

TCP/IP プロトコル学習ツールの開発と評価

荒井 正之[†] 田村 尚也^{††} 渡辺 博芳[†]
小木 曾 千秋[†] 武井 恵雄[†]

インターネットの普及にともない、情報の専門教育において TCP/IP プロトコルの教育が重要になってきた。本稿では、TCP/IP プロトコルに対する従来型の学習方法の問題点を分析し、これらを解決するために 2 つのツールを提案する。1 つは実際の通信データを教材として用い、TCP/IP プロトコルのデータ構造と通信手順を学習するツールである。2 つめは TCP/IP の制御方式を学習するために、教科書や講義などでは教授することが困難である複数制御の組合せや、実際の通信では発生頻度の低い制御を学習することを目的にしたシミュレーションによる学習ツールである。授業に用いて評価を行った結果、データ構造と通信手順の学習ツールについては、実データを用いて、パケットの送受信方向やパケットの役割の提示が学習に有効であること、制御方式の学習ツールについては、学習者が制御を発生させる仕掛けが学習に有効であること、などが明らかになった。

Development and Evaluation of TCP/IP Protocol Learning Tools

MASAYUKI ARAI,[†] NAOYA TAMURA,^{††} HIROYOSHI WATANABE,[†]
CHIAKI OGISO[†] and SHIGEO TAKEI[†]

This paper describes the design, an implementation and an evaluation of learning tools for TCP/IP protocols. TCP/IP protocols have grown to be fundamental technology for computer networks and the Internet. As a result communication and computer engineers have to learn the protocols. In this paper, we discuss the problems in the TCP/IP course and propose two tools to solve these problems. The first tool is to help with learning communication procedures and data formats of all TCP/IP protocols. The tool has a packet monitoring function and can display real communication data without special hardware. The second tool is to help with learning control methods. The tool simulates control methods which rarely occur in the real communication and combinations of the control methods. We evaluated the tools through practical use in actual classes. The evaluation shows that tools are effective for learning TCP/IP protocols.

1. ま え が き

インターネットの普及にともない、情報の専門教育において TCP/IP プロトコルの教育がきわめて重要になってきた。しかし、従来の学習方法を用いた場合、決まった通信パターンの学習しか行えない、実感がわかないなどの理由で、抽象的性格の強い TCP/IP プロトコルの概念を学習することが困難であった。本稿では、これらの問題点を解決するために、実際の通信情報を教材として用いる「データ構造と通信手順の学

習ツール」とシミュレーションによる「制御方式の学習ツール」の 2 つの TCP/IP プロトコル学習ツールを提案し^{1),2)}、次にこれらのツールを授業に用いて評価した結果について報告する。

本研究で提案するツールは、情報工学、情報科学、計算機科学、計算機工学などの総称であるコンピュータサイエンス系の学科を対象とした科目「情報ネットワーク」に分類される授業で用いることを想定している。「大学の理工系学部情報系学科のためのコンピュータサイエンス教育カリキュラム J97」³⁾で提示された科目「情報ネットワーク」の必修項目、実験および演習項目を表 1 に示す。今までに提案されているツールをこれらの項目別に分類すると次のようになる。

市村は、通信データにノイズを強制的に印加して、データリンク層の誤り制御などを専用機器（プロトコルアナライザ）で測定して観察することにより、主に

[†] 帝京大学理工学部

School of Science and Engineering, Teikyo University

^{††} 帝京平成大学情報学研究科

Graduate School of Informatics, Teikyo Heisei University

現在、株式会社静岡岡県農協電算センター

Presently with Shizuoka Prefectural Agricultural Cooperative Information Center Co., Ltd.

表 1 コンピュータサイエンス教育カリキュラム J97 で示された「情報ネットワーク」の修得項目、実験および演習項目

Table 1 Subjects which are mastered and experimented for the information network course proposed by "a curriculum in computer science J97".

修 得 項 目
(a) プロトコルの階層化
(b) ベースバンド伝送
(c) 誤り制御
(d) フロー制御
(e) メディアアクセスプロトコル
(f) パケット交換と回線交換
(g) コネクション型
(h) 輻輳制御
(i) 経路制御
実験及び演習項目
(j) TCP/IP を用いたネットワーク環境の構築実習
(k) ネットワークプログラミング基礎
(l) ソケットを用いたプロセス間通信に関する計算機演習

表 1 の項目 (c) 誤り制御を学習するためのシステムを提案している⁴⁾。南カリフォルニア大学では、ネットワークシミュレータの開発が行われている⁵⁾。このシミュレータは表 1 の (i) 経路制御および実験および演習項目の (j) TCP/IP を用いたネットワーク環境の構築実習に分類される。山根らは、TCP の理解のために、TCP セッション単位でのモニタリングを行うツールを開発した⁶⁾。このツールは表 1 の実験および演習項目の (l) ソケットを用いたプロセス間通信に関する計算機演習に分類される。

