファと、

可視化方法が利用するメタファが一致したほうが、可視化情報の理解は容易だと考えられる。

そこで、以下の仮説を設定する。

**仮説 2：訓練時に保守者が利用するメタファと可視化方法が利用するメタファが一致したほうが、トラブル解決を効率化する。**

本稿の目的は、上記の仮説 1, 2 を検証することであり、そのための実験について、以降で解説する。

## 2 方法

### 2.1 被験者

被験者は、テクニカルサポートの業務経験、あるいはそれに相当する IT リテラシーがあると考えられる 20 名を選定した。被験者には、実験への参加に対して謝金を支払った。

この 20 名に対し、可視化方法 2 水準と、訓練時に利用するメタファ 2 水準を直交させて割り付け、各要因の 1 水準当り 10 名ずつの被験者を割り当てた。学習効果の影響がでないように一人の被験者が複数の条件の試行を繰り返さない被験者間計画とした。

### 2.2 装置

本実験では、コールセンタによる修理ではなく、現地での修理を前提とした。コールセンタでの修理には、エンドユーザとオペレータの会話の要因も影響するため、現地での修理のほうが純粋に故障切り分けタスクを評価できると考えた。

まず、実験室に、撮模擬的な家庭の部屋を再現し、その部屋にホームネットワークを構築した。この部屋を、ハーフミラー越しに観察し、天井等に埋め込んだカメラを用いて撮影し、事後の分析に活用した。ホームネットワークの構成としては、ルータに PC 2 台と電話機を接続し、インターネットとひかり電話 (NTT の IP 電話サービス) が利用できる環境を用意した。

また、ホームネットワークの接続状況を可視化するために、ポート複製機能のあるハブを 2 台用意し、ルータの WAN ポートと LAN ポートに接続されるケーブルを、それぞれ前述のハブを経由して結線した。その 2 つのハブの複製先ポートを保守用 PC に LAN ケーブルで接続することで、ホームネットワークの中を流れる情報を保守用 PC で取得し、可視化することとした。尚、実験時では、可視化ソフトはプロトタイプであったため、取得した情報をもとに自動的に可視化することはできなく、静的な画面を用いて実験を行なった。

### 2.3 手順

まず、実験の目的を説明した後、インターネットのトラブル解決に関して被験者が既に持っている知識 (以下、既有知識) を評価した。その後、予習、初期設定の体験、復習を実施した。ここまでの訓練フェーズであり、この予習、復習で用いる教示資料で、訓練時に利用するメタファを 2 水準用意し、統制した。

テストフェーズでは、まず、初期設定の体験で構築したネットワークに、PC を 1 台追加したネットワークに対して、前述のハブを経由した結線を実演しながら保守用 PC の概要を説明をして、ネットワークを可視化した画面の見方を解説した教示資料を読むように指示した。その後、実験者がインターネットに接続できないトラブルを仕込み、それを被験者が解決する練習課題を与えた後、3 種類の本課題を与えた。被験者には、保守用 PC に表示されたネットワークの監視結果を参考にしてトラブル解決を行なうよう指示した。

仕込んだトラブル原因は、練習課題がルータの LAN ポートのケーブル半ざし、課題 1 が PC の DNS サーバアドレスの設定ミス、課題 2 がルータの WAN ポートのケーブル半ざし、課題 3 がルータに設定したプロバイダ認証パスワード入力ミスとした。各課題後に、原因推定の正確性をアンケートで評価した。練習課題においては、質問も許容し、不明点を解消するよう指示したが、本課題では被験者間で条件を統一するため質問を許容しなかった。それぞれの課題の制限時間は 20 分とした。ここまでのテストフェーズであり、ここで用いる可視化方法を 2 水準用意し、統制した。

課題終了後、各種主観評価を聞くアンケートを実施した。実験は、一人当たり約 3~4 時間で終了した。

### 2.4 実験条件

#### 2.4.1 可視化方法

通信プロトコルの可視化方法としては、前述の一度に全てのレイヤーの接続状況を可視化する全表示条件と、一つずつ提示する逐次表示条件の 2 水準を用意し、比較した。

##### 課題 1

図 1(a) は、全表示条件の課題 1 の表示例である。2 台の PC は、インターネットとフレッツ・スクウェア (NTT の地域 IP 網) に接続し、電話機は、ひかり電話サーバ (ひかり電話用の SIP サーバ) に接続することを、このネットワーク構成図により可視化している。

