

初学者を対象とした TCP/IP の仕組みと重要性を 体験的に学ぶシミュレータ教材の開発

北村 祐稀^{1,a)} 長瀧 寛之¹ 井手 広康² 兼宗 進³ 白井 詩沙香^{1,b)}

概要：本研究では TCP/IP の仕組みと重要性を体験的に学ぶシミュレータ教材「ProtoSim (プロトシム)」を提案する。提案教材は初学者を対象としており、「スマートフォンで Web ページにアクセスする」という身近で具体的な場면을扱っている。スマートフォンの Web ブラウザを模した画面で URL を入力するとスマートフォンと Web サーバの内部の各層で情報が順番に流れる様子を観察でき、情報のヘッダやボディも確認できる。また、シミュレータを用いた問題（ミッション）が設定されており、自動採点にも対応しているため、ミッションに沿って着実に学習を進めることができる。本稿では、開発したシミュレータの詳細を述べる。

キーワード：情報通信ネットワーク、通信プロトコル、TCP/IP、シミュレータ、体験的な学習

Designing a Beginner's Educational Simulator for Hands-On Learning of TCP/IP Protocol Suite

YUKI KITAMURA^{1,a)} HIROYUKI NAGATAKI¹ HIROYASU IDE² SUSUMU KANEMUNE³ SHIZUKA SHIRAI^{1,b)}

1. はじめに

高等学校では、2022 年度より年次進行で、学習指導要領（平成 30 年告示）[1] によって定められた共通必修科目「情報 I」が実施されている。「情報 I」の「情報通信ネットワークとデータの活用」という単元では「情報通信ネットワークの仕組みや構成要素、プロトコルの役割及び情報セキュリティを確保するための方法や技術について理解すること」[1] が求められている。

一方、坂本ら [2] が 2021 年に実施し、宮城県高等学校情報科教育研究会に所属する教員 36 名から回答を得たアンケートでは、「情報 I」の細分化された 12 の単元のうち「情報通信ネットワークの仕組みと役割」の単元が、「単元に関する参考とする教材の入手や教材開発の難しさ」、「単元

の内容を生徒が理解する難しさ」の項目で共に 3 位となっており、情報科教員が通信プロトコルを含む情報通信ネットワークの指導に難しさを感じていることがわかる。実際に、著者らが 2017 年度から 2019 年度の情報処理学会コンピュータと教育研究会での研究発表を対象に行った調査 [3] でも情報通信ネットワークの指導を扱った研究発表が少ないことがわかった。さらに、情報通信ネットワークの指導を扱った研究発表の中でも、通信プロトコルに着目したものはほとんどない状況である。

そこで、本研究では TCP/IP の仕組みと重要性を体験的に学ぶことを目的としたシミュレータ教材「ProtoSim (プロトシム)」を提案する。提案教材は初学者を対象としており、「スマートフォンで Web ページにアクセスする」という身近で具体的な場면을扱っている。スマートフォンの Web ブラウザを模した画面で URL を入力するとスマートフォンと Web サーバの内部の各層で情報が順番に流れる様子を観察でき、情報のヘッダやボディも確認できる。本

¹ 大阪大学

² 愛知県立小牧高等学校

³ 大阪電気通信大学

a) u961432b@ecs.osaka-u.ac.jp

b) shizuka.shirai.cmc@osaka-u.ac.jp

稿では、開発したシステムの概要を述べる。

2. 関連研究

通信プロトコルの学習教材として、Bell ら [4] が開発したオンライン学習教材「Computer Science Field Guide」の“Network Communication Protocols”がある。ここでは、TCP/IP のアプリケーション層とトランスポート層を対象としたブログ形式の学習教材が用意されている。また、鈴木 [5] は、データリンク層とネットワーク層のデータ構造とプロトコルを理解するためのパケットキャプチャソフトウェアを用いた演習を提案している。これらの教材は特定の層の通信プロトコルの理解を目的としており、通信プロトコル群全体は扱っていない。