一方、本稿で提案する「データ構造と通信手順の学習ツール」は、データ構造とトランスポート層の通信手順などの学習を通して、表 1 の (a) プロトコルの階層化、(g) コネクション型などの修得を目的とする。また、本ツールはアプリケーションプロトコルの通信手順も提示可能であることから、(k) ネットワークプログラミングの基礎に関する実習に有効である。本ツールは、市村のツール⁴⁾と同じように、通信回線を流れる実データを教材に用いるが、提案ツールでは、専用機器を用いずに、ソフトウェアでパケットをモニタリングすることにより、その機能を実現する。また、モニタリングしたパケットの内容を提示するだけでなく、トランスポート層とアプリケーション層の情報をを用いて、それらの通信手順が提示可能な機能を有する。

本稿で提案するもう 1 つの「制御方式の学習ツール」は、表 1 にある (d) フロー制御、(h) 輻輳制御のほか、ウィンドウ制御、再送制御の学習に用いることを目的としている。本ツールは、シミュレーションにより制御の可視化を行い、それにより学習を行うものであるが、学習者は単に見るだけでなく、自ら制御を発生させることが可能な機能を有する。

TCP/IP プロトコルの学習ツールには、上記のよう

な「情報ネットワーク」などのコンピュータサイエンス系学科の専門教育に用いられるもの以外に、TCP/IP の一般的な概念の修得を目的にしたものもある^{7),8)}。

2. TCP/IP プロトコルの学習内容と従来の学習方法の問題点

本章では、TCP/IP プロトコルの学習者が修得すべき項目をあげ、次に従来型の学習方法の問題点について述べる。

TCP/IP プロトコルの学習者は、階層分割可能性、階層代替性などの特性、誤り検出や訂正、結合性などの機能を学習することによって、プロトコルの概念を的確に修得し、他のプロトコル体系においても応用できる力を着実に身に付けることが大切である。そのためには、TCP/IP プロトコルの各階層について、以下の項目を修得すべきである。

- (1) ネットワークインタフェース層：各プロトコルの伝送媒体と伝送方式、MAC アドレスなど。
- (2) インターネット層：IP アドレスと IP データグラムフォーマットなど。
- (3) トランスポート層：TCP/UDP の違い、TCP セグメントフォーマットと UDP データグラムフォーマット、TCP においては、シーケンス制御、応答確認、ウィンドウ制御、フロー制御などの制御方式など。
- (4) アプリケーション層：各プロトコルの通信手順と機能など。

従来の学習方法で上記の項目を修得するには、以下のような問題点があると考えられる。

- 教科書や講義による学習の場合、様々な通信パターンの提示が難しい。プロトコルの機能、データ構造、通信手順などに対する実感がわきにくい。
- パケットアナライザなどの専用のハードウェアを用いて、実際の通信データにより修得する方法では、ツールの使用にスキルを要するため、学習に至るまでに時間がかかる。
- telnet クライアントなどの汎用的なソフトウェアを学習ツールとして用いる方法も考えられるが、このようなツールはユーザインタフェースが優れていない。

3. 要求仕様と実現方法

前章で述べた問題点を解決するために、学習ツールに対する要求仕様を以下のとおりに設定した。

- (1) 教科書や講義での学習内容を着実に身につけることが可能なこと。

- (2) データ構造, 通信手順, 制御方式の学習が行えること。
- (3) 学習者が学習内容を実感できること。
- (4) 可視化などにより, 学習者が分かりやすい形で情報を得られること。
- (5) 専用の機器を必要とせず使い方が簡単であること。

(3)の要求仕様を満たすには, 実際の通信データを教材として用いることが考えられる。しかし, このようなアプローチをとった場合, 制御方式の学習においては, 次の問題が発生する。

- パケットロスによる再送制御など, 偶発的に起きる制御の学習がつねに行えるわけではない。
- 制御は複雑かつ, 複数の制御が同時に行われる場合があるため, 実際の通信データを教材として用いた場合かえって分かりにくい。

そこで, 教科書や講義の内容を補完し, 学習者が着実に修得するために, 次の2つのツールの開発を行うこととした。

- データ構造と通信手順の学習を目的とした実際の通信データを教材として利用する学習ツール
- 制御方式の学習を目的としたシミュレーションによる学習ツール

次章以降では, これら2つのツールの内容について

詳述する。

4. データ構造と通信手順の学習ツール

SMTP, POP, HTTPなどのアプリケーションプロトコルごとにデータ構造と通信手順を学習するツールである。図1に示したメインウィンドウと選択表示可能な図2, 図3に示した通信手順表示ウィンドウの3つのウィンドウで構成する。図2, 図3のウィンドウは図1の(1)をチェックすることにより表示, 非表示の切替えが可能である。

4.1 パケットモニタリング機能

実際の通信データを教材として用いるため, 学習者が使用しているパソコンが送受信するパケットのモニタリングを行うことにした。特別なハードウェアを用いずに, ソフトウェアで学習者が使用しているパソコンのIPアドレスをもとに送受信パケットをモニタリングする。

学習者は最初に図1の(2)に示すように, SMTP, POP, HTTP, TELNETから学習を行うアプリケーションプロトコルを選択する。次に図1の(3)のStartボタンをクリックして, 学習するプロトコルを使用するメーラやWebブラウザなどのソフトウェアを利用して通信を行う。ツールは, 学習者がStopボタンをクリックするまでのパケットモニタリングを行う。