このネットワーク構成図のノード間を結ぶ経路上に示されている各矢印が、各プロトコルの接続状況を示している。各プロトコルは、IP 系初心者が理解しや



図 1: 通信プロトコルの可視化方法の全表示条件 (a) と逐次表示条件 (b) のサンプル

すいように日本語化して表示した。例えば、HTTP プロトコルは、「ホームページの受信」と翻訳している。画面左上の凡例では、線分の色とプロトコルの対応を示している。また、この凡例の示すプロトコルの上下方向が接続の階層関係を示しており、下位プロトコルが接続できていなければ、上位プロトコルは接続できないという関係を示し、その順番に従って、矢印は積層されている。さらに、画面左下の凡例では、矢印の形と接続状況の種別の対応が示されている。

この課題 1 の故障原因は、PC1 における DNS サーバアドレスの設定ミスである。DNS サーバとは、Web サイト等の URL を IP アドレスに変換する機能を持つため、画面上では「サーバ名の IP アドレス変換」と翻訳している。DNS サーバのアドレスを間違えると、このサーバ名の IP アドレス変換要求が DNS サーバに送られず、結果的に返信がない。ただし、この時点では、要求元である PC が送信先を間違っているのか、ルータが悪いのか、インターネット上の DNS サーバが悪いのかは分からない。このため、ルータとインターネットおよびフレッツ・スクウェアの経路と PC2 とルータ間の経路は、全てのプロトコルが「接続 OK」であるが、PC1 とルータ間の「サーバ名の IP アドレス変換」のプロトコルに対応する線分は、全表示条件においては「OK とは言えない」ことを示す片方向の矢印で可視化した。

一方、1(b) は、逐次表示の表示例である。画面左上の凡例がマウスでクリック可能なメニューになっており、選択された通信プロトコルの接続状況のみが、ネットワーク構成図の各経路の線分の色で可視化されている。画面左下の凡例では、線分の色と接続状況の対応が示されている。課題 1 の例では、初期画面で「ホームページの受信」というアプリケーション層の接続状況が表示されており、この層では、ルータとインターネットおよびフレッツ・スクウェアの経路と PC2 と

ルータ間の経路は、「接続 OK」であることを示す緑色になっているが、PC1 とルータ間の経路は、「データなし」を示すグレーになっている。その後、ユーザには、「電気的な接続」という最も低い層のプロトコルから徐々に上位のプロトコルの接続状況を閲覧するように教示しており、「電気的な接続」、「IP アドレスによる接続」までは「接続 OK」であるが、「サーバ名の IP アドレス変換」のプロトコルを選択すると、PC1 とルータ間は、「OK とは言えない」ことを示すオレンジ色の点線で表現されている (図 1(b))。

尚、ネットワーク構成の各経路に対応するプロトコルの種類は、一様ではなく、経路ごとに異なる。例えば、プロバイダ認証というプロトコルは、ルータとインターネットおよびフレッツ・スクウェア間の経路にしか該当しない。また、ひかり電話の通話というプロトコルも、電話とルータ間、ルータとひかり電話サーバ間にしか対応しない。このため、上記課題 1 の逐次表示条件の例で、「プロバイダ認証」のプロトコルを選択すると、PC とルータ間は疎通が無い状態となる。この特徴は、本ツールの画面の見方の教示時に、被験者に解説している。

## 課題 2

課題 2 の故障原因は、ルータの WAN ポートのケーブル半ざしである。このため、ルータとインターネットおよびフレッツスクウェア間の経路に、「電気的な接続」という最も低い層から疎通がない。また、その結果、PC からのサーバ名の IP アドレス変換要求に対して、返信を返すことができない。

全表示条件では、この接続状態を、ルータとインターネットおよびフレッツスクウェア間の経路の積層された線分全てを「データなし」の状態にし、PC1、PC2 からの「サーバ名の IP アドレス変換を「OK とは言えない」ことを示す片方向矢印で表現した。

一方、逐次表示条件では、初期画面の「ホームペー



ジの受信」では、全ての経路が「データなし」状態である。「電氣的な接続」では、ルータとインターネットとフレッツスクウェア間が「データなし」の状態、ルータとPC1、2間は「接続OK」である。その後、保守者が、「サーバ名のIPアドレス変換」のプロトコルを選択すると、ルータとPC1、2間で、「OKとは言えない」ことを示すオレンジ色の点線が表示される。