一方、階層構造全体を学ぶことは情報通信ネットワークの構成要素の体系的な理解につながると期待できる。鈴木 [6] は階層構造全体と各層の通信プロトコル、各種ネットワーク機器の理解に焦点を当てた授業も提案している。当該授業には、CS アンプラグド [7], [8], [9] のコンセプトを参考に開発したネットワーク機器を使わないロールプレイ演習が含まれており、学生がネットワーク機器に扮し、通信プロトコルに従って学生間でデータを模した箱のやり取りを行う。授業実践の結果、提案する演習を含む授業を行った実験群は統制群と比べて事後テストの得点が有意に高かったと報告している。しかし、当該研究では階層構造全体を扱っているが、階層構造がもつ抽象化の概念やその重要性の理解については扱っていない。TCP/IP は階層構造をもつプロトコル群であり、各層は独立している。階層構造はデカルトの「困難は分割せよ」を体现しており、実装やテストのしやすさなど様々な利点がある。このような抽象的なモデルを学ぶことは、プログラミングやモデル化といった他の単元の学習に関連付いて役立つのみならず、実社会の組織構造などに対する見方や考え方にも新たな影響を及ぼすことが期待できる。

3. 提案教材：ProtoSim

3.1 システム概要

本研究では初学者を対象とした TCP/IP の仕組みと重要性を体験的に学ぶシミュレータ教材「ProtoSim (プロトシム)」を提案する。

提案教材は、ネットワークの仕組みや構成要素の概念などを学んだ後で、通信プロトコルの仕組みや重要性を体験的に学び理解を深めるための演習で利用することを想定している。提案教材では、「スマートフォンで Web ページにアクセスする」という身近で具体的な場面を扱っており、いくつかの演習課題（ミッション）が用意されている。演習では、はじめに各自でミッションに取り組み、その後グループやクラス全体で操作した内容や考えた内容を共有し、最後に教員が解説する。この一連の流れを TCP/IP の

各層ごとに実施する。

図 1 に提案教材の画面レイアウトを示す。提案教材はパソコンを対象とした Web アプリケーションとして開発した*1。提案教材の画面は、「シミュレータエリア」（図 1 の②）と「テキストブックエリア」（図 1 の①）から構成される。次節以降、提案教材の機能について、エリアごとに説明する。

3.2 シミュレータエリア

シミュレータエリアは、実際に学習者が操作を行うエリアであり、スマートフォンと Web サーバが表示されている。実際のネットワークではルータ等を経由して通信を行うのが一般的であるが、このシミュレータは初学者を対象としているため、クライアントとサーバのみに着目し他の構成要素は表示を省略している。

シミュレータ内のスマートフォンに表示された Web ブラウザ（図 1 の③）のアドレスバーに適切な URL を入力すると、Web ページがレンダリングされる。Web ページを閲覧する場面を題材として選択したのは、生徒にとって身近だからという理由に加えて、テキストチャット等の他の場面と比べてレスポンスが静的で繰り返し同様の操作を行いながら試行錯誤をするのに適しているという理由もある。