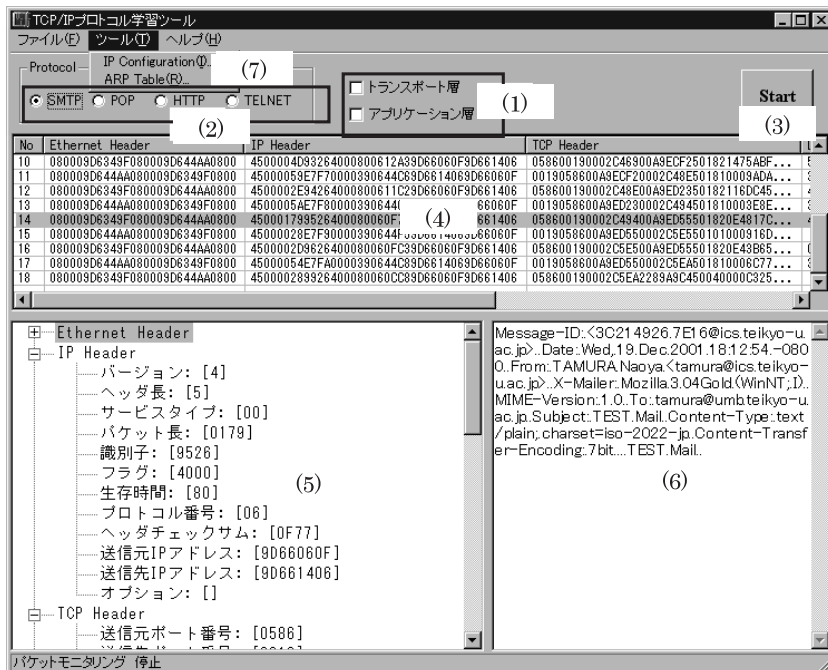


図1 データ構造と通信手順の学習ツールのメインウィンドウ

Fig.1 A view of the main window for "the tool for communication procedures and data formats".

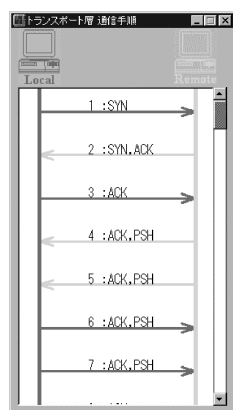


図 2 トランスポート層通信手順表示ウィンドウ

Fig. 2 A view of the sub-window for procedures of a transport layer.



図 3 アプリケーション層通信手順表示ウィンドウ

Fig. 3 A view of the sub-window for procedures of an application layer.

4.2 パケットの表示

図 1 の (4) にはモニタリングを行った順に 16 進でパケットの内容を Ethernet ヘッダ, IP ヘッダ, TCP ヘッダ, Data に区切って表示して, 大まかな情報を示す. 各ヘッダ情報によるソーティングを可能とすることにより, 送信パケットだけ, または, 受信パケットだけを順番に見ていくことができるようにした. 1 行が 1 つのパケットの情報を表している. 各行をクリックすることで, 図 1 の (5) に示すようなパケットの詳細情報を表示する.

4.3 階層別表示

図 1 の (5) には, 各階層のデータ構造を分かりやすくするために図 1 の (4) で選択されたパケットを各階層のフォーマットに従い, フィールド名と対応づけて表示する. 図 1 の (6) にはアプリケーションデータが

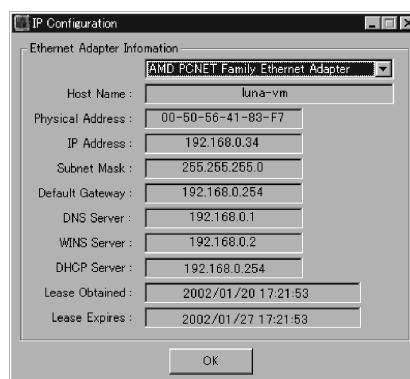


図 4 IP Configuration 表示ウィンドウ

Fig. 4 A view of the sub-window for an IP Configuration.

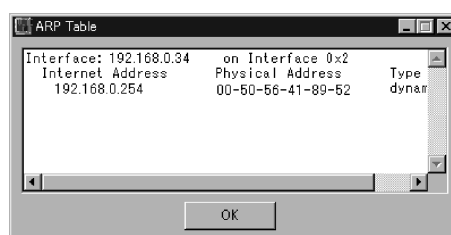


図 5 ARP テーブル表示ウィンドウ

Fig. 5 A view of the sub-window for an ARP table.

存在した場合にテキスト表示をする.

4.4 通信手順の表示

通信手順を可視化するため, 図 2 に示したトランスポート層通信手順表示ウィンドウには, トランスポート層での通信手順の流れを通信の向きや役割とともに表示する. ACK, SYN などのパケットの役割は, TCP ヘッダ内のコードビットフィールドの情報を用いて行う. これにより, 3 ウェイハンドシェイクと呼ばれるコネクションの確立や切断などが分かりやすくなる. 図 3 に示したアプリケーション層通信手順表示ウィンドウには, アプリケーション層での通信の流れやメッセージのやりとりを表示することにより, アプリケーションプロトコルごとに, 通信手順やパケットの役割などの学習が行える.