### 課題3

課題3の故障原因は、プロバイダの認証パスワードの入力ミスである。この故障原因は、認証サーバがエラーメッセージを出力するため、明確なエラーを表示することができる。

全表示条件では、ルータとインターネット間の「プロバイダ認証」プロトコルの線分上に×マークを示し、「接続NG」であることを示している。逐次表示条件では、「プロバイダ認証」のプロトコルを選択すると、ルータとインターネット間が赤い線分で「接続NG」であることを示すこととした。

### 比較

全表示条件では、一度に全ての情報が表現できる反面、経路とは独立した線分でプロトコルの接続状況を表現しなければならない。一方、逐次表示条件では、経路と接続状況が一对一に対応するため、物理的に目に見えるケーブルと、接続状態が対応付けやすい。しかし、現在表示されているプロトコル以外の情報は、保守者が明示的にプロトコルに対応する凡例をマウスでクリックしないと表示されないため、物理的な操作コストがかかる。全表示条件と逐次表示条件を比較することで、前述の仮説1を検証する。

#### 2.4.2 訓練時に利用するメタファ

訓練フェーズの予習と復習においては、教示資料によりインターネットのつながる仕組みを解説した。この解説で利用したメタファとして、積層された水の流れのメタファと車がリレーするメタファの2水準を用意し、比較した。

予習においては、ホームページが閲覧できるための仕組みと、その構成要素である各通信プロトコルの意味を解説したA4の紙媒体8ページの教示資料を読むよう指示した。復習においては、実際に体験した初期設定の各工程と通信プロトコルの対応を解説した教示資料を読むよう指示した。復習用資料もA4の紙媒体8ページであった。2水準とも予習と復習の内容と量は同一であり、利用するメタファのみを図と文章を修正して統制した。

積層された水の流れのメタファを利用した解説では、プロトコルが矢印で表現され、積層されており、下位

のプロトコルが上位のプロトコルの土台になっていることを、矢印の上下関係で示した。一方、車がリレーするメタファを利用した解説では、プロトコルが道路上を走る車を表したアイコンで表現され、車の色がレイヤーの種別を表している。上位のプロトコルに対応する車は、下位のプロトコルに対応する車が戻ってくるまで待っており、戻ってくるとボタンタッチをして発信できることで、プロトコル間の階層関係を表現した。

この積層された水の流れのメタファは、リレーする車のメタファと比較して、プロトコルに対応する矢印を積層しているところが、今回の可視化方法が表現しているモデルと一致している。そこで、リレーする車のメタファよりも、積層された水の流れのメタファを使って訓練したほうが、トラブル解決を効率化するかを検証することで、前述の仮説2を検証することとする。

## 3 結果

### 3.1 成功率

図2に、横軸に課題の種類、縦軸に成功率のグラフを示す。ここでは、タイムリミットである20分以内に課題達成した場合を成功と定義し、各条件に割り付けられた10名の被験者を母数として成功率を計算した。全体の傾向としては、課題1の成功率が比較的高く、課題2の成功率が低く、課題3で成功率が若干向上している。

可視化方法については、課題1においては、全表示条件の成功率が70%に対して、逐次表示条件が100%と相対的に高い成功率を示している。これは、仮説1通りである。しかし、課題2、3に関しては両者に差はほとんどない。