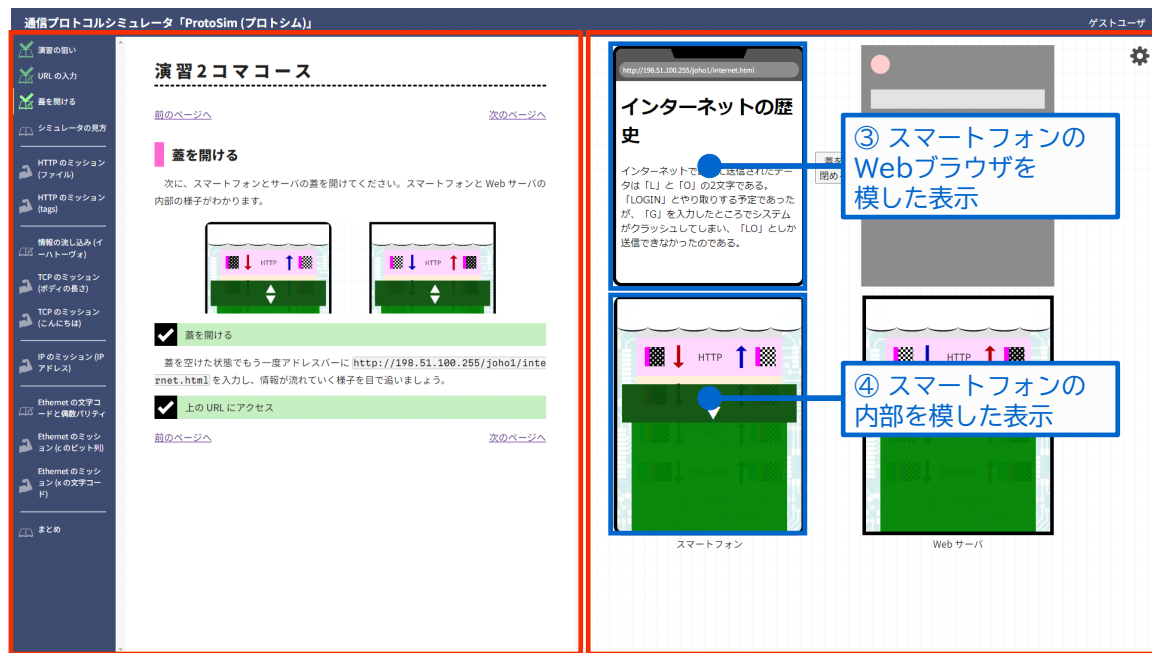
各デバイスの内部は TCP/IP の 4 つの層（HTTP, TCP, IP, Ethernet*2）から成る（図 2）。それぞれの層には矢印に沿って流れているデータを示す画像（図 2 の⑤）が表示されている。この画像の色は層ごとにヘッダが付与されたことを表している。

各デバイスの内部には雲と土管の画像（図 2 の①と③）が表示されており、同時に 1 つの層しか見えないように設計されている。これはある層の上位層や下位層がどのような仕組みで動作しているのかわからなくても問題が無いという階層構造の利点を体験してもらうためである。また、雲と土管は矢印のボタン（図 2 の②）をクリックすることで自由に上下させることができる。雲は透過度が高いのに対し、土管はほとんど透過しないようになっている。これはシミュレータの起動時（雲と土管が HTTP にセットされている状態）における情報量を減らすためである。後述のテキストブックを用いた演習では上の層から下の層へと順に課題に取り組む設計となっており、既に取り組んだ内容は雲が透けて見えるようになっているため、少しずつ情報量が増えていくようになっている。

層と層の間にはプログラムを表すアイコン（図 2 の④）が表示されている。このプログラムはヘッダを付与したり

*1 開発した教材は <https://pro-ktmr.github.io/protosim-sss2023/> から利用できる。ただし、ログイン等の機能には対応していない。

*2 実際の各プロトコルではなく、それらを参考に開発した簡易版のプロトコルがシミュレータに搭載されている。



① テキストブックエリア

② シミュレータエリア

図 1 提案教材の画面レイアウトとエリア名称

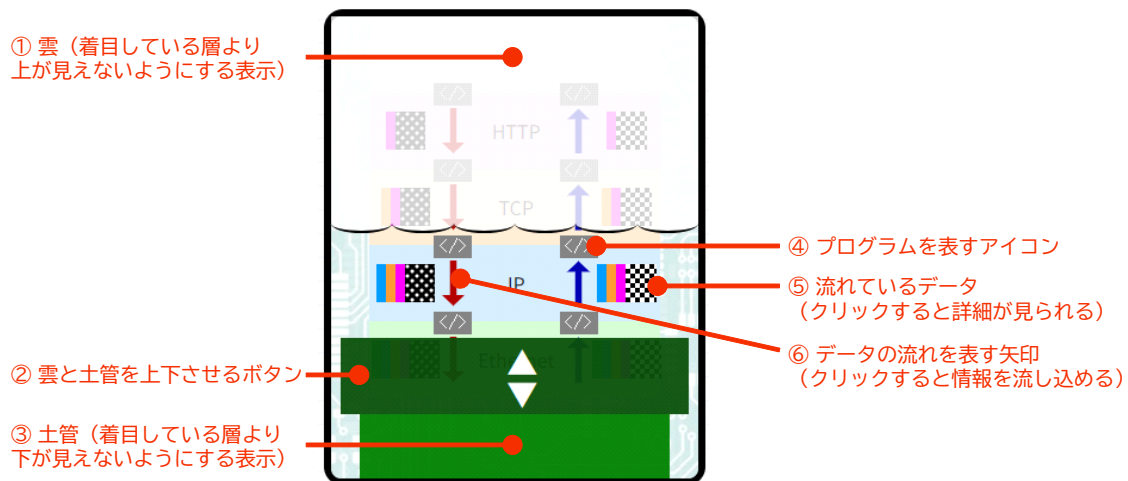


図 2 提案教材の詳細な各部の説明

取り除いたり、データをパケットに分割したり結合したりといったことを担当している。生徒が「データは階層間で自然と変化する」という誤った理解をしないように、プログラムの存在をアイコンで各階層間に明示している。