4.5 IP Configuration と ARP テーブルの表示

学習ツールを使用しながら, 使用しているコンピュータのネットワークの設定を OS に付属のツールなどを使用せずに確認可能とするために, 図 1 の (7) の「IP Configuration」を選択することにより, 図 4 のウィンドウを表示する. 学習者はコンピュータやデフォルトゲートウェイの IP アドレスなどを参照して, 図 1 の (4) や (5) に表示する情報との照合に利用する.

同様に図 1 の (7) の「ARP Table」を選択することにより, 図 5 のウィンドウを表示する. IP アドレス

と MAC アドレスの対応づけをした ARP (Address Resolution Protocol) テーブルを表示することにより, 学習者は, 図 1 の (4) や (5) に表示する MAC アドレスや IP アドレスなどの照合に利用することができる.

5. 制御方式の学習ツール

TCP の制御方式であるウィンドウ制御, 再送制御, フロー制御, 輻輳制御を学習するためのシミュレーションによるツールである. 図 6 に本ツールのメインウィンドウを示す.

5.1 画像の送受信を例とした表示

通信の状況を可視化するために, 画像を送受信するときの流れを例にとり, 送受信シミュレーションを行うことにした. 図 6 の (1) のように送受信する画像を表示し, さらに図 6 の (2) のように送受信バッファの内容を表示する. それぞれの画像は通信の状況に応じて変化する. 学習者は, 図 6 の (3) の「送信画像の選択」を選ぶことにより, 送受信する画像の選択が可能である.

5.2 通信手順の表示

通信手順を分かりやすくするため, 図 6 の (4) に示すように, 通信データの流れを通信の向きとともに表示することにした. 前節で述べた送受信バッファの内容をあわせてみることにより, 通信状況が一目で分かるようにした.

5.3 制御名の表示と制御の説明

図 6 の (5) に示すように現在提示している制御名を表示することにした. さらに図 6 の (6) には, 制御に関する説明や通信の状況を表示することにした.

5.4 ウィンドウサイズのグラフの表示

図 6 の (7) の「グラフの表示」を選択することにより, 図 7 に示すグラフを表示する. このグラフは, 横軸が時間, 縦軸がウィンドウサイズとなっている. また, パケットロスが発生した場合には, 図 7 の (1) に示すようにマークを付けることにした.

5.5 クイズモード

図 6 の (3) の「モードの選択」を選ぶことにより, 図 8 に示すウィンドウを表示する. 学習者は「クイズモード」か「学習モード」が選択できる.

「学習モード」は学習者がボタンをクリックすることにより, いつでも再送制御やフロー制御を発生させ制御方式を学習するモードである. 一方, 「クイズモード」は, 現在の制御名や次に行われる制御に関する問題が自動的に出題されて, それらに答えていくモードである. クイズモードの出題例を図 9 に示す.

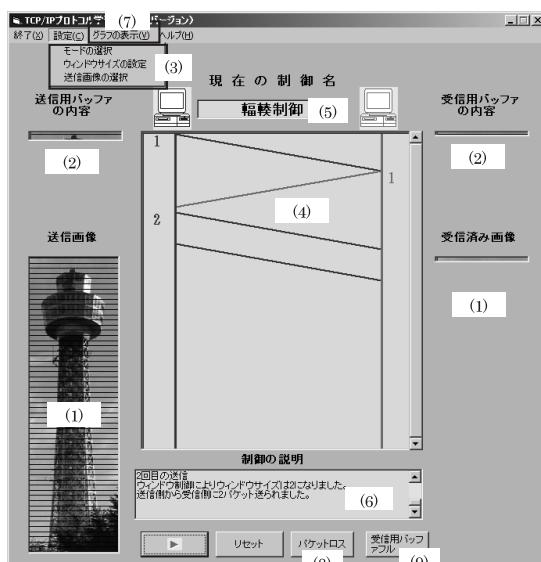


図 6 制御方式の学習ツールのメインウィンドウ

Fig. 6 A view of the main window for “the tool for control methods”.

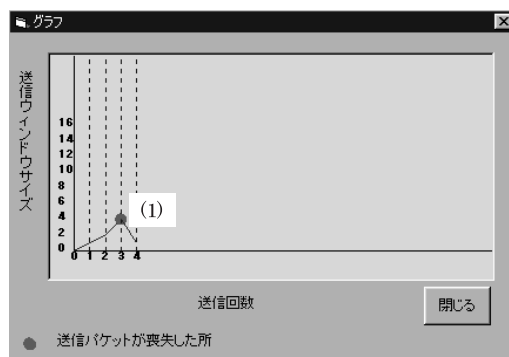


図 7 ウィンドウサイズの経時変化のグラフ

Fig. 7 A view of the sub-window for window size.

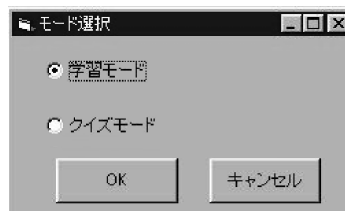


図 8 クイズモード選択ウィンドウ

Fig. 8 A view of the sub-window for selecting the quiz mode.