また、メタファ要因については、課題1に関しては条件間に差はないが、訓練時と可視化方法が利用する

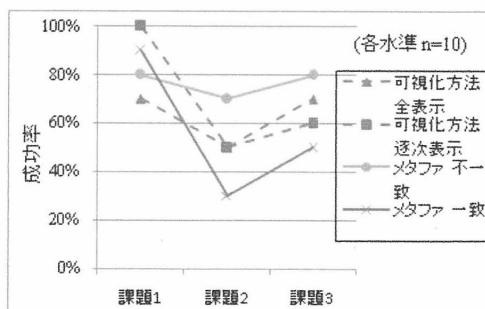


図2: 課題ごとの成功率

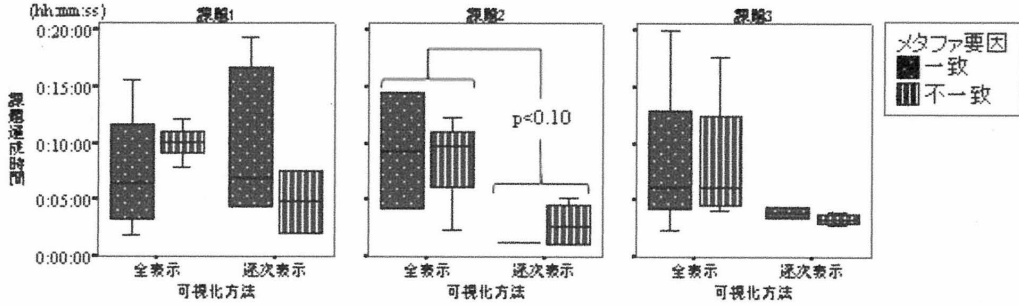


図 3: 課題達成時間の層別箱ひげ図

メタファが不一致のほうが、課題2で40%、課題3で30%成功率が高かった。これは、仮説2と逆の結果である。

### 3.2 課題達成時間

課題ごとの成功した被験者の課題達成時間の層別した箱ひげ図を図3に示す。また、この課題達成時間を従属変数とし、可視化方法要因とメタファ要因による二元配置の分散分析を行なった。

その結果、課題2における可視化方法要因は、 $p < 0.10$ と有意傾向となり、逐次表示条件のほうが、全表示条件よりも課題達成時間は短い傾向にあった。これも仮説1通りである。一方、可視化方法要因の課題1, 3、およびメタファ要因の3つの課題に関しては、有意な傾向は見出せなかった。

### 3.3 原因推定の正確性

各課題終了後のアンケートにより、被験者による保守用PCの1) 監視結果閲覧直後の状況把握、2) 推定した故障原因とその根拠、3) 課題終了時と監視結果閲覧直後の状況認識の差分について質問した。その回答内容により、原因推定の正確性を以下の簡条書きの4段階で評価した。この値は、高いほど原因推定が正確であることを示す。

1. 監視結果閲覧直後も、課題終了後も推定原因が間違っている
2. 監視結果閲覧直後は推定原因は間違っているが、課題解決後は推定原因は正しい
3. 監視結果閲覧直後は推定原因は正しいが、根拠が書かれていないか、間違っている
4. 監視結果を見た直後に推定した原因とその根拠が正しい

各課題について、2要因の条件間の原因推定の正確性に差があるかを、順位と検定により行なった。その

結果、いずれの課題でも、2要因とも有意な効果は見出せなかった。

## 4 考察

### 4.1 既有知識の影響

各被験者のインターネット接続のトラブル解決に関する既有知識を定量化するため、実験直前に、DNSなどのプロトコル名やipconfigなどのOSのコマンド名など17種類の専門用語に対し、知らない(0点)、名前だけ知っている(1点)、概要は大体知っている(2点)の3段階で評価してもらった。本稿では、この結果の総和を既有知識値と定義する。この値は34点満点で、数値が高いほど、既有知識が豊富であることを示す。

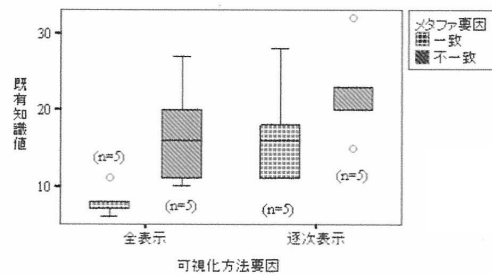


図 4: 実験条件ごとの既有知識値の箱ひげ図

図4に実験条件ごとの既有知識値の箱ひげ図を示す。これより、可視化方法では逐次表示条件に、メタファ要因では訓練時に利用するメタファが可視化方法が利用するメタファが不一致の条件に、既有知識値が高い被験者が偏っていることが分かる。この既有知識値が高い条件は、結果が良かった条件と一致するため、結果が主効果による効果なのか、既有知識による効果なのか分からない。

今回は、被験者の既有知識値を考慮せず、各被験者

をランダムに実験条件を割付けたが、結果的に想定以上に被験者間の既有知識がばらついていた。このようなばらつきがあるならば、事前に既有知識を評価した上で、条件間で均等にする工夫をすべきだったと考えられる。このため、この既有知識値の条件間の差を考慮した上で、結果を解釈する必要がある。