先述の「流れているデータを示す画像（図 2 の⑤）」をクリックすると、図 3 の上側のように画面が遷移し、そのデータを詳細に観察できる。この表示ではデータをメッセージボトルに見立て、ボディをボトルの内部に格納し、ヘッダを宛名ラベルとすることで、データを可視化している。これは、層を跨ぐごとにヘッダが増えることを容易に認識してもらうためである。

一部の矢印（図 2 の⑥）をクリックすると図 3 の下側のように画面が遷移し、特定の層に直接情報を流し込むこともできる。流し込んだ後は「流れているデータを示す画像」

をクリックして実際に流れたデータを観察できる。データを流し込めるようにしたのは、Web ブラウザからの操作だけではデータの種類が限られてしまい、通信プロトコルの特徴の一部が体験しづらいことがあるためと、各プロトコルが独立しているおかげでそれぞれテストが行えることを体験してもらうためである。

3.3 テキストブックエリア

テキストブックエリアはシミュレータの使い方を紹介したり、ミッションと呼ばれるシミュレータの操作課題を設定したりする部分である。図 1 では「上の URL にアクセス」と表示されているのがミッションであり、達成すると図 1 のようにチェックマークが表示されて色が緑になる。テキストブックエリアはいくつかのページから成り、画面

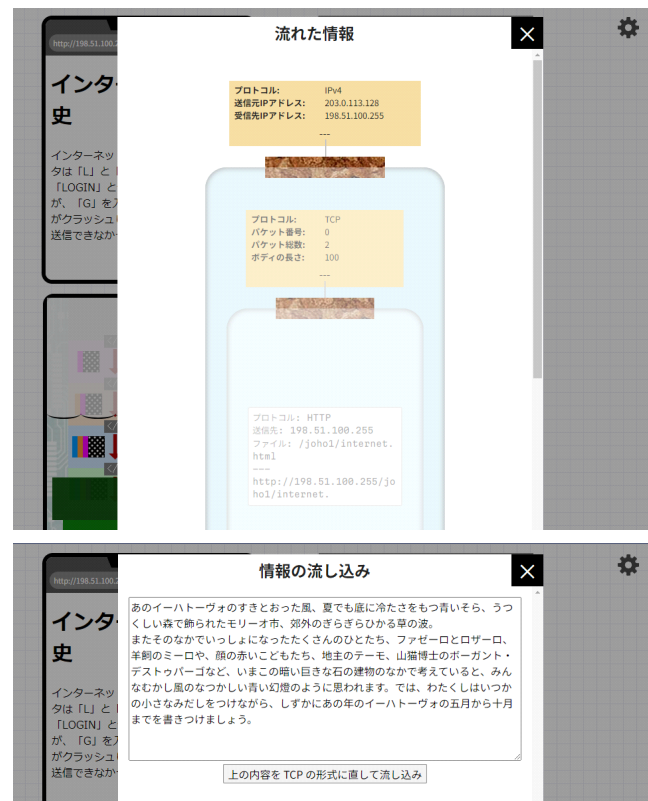
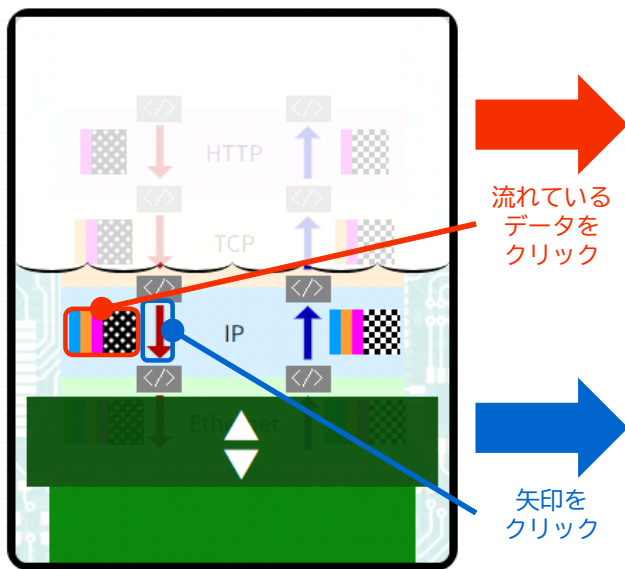