5.6 制御方式の実現方法

5.6.1 輻輳制御

ウィンドウサイズを 1 に設定してパケットを送信し, それに対する確認応答がされるたびにウィンドウサイズを 2 倍にすることで実現した. ただし, ウィンドウ

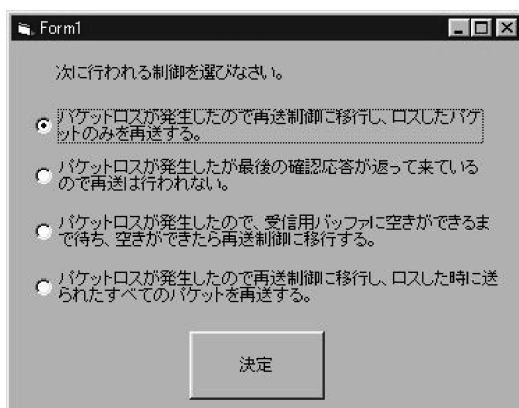


図 9 クイズモードの問題例

Fig. 9 An example of the quiz.



図 10 再送制御の例

Fig. 10 An example of retransmit control.

サイズが、大きくなりすぎないように図 6 の (3) の「ウィンドウサイズの設定」を選ぶことにより、ウィンドウサイズの上限を設定可能とした。

5.6.2 再送制御

図 6 の (8) の「パケットロス」ボタンをクリックすることにより、パケットが消失して、もう一度そのパケットを再送する。一例を図 10 に示す。図 10 は、3 回目の送信時に 2 番目のパケットが消失したため、4 回目の送信時に消失したパケットを再送したことを示す。

5.6.3 フロー制御

図 6 の (9) の「受信バッファフル」ボタンをクリックすることにより、受信バッファをフルにして、受信バッファに空きができるまで送信側から送信できないよう

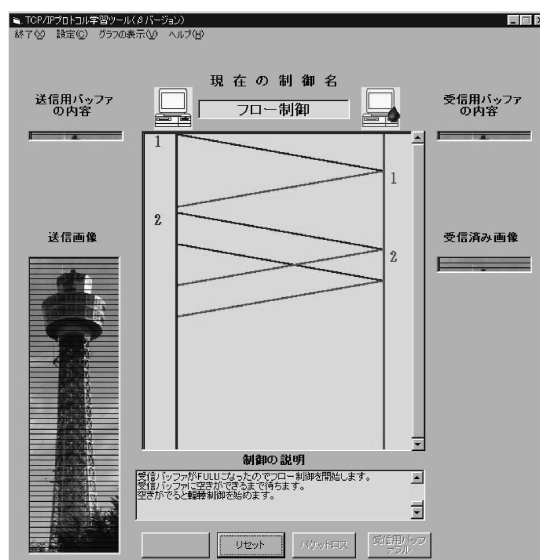


図 11 フロー制御の例

Fig. 11 An example of flow control.

にすることで実現した。一例を図 11 に示す。図 11 は、2 回目の送信で受信バッファがフルになったため、フロー制御が起こり、受信バッファに空きができるまで待機しているところである。フロー制御が発生すると、受信側コンピュータが汗を流す。処理を懸命にやっている様子を出すために GIF アニメーションにより実現した。この後、ツールはバッファに空きができるまで、送信側から定期的にウィンドウブロープが送信され、それに対して受信側が応答するような画面となる。

5.6.4 ウィンドウ制御

ウィンドウサイズの変更により、その他の制御が可能となるため、ウィンドウ制御のみが提示されることはない。メインウィンドウの制御の説明にウィンドウ制御によりウィンドウサイズが変化することを説明するとともに、図 7 に示したグラフを表示することにより、ウィンドウサイズの経時変化が分かるようにした。

6. ツールの評価と考察

開発したツールの評価を目的として、本学情報科学科 3 年生を対象とした授業の 2 つのクラス (仮に A 組, B 組と呼ぶ) において、本ツールを使用した後に記名方式でアンケート調査を行った。授業を履修した学生は、A 組が 61 名, B 組が 44 名であり、アンケートに回答した学生はこのうち 97 名であった。

授業の概要を次に示す。授業の目的は、TCP/IP の理解を通して、情報通信ネットワークの構築や運用管理、活用に関する知識・技術などを習得することである。3 年次後期に設定されており、2 時限連続の授業

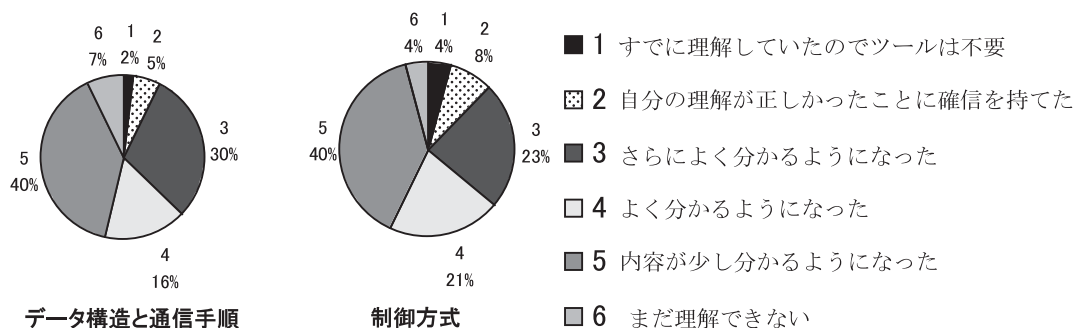


図 12 ツールの学習効果

Fig. 12 Learning effectiveness.