#### 4.2 可視化方法要因の影響

成功率、課題達成時間で一部の課題の結果に、仮説1通りの逐次表示条件の優位性を示す結果が見出された。以下では、この結果の理由について考察する。

成功率に関しては、課題1において、逐次表示条件の10人全員が成功したのに対し、全表示条件では10人中3人が失敗し、成功率に30%の差が生じた。しかし、全表示条件で失敗した被験者の既有知識値は、それぞれ6点、10点、11点と最も低い層に属していた。また、推定した課題1の故障原因も、真の原因がPCのDNS設定ミスであるにも拘らず、3名とも直前の練習課題で経験した配線ミスを原因と推定しているなど、未経験の故障原因を推定するための理解不足が観察された。これより、可視化方法要因では全表示条件に、既有知識値の低い被験者が偏っていることが、成功率の差の原因とも考えられる。

課題達成時間に関しては、課題2、3に関して、いずれも逐次表示条件のほうが、全表示条件よりも課題達成時間は短い傾向にあった。しかし、課題2、3の課題達成時間と既有知識値の散布図を見ると、全表示は、逐次表示に比べ既有知識が低い層が多く、その層の各2名の課題達成時間が極端に長かった。よって、課題達成時間の差の原因も、全表示条件の可視化方法に、既有知識値の低い被験者が偏っていたためとも考えられる。

よって、逐次表示条件の可視化方法が、全表示条件に比べて優位性を示す結果は、既有知識値が高い被験者が逐次表示条件に偏っていたことの影響が無視できないため、逐次表示条件の優位性を断定するのは危険だと考えられる。今後は、被験者の既有知識値の統制した実験方法を検討する必要がある。

但し、両者の特徴はいくつか見出せた。逐次表示条件は、ユーザが自ら見るべきプロトコルを選択するため、本来見て欲しいプロトコルがあっても、その他のプロトコル画面で問題があると思いつち止まると、中々先に進まず、必要な画面までたどり着かないこともあった。また、全表示条件は、情報量過多になると予想していたが、思ったよりも分かりやすいという感想が多く、この程度の複雑さなら、理解を妨げるほどの情報量過多にはならない可能性も考えられる。

#### 4.3 メタファ要因の影響

成功率に関して、仮説2と逆に、訓練時に利用するメタファと可視化方法が利用するメタファが不一致の条件の優位性を示す結果が見出された。以下では、この結果の理由について考察する。

成功率に関しては、訓練時で利用するメタファと可視化方法が利用するメタファが一致する条件よりも、不一致条件のほうが、課題2で40%、課題3で30%成功率が高かった。課題2、3に関しては、既有知識値が平均的な層も失敗していたが、一致条件では、既有知識値の低い層の失敗者がいた分、成功率を低下させていた。不一致条件のほうが既有知識値が高い層が偏っていることから、この結果の差の要因が、メタファ要因のみならず、被験者の既有知識の偏りの影響も無視できないと考えられる。

よって、訓練時に利用するメタファと可視化方法が利用するメタファが一致していないほうが、一致しているよりも、優位な結果が存在していたが、既有知識値が高い被験者がこの不一致条件に偏っていたこともこの結果の無視できない影響を与えていたと考えられるため、不一致条件の優位性を断定できない。

#### 4.4 課題種別の影響

図2を見ると分かるように、既有知識値の他には、課題種別が結果に与える影響が強いことが分かる。図5に、課題ごとの原因推定の正確性の分布を示す。枠内の数値は、3.3の原因推定の正確性の4段階評価に対応しており、値が高いほど正確であることを示す。

課題1の故障原因は、PCにおけるDNSサーバアドレスの設定ミスであった。この課題は、相対的に成功率が高いが、課題達成時間はばらついていた。また、監視結果閲覧直後に故障原因を正しく推定できている割合が低かった。これは、「サーバ名のIPアドレス変換」というあまり馴染みのない専門的な設定項目であるため、状況が分からないながら、試行錯誤を行い、故障原因を正しく推定し、あるいはきちんと推定しなくても、あらゆる設定手順をやり直すことで解決した

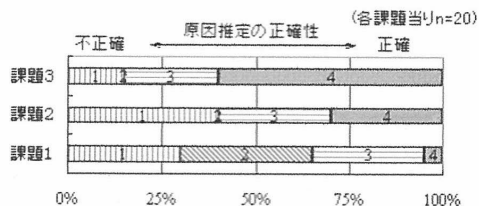


図5: 課題種別ごとの原因推定の正確性の分布

ケースが多い傾向が示唆される。

課題2の故障原因は、ルータからWANポートのケーブル半ざしであった。この課題は、相対的に成功率が低く、課題達成時間は短いほうに偏っており、故障原因が正しく推定できている層と、間違っている層が2極化していた。ケーブルが中途半端に抜けているという物理的なトラブルであるため、気づけば原因も明確で解決するが、気づかないと解決できない課題と言える。