図 3 シミュレータで行える画面遷移

の左端にはその目次が表示されている。そのページに配置されたすべてのミッションを達成すると（ミッションが存在しないページでは単にそのページを開くと）、目次にもチェックマークが表示されて色が緑になる。

ミッションとして次のような問題形式を想定している。

(1) 流れているデータを観察して必要な情報を得る形式

短文回答形式で、答えは実際に流れているデータを見るとわかるというミッションである。例えば「シミュレータ内のスマートフォンの IP アドレスを答えよ」というミッションが考えられる。図 3 の上側のように IP に流れているデータを観察すると、そのヘッダに記載がある。ただし、送信側と受信側の 2 つの IP アドレスが記載されているため、その関係性を正しく理解して回答する必要がある。

(2) 所望のデータが流れるように適切な操作を行う形式

提示されたデータのヘッダやボディに着目し、スマートフォンの Web ブラウザに URL を入力するかいずれかの層に直接データを流し込むことで、提示されたデータが実際に流れるようにするミッションである。例えば図 4 のミッションでは所望の HTTP ヘッダが与えられている。この場合は `http://198.51.100.255/joho1/tags.html` という URL を Web ブラウザに入力すれば正解となる。ヘッダの各項目の名称と URL の各部分を適切に結びつけて理解できているかを確認している。



図 4 HTTP のヘッダを見て URL を入力するミッション

4. おわりに

本稿では TCP/IP の仕組みと重要性を体験的に学ぶシミュレータ教材「ProtoSim (プロトシム)」を提案し、開発したシステムの概要を説明した。

今後は高等学校の実際の授業で提案教材を利用し、事前・

事後テストやアンケートから学習効果を検証することを計画している。また、システムの操作ログを蓄積し、生徒の躓きやその原因を速やかに発見できる教員支援システムの開発も予定しており、教育実践で収集したログをもとにモデルの構築や評価を行う予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23H01019, JP23K11366 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）(2018).
- [2] 坂本泰伸, 稲垣 忠, 沼田織花：高等学校教科「情報 I」における指導上の課題に関する調査結果の報告, 東北学院大学教養学部論集, No. 189, pp. 39-52 (2022).
- [3] 長瀧寛之, 白井詩沙香：情報教育における学習支援ツールの提供・提案状況に関する現状調査, 技術報告 15, 大阪電気通信大学, 大阪大学 (2020).
- [4] Bell, T.: Computer Science Field Guide, The University of Canterbury (online), available from <https://csunplugged.jp/csfg/index.php> (accessed 2023-6-13).
- [5] 鈴木大助：パケットキャプチャ演習が通信の仕組みの理解にもたらす効果, 情報教育シンポジウム論文集, Vol. 2018, No. 11, pp. 76-83 (2018).
- [6] 鈴木大助：通信の仕組みを理解するためのロールプレイ演習の実践と評価, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE), Vol. 4, No. 2, pp. 37-46 (2018).
- [7] Bell, T., Alexander, J., Freeman, I. and Grimley, M.: Computer science unplugged: School students doing real computing without computers, *The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology*, Vol. 13, pp. 20-29 (2009).
- [8] 兼宗 進監訳：コンピュータを使わない情報教育アンプラグドコンピュータサイエンス, イーテキスト研究所 (2007).
- [9] 西田知博, 井戸坂幸男, 兼宗 進, 久野 靖：コンピュータサイエンスアンプラグドの分析と CS アンプラグドデザインパターンの提案, 情報教育シンポジウム 2008 論文集, Vol. 2008, pp. 179-186 (2008).