6 回から構成される。TCP/IP プロトコル階層の下位層から授業を始め、4 回の授業で最上位層であるアプリケーション層まで進む。その後、5 回目、6 回目の授業ではソケットプログラミング実習を行う。すべての授業が短時間の講義の後に実習を行う形態をとっている。

「制御方式の学習ツール」は、2 回目の授業において、テキストと板書によるトランスポート層の講義の後に使用した。2 回目の授業における講義内容は、UDP におけるコネクションレス型通信、TCP におけるコネクション型通信、TCP の各種制御方式などに関するものである。「データ構造と通信手順のツール」は、4 回目の授業でテキストと板書によるアプリケーション層の講義、具体的には HTTP, POP, SMTP に関する講義の後に使用した。メーラを用いて電子メールを送り、これにより発生したパケットを本ツールでモニタリングすることにより実習を行った。

6.1 学習効果の評価

学習効果の評価を目的として、次の項目の中から 1 つを選択してもらう質問を行った (質問 1 と呼ぶ)。

- 1 テキストを読んだり講義を聞いたりして、すでに理解していたのでツールは不要。
- 2 テキストを読んだり講義を聞いたりして、すでに理解していたが、ツールにより自分の理解が正しかったことに確信を持てた。
- 3 テキストや講義で、ある程度理解できたが、ツールによって、講義やテキストで学んだ内容がさらによく分かるようになった。
- 4 テキストや講義では、あまりよく理解できなかったが、ツールによって、講義やテキストで学んだ内容がよく分かるようになった。
- 5 テキストや講義では、あまりよく理解できなかったが、ツールによって、講義やテキストで学んだ内容が少し分かるようになった。

6 ツールを使っても、まだ理解できない。

質問 1 に対する集計結果を図 12 に示す。

「データ構造と通信手順のツール」に関しては、46% の学生がツールを用いることにより、よく理解できるようになった (選択肢 3, 4) と回答している。また 5% の学生が学習内容の確認 (選択肢 2) に、39% の学生が少し分かるようになった (選択肢 5) と回答している。効果に大小の差はあるが、選択肢 2~5 を選んだ学生に対して、ツールが有効であったと考え、91% の学生に対して有効であったといえる。

「制御方式のツール」に関しては、45% の学生がツールを用いることにより、よく理解できるようになった (選択肢 3, 4) と回答している。また、8% の学生が学習内容の確認 (選択肢 2) に、39% の学生が少し分かるようになった (選択肢 5) と回答している。選択肢 2~5 を選んだ学生に対して、ツールが有効であったと考え、93% の学生に対して有効であったといえる。

6.2 修得項目別学習効果

「データ構造と通信手順のツール」は、パケットのデータ構造、トランスポート層の通信手順、アプリケーション層の通信手順の修得、「制御方式のツール」は、再送制御、ウィンドウ制御、フロー制御、輻輳制御の制御方式の修得を目的にしている。これら修得項目に対する学習効果の評価を目的に質問 (質問 2 と呼ぶ) を行った。質問 2 の集計結果を図 13 に示す。

「データ構造と通信手順のツール」では、各層のデータ構造とトランスポート層の通信手順に対して、全体の 35% の学生が理解したと回答しているが、アプリケーション層の通信手順に対しては、理解できたと回答した学生は 22% にすぎない。全体的に理解したと回答した学生が低かった原因として、理解の程度を問わないで、理解したか否かだけの質問であったこと、質問が具体的でなかったことなどがあげられる。また、

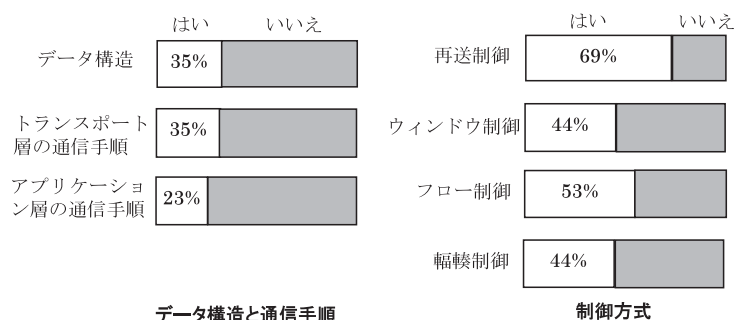


図 13 修得項目別学習効果

Fig. 13 Learning effectiveness of each subject.

表 2 学習に有効なツールの機能

Table 2 Effective functions of the learning tools.