課題3の故障原因は、プロバイダの認証パスワードの入力ミスであった。この課題の成功率は、課題2より高く、課題1よりも低い。また、課題達成時間は、短いほうに偏っており、その偏りは課題2よりも急激である。また、故障原因も監視結果を閲覧直後に正しく把握している確率が高い。これは、監視結果に明示的に故障原因が示されているため、故障原因は分かるが、その解決方法が、課題1に比べると複雑なため、相対的に成功率が低くなったためと考えられる。

総合すると、課題の難易度を決めるのは、(1-1)可視化情報の明確さと、(1-2)故障原因の常識推論の利用可能性、(2)修理プロセスの複雑さと言える。(1-1)、(1-2)は、本稿の冒頭で紹介したSchaafstalら[1]が分類したトラブル解決のプロセスのうち、1)問題の定式化、2)故障原因の推定の難易度を決め、(2)修理プロセスは、3)テスト、4)修理と評価の難易度を決めるとも解釈できる。

特に、原因推定の正確性の難易度が高いのは、課題1のDNSサーバアドレスの設定ミスだった。このトラブルでは、明確なエラーメッセージをシステムが出力できないため、可視化情報に曖昧性が残る。また、「サーバ名のIPアドレス変換」という概念が日常生活では触れる機会がないため、配線ミスのような気づけばすぐに理解できるというものではない。こういったインターネットならではのトラブル解決の難しさに対して、曖昧性をなくすために次の適切な検査項目をシステム側から提示することや、新規の概念を既存の概念から類推しやすいような適切なメタファの利用が課題だと考えられる。

## 5 結論

インターネットの故障修理の効率化するために、2つの仮説を立て、これを検証するため通信プロトコルの可視化方法要因と訓練時に利用するメタファ要因の2つの要因を、実験により評価した。その結果、一部の課題と評価尺度で、仮説1通りと、仮説2とは逆の有意な結果が検出された。しかし、結果の良かった条件に既有知識の高い被験者が偏っていたことが分か

り、この既有知識の影響があることが示唆された。

また、課題の難易度の影響も大きいことが分かり、特に原因推定を困難にするのは、故障原因の可視化情報に曖昧性があり、常識的な推論が働かないインターネットならではのトラブルである傾向が見出された。

## 6 今後の課題

故障修理のパフォーマンスには、既有知識のレベルが予想以上に大きく反映されることが分かった。このため、学習効果の影響を考慮して被験者間計画で実験する場合には、予め各被験者の既有知識を測定し、被験者グループ間で既有知識レベルが均等にばらつくように実験条件の割り付ける必要がある。また、被験者内計画にして、学習効果をうまく除去する方法を検討することも考えられる。

また、与える課題種別により、観察される故障修理プロセスの性質は大きく異なる。特に、インターネットのような複雑なソフトウェアの組合せにより構成されるシステムにおいては、動作原理を保守者が完全に掌握できずに、ブラックボックス化された状態で保守することが想定される。ブラックボックスの中身を推定するときに、曖昧性をどのように除去していけばいいのか、メタファによる類推により足りない情報を既有知識で補完できるのかなどが課題である。

さらに、今回の評価はプロトタイプで行ったため、保守者にフィードバックされるネットワークの接続状況が静的な情報だった。今後は、ネットワークの接続状況をリアルタイムにフィードバックし、故障修理開始時だけでなく、故障修理プロセス全体の中で動的に支援する方法を検討していきたい。

謝辞 本研究の実施にあたり、実験実施とデータ整理を補助して頂いた中沢恵さんに深謝いたします。

## 参考文献

- [1] A. Schaafstal, J. M. Schaagen, and M. V. Berlo. Cognitive task analysis and innovation of training: The case of structured troubleshooting. *Human factors*, Vol. 42, No. 1, pp. 75–86, 2000.
- [2] C. M. Burns, J. Kuo, and S. Ng. Ecological interface design: a new approach for visualizing network management. *Computer networks*, Vol. 43, pp. 369–388, 2003.
- [3] P. P. Duez and K. J. Vicente. Ecological interface design for network management. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting*, pp. 572–575, 2003.
- [4] D. ジェントナー, D. R. ジェントナー. 水の流れと群れの移動: 電気のメンタルモデル. *メンタルモデルと知識表現*, pp. 41–74. 共立出版, 1986.