データ構造と通信手順のツール		
修得項目	有効な機能	%
データ構造	実際のデータが見ることができる機能	36
	任意のパケットを選ぶことにより、そのパケットの各フィールドの内容が説明つきで表示される機能	27
トランスポート層の通信手順	別窓で通信のやりとりが矢印で表示される機能	43
	実際のデータが見ることができる機能	36
アプリケーション層の通信手順	別窓で通信のやりとりが矢印で表示される機能	33
	実際のデータが見ることができる機能	31
制御方式のツール		
修得項目	有効な機能	%
再送制御	「パケットロス」ボタンを押すことによって、いつでも自由にパケットロスを起こせる機能	36
	画像データを用いて、サーバとクライアント間のパケットの流れが表示される機能	30
ウィンドウ制御	画像データを用いて、サーバとクライアント間のパケットの流れが表示される機能	25
	現在行われている説明が表示される機能	21
フロー制御	「バッファフル」ボタンを押すことによって、いつでも自由にフロー制御を発生させる機能	32
	現在行われている説明が表示される機能	30
輻輳制御	画像データを用いて、サーバとクライアント間のパケットの流れが表示される機能	26
	現在行われている説明が表示される機能	18

アプリケーション層の通信手順の理解度が特に低いのは、プロトコルとして SMTP を使用したことが考えられる。SMTP は、HELO コマンド、MAIL FROM コマンド、RCPT TO コマンド、データの送信など、通信手順が少し複雑なため、容易に理解できなかったのではないかと考えている。

「制御方式のツール」では、理解したと回答した学生は再送制御で 69%、フロー制御で 53% となり、ウィンドウ制御と輻輳制御の 44% に比し高いことが分かる。再送制御とフロー制御は、学習者がパケットロスボタン、バッファフルボタンをクリックすることにより制御を発生することができる。学習者はツールが表示したものを単に見るだけでなく、学習者が主体となり動的に学習が行えるような仕組みが有効であるといえる。

次に修得項目別にツールのどのような機能が学習に有効であるかの質問（質問 3 と呼ぶ）を行った。質問 3 に対して、有効と回答のあった機能の上位 1・2 位と、その機能が有効と答えた学生の割合を表 2 に示す。

「データ構造と通信手順のツール」に関しては、次のことが分かった。(1) データ構造については実データを用いると理解しやすくなること。(2) 特に各層のヘッダごとに、フィールドの内容が 1 つ 1 つ説明つきで表示される機能が有効であること。(3) 通信手順についても実データを用いて、パケットの送受信方向やパケットの役割の提示が有効であること。

「制御方式のツール」に関しては、次のことが分かった。(1) 再送制御については、「パケットロス」ボタンを押すことによって、いつでも自由にパケットロスを起こせる機能が有効であること。(2) フロー制御につ

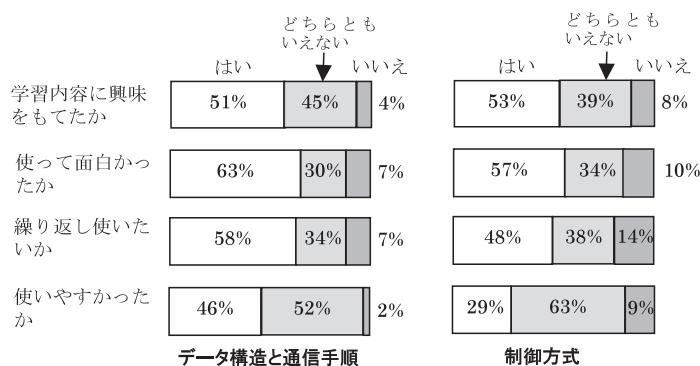


図 14 その他の評価

Fig. 14 Other evaluations.

いては、「バッファフル」ボタンを押すことによって、いつでも自由にフロー制御を発生させる機能が有効であること。(3) 多くの制御について、サーバとクライアント間のパケットの流れが表示される機能が有効であること。

6.3 その他の評価

このほかに「ツールを使うことで学習に興味を持てたか」、「ツールは使ってみて面白かったか」、「繰り返しツールを使いたいか」、「ツールは使いやすかったか」という質問を行った。それらに対して「はい」と答えた学生の比率を図 14 に示す。

ほとんどの項目に対して、約半数の学生が「はい」と回答している。しかし、「制御方式のツール」の「使いやすかったか」という質問に対しては、29%と非常に低い結果となった。使いやすさを向上させるために、ユーザインタフェースなどの改善が今後の課題といえる。

最後にツールに対する感想を、自由記述として回答してもらった。「データ構造と通信手順の学習ツール」で多かった感想は、「具体的にデータが見られたり、通信の流れが見られたので理解しやすかった」など(21名)、「説明が小さすぎて見にくい」など(10名)であった。「制御方式の学習ツール」で多かった感想は、「説明を詳しくしてほしい」など(12名)、「視覚的に良い」など(7名)であった。

抽象的性格の強い通信ネットワークの概念を学習するためには、可視化が重要であるという方針でツールを開発したが、評価の結果、方針が正しかったことが確認できた。また、「見にくい」「説明不足」などの感想も多く、ウィンドウの大きさやレイアウトなどのユーザインタフェースの改善、クイズ数の増加や説明文などの内容に関する洗練化を行う必要があるといえる。

6.4 「データ構造と通信手順のツール」の管理者権限の問題

「データ構造と通信手順のツール」は、パケットモニタリング機能を有する。しかし、この機能を使うために、現在開発したツールは、実行時に管理者の権限が必要となる。管理者権限のあるアカウントを1つ作成して、そのアカウントに対して、使用できるプログラムの制限、実習前後でパスワードを変更するなどを行い、すべての学生に対して、そのアカウントを使わせることにより授業を行っている。これは、セキュリティやユーザビリティなどの面で問題である。管理者権限なしでツールを使えるようにしたい。

7. む す び

本研究では、TCP/IP プロトコルを学習するうえでの問題点を分析して、これらを解決するために、パケットモニタリングによる「データ構造と通信手順の学習ツール」とシミュレーションによる「制御方式の学習ツール」の2つの学習ツールの開発と評価を行った。実際の授業において評価を行った結果、2つのツールが TCP/IP プロトコルを学習するうえで有効であることが分かった。

提案したツールは、コンピュータサイエンス系学科の「情報ネットワーク」に関連する授業に利用可能であり、幅広く役立つものと考えられる。

謝辞 帝京大学理工学部情報科学科卒業生勝目謙治君、根本明浩君、馬場康裕君、山上高広君には、プログラムの作成、ツールの評価などに協力していただきました。ここに感謝の意を表します。本研究の一部は科学研究費補助金 15500597 による。

参 考 文 献

- 1) 荒井正之, 田村尚也, 渡辺博芳, 小木曾千秋, 武井

惠雄：TCP/IP プロトコル学習ツールの開発，情報技術レターズ，Vol.1, pp.243-244 (2002).

- 2) Arai, M., Tamura, N., Watanabe, H., Ogiso, C. and Takei, S.: Design and Implementation of a Learning Tool for TCP/IP Protocols, *Proc. International Conference on Computers in Education*, Vol.2, pp.1010-1015 (2001).
- 3) 情報処理学会・情報処理教育カリキュラム調査委員会：大学の理工系学部情報系学科のためのコンピュータサイエンス教育カリキュラム J97, pp.73-76, 情報処理学会 (1997).
- 4) 市村 洋：誤り検出・訂正の目視検証システムの試作，電子情報通信学会技術研究報告，ET92-52, pp.55-62 (1994)
- 5) The Network Simulator-ns-2.
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- 6) 山根健一，矢吹道郎：TCP セッションを考慮したパケットモニタリングツール，情報処理学会第47回全国大会，5E-6, pp.197-198 (1994).
- 7) 日本電気株式会社：マルチメディア学習ソフト「TCP/IP プロトコル」(1999).
- 8) Stratton, D.: "Network Protocols and Services" — a Non-Specialist Approach to Teaching Networking, *Innovation and Technology in Computer Science Education* (2000).

(平成 15 年 5 月 13 日受付)

(平成 15 年 10 月 16 日採録)



荒井 正之 (正会員)

1958 年生。1981 年東京理科大学理工学部経営工学科卒業。1995 年宇都宮大学大学院工学研究科生産・情報工学専攻博士後期課程修了。工学博士。1988 年帝京大学理工学部情報科学科助手，現在同大学助教授。文字認識，自然言語理解，知識工学，教育/学習システム等に興味を持つ。著書『文字認識技術』(トリケップス社)等。電子情報通信学会，IEEE Computer Society 各会員。



田村 尚也 (正会員)

1978 年生。2000 年帝京大学理工学部情報科学科卒業。2002 年帝京平成大学大学院情報学研究科修士課程修了。同年株式会社静岡農協電算センター入社。コンピュータネットワーク，情報セキュリティ等に興味を持つ。



渡辺 博芳 (正会員)

1963 年生。1986 年宇都宮大学工学部情報工学科卒業。1988 年同大学院工学研究科修士課程修了。工学博士。栃木県工業技術センターを経て，1991 年より帝京大学理工学部情報科学科助手，2003 年同大学ラーニングテクノロジー開発室講師。知識工学，事例ベース推論，機械学習，知的教育/学習システム等に興味を持つ。2000 年情報処理学会第 60 回全国大会大会優秀賞，2002 年私立大学情報教育協会第 10 回情報教育方法研究発表会奨励賞受賞。電子情報通信学会，人工知能学会，教育システム情報学会，AAAI 各会員。



小川 千秋 (正会員)

1942 年生。1967 年横浜国立大学工学部電気化学科卒業。1969 年同大学院工学研究科電気化学専攻修士課程修了。工学博士。横浜国立大学工学部助手，同助教授を経て，1989 年より帝京大学理工学部情報科学科助教授，1996 年同学部電気・電子システム工学科教授，同情報科学科併任。信号処理，セキュリティ，ネットワーク，産業安全・環境等に興味を持つ。電子情報通信学会，安全工学協会等各会員。



武井 恵雄 (正会員)

1938 年生。1961 年東北大学理学部天文及地球物理学科第二卒業。1963 年同大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程修了。理学博士。東北大学理学部助手。同大学情報処理教育センター助教授を経て，1992 年帝京大学理工学部情報科学科教授(理工学研究科併任)。力学系，知的信号処理，分散環境における協調学習環境の実現，情報教育の哲学的側面等に興味を持つ。地球電磁気・地球惑星圏学会，日本教育工学会，日本教育情報学会，日本社会情報学会各会員。