

触ってわかる，ネットワークの仕組み。 通信プロトコルシミュレータProtoSimの紹介

大阪大学 / 金光大阪高等学校 北村 祐稀

1. はじめに

突然ですが，先生方は情報Ⅰの授業でネットワークの単元を扱われる際，どのような工夫をされていらっしゃるでしょうか？ 実際の機器を見せたり，教科書に載っている図表を活用したり，さまざまな工夫をされていることと思います。それでも，ネットワークは生徒が難しいと感じる単元の一つになってしまいがちですよ。

ネットワークの単元の難しさには，①通信が目に見えない，②抽象的な専門用語が多い，という2点があると考えています。ケーブルを流れる電気信号もスマホから発せられる電波も生徒の目には見えないわけで，実はその中でデータをパケットに分割していますと言われても何のことやらさっぱりです。また，この単元最大の抽象度を誇るキーワードが「通信プロトコル」です。多くの教科書には「約束事」という説明が書かれていますが，具体的にどんな約束事が決まっているのかは案外書かれていません。実は通信プロトコルこそが，多くの概念が出てきてややこしいネットワークの単元に一本の軸を通してくれる重要な存在だったりするのですが……（詳細はのちほど）。

さて，私が所属する大阪大学を中心とした研究チームでは，ここ数年間で通信プロトコルシミュレータProtoSim（プロトシム）というWeb教材を開発してきました。これまで述べてきたような課題意識をもとに，ネットワークの仕組みをアニメーション等で可視化する試みを取り入れています。また，単にアニメーションを眺めるだけでなく，自分でネットワークの設定を変更して挙動の変化を実験したり，シミュレーション結果を読み取って問題を解いたりといった，主体的な学びに

重きを置いています。

ProtoSimはオンラインにて無償で公開しているのですが，これまでこのべ25,000人以上の方にご利用いただきました。親しくさせていただいている先生方から授業での実践結果をご連絡いただいているほか，私自身も今年度から高校で勤務し始めたことで，ProtoSimを授業で上手に使うコツも蓄積されてきました。

前置きが長くなりましたが，本稿ではProtoSimの機能と授業での活用方法について紹介します。本稿をご覧になった先生方もぜひお気軽にお試しいただき，日々の授業のお役に立てていただければ幸いです。

では，パソコンから「ProtoSim」とWeb検索して，タイトル画面 (<https://v2.protosim.csle-lab.org/>) を開いていただき，一緒に操作しながら本稿の続きをご覧ください。

2. ProtoSimの機能

本節ではProtoSimの機能を紹介します。

2-1 教材の構成

ProtoSimのタイトル画面で「今すぐ始める」をクリックし，さらに「完全版」をクリックするとProtoSimのメイン画面が開けます。図1の通り，この画面はシミュレータエリアとテキストブックエリアから構成されています。

①のシミュレータエリアでは，スマートフォンでWebページを閲覧するという場面をシミュレーションできます。「フタを開ける」ボタンを押してコンピュータ内部の通信プロトコルの階層構造を可視化したり，仮想スマートフォンにURLを入力してやり取りされたデータを見たりすることができます。



図1 ProtoSimのメイン画面 (参考文献 [1] より引用)

②のテキストブックエリアには、ネットワークの仕組みに関して様々な説明が書かれています。また、テキストブックエリアには「ミッション」と呼ばれる問題がいくつも載っています。この問題は短答式や、シミュレータで指定の操作を行うものがあるのですが、いずれも正しい解答や操作かどうかを自動で判定してくれるようになっています(図2)。また、ネットワークの単元で出てくる様々な専門用語に対してマウスカーソルを重ねるとその用語の解説が出てくる機能が備わっており、各自が必要なタイミングで確認できます(図3)。こうした機能のおかげで、各生徒が自立的かつ確実に学習を進められるようになっています。

テキストブックエリアのコンテンツは、次ページ表1のようにTCP/IPの層ごとにページ分けされています。実はネットワークの単元の多くは、TCP/IPのどこかの層と対応付けて体系化できます。層ごとに順を追って学習していくことで、生徒の学習負荷も下がるのではないかと考えています。

2-2 アプリケーション層

アプリケーション層①のページでは、サーバ・クライアント通信やWWWについて学習します。シミュレータ内のWebサーバのモニタを操作すると、図4のようにWebサーバに保存されているファイルを確認できます。つまり、WebページのデータはWebサーバに保存されていて、そ

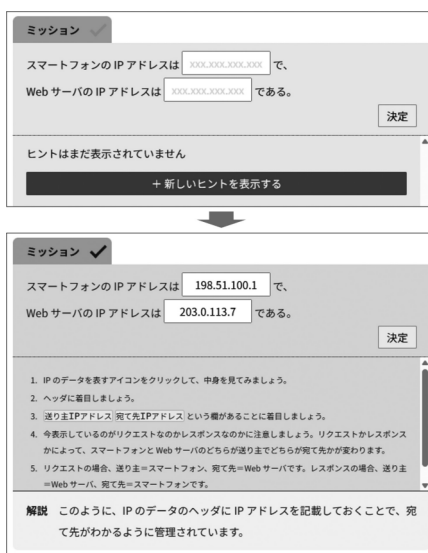


図2 短答式ミッションの例

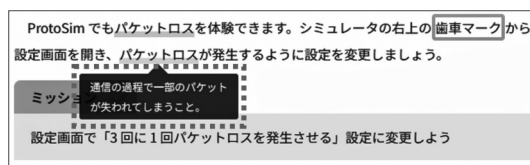


図3 専門用語の説明が表示される例

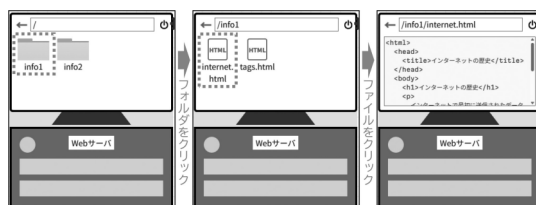


図4 Webサーバに保存されているフォルダやファイル構成 (参考文献 [1] より引用)

表1 テキストブックエリアのページ構成

ページタイトル	内容
【はじめに】演習の狙い	ProtoSimを使った学び方について紹介
Webページ閲覧の流れ	シミュレータの操作方法を紹介
フタを開ける	シミュレータの操作方法を紹介
シミュレータの見方	シミュレータの操作方法を紹介
アプリケーション層①	サーバ・クライアント通信やWWWについて学習
アプリケーション層②	URLの構成について学習
トランスポート層①	パケット通信について学習
トランスポート層②	パケットロスや再送制御について学習
インターネット層①	IPアドレスやドメイン名について学習
インターネット層②	ルータやルーティングについて学習
ネットワークインタフェース層①	二進法でのデータの表現について学習
ネットワークインタフェース層②	ノイズやパリティチェックについて学習

れが手元に転送されてくることで、スマートフォンでページが表示できています。クラウドが当たり前になった現代では曖昧になりつつありますが、通信には相手が存在しているのです。

アプリケーション層②のページでは、URLの構成について学習します。先ほどWebサーバのモニターで確認したフォルダ構成は、URLのパスの部分と対応しています。そこで、Webサーバに保存されている別のファイルをスマートフォンから表示するために、URLのパス部分を書き換えてみる活動に取り組めます。

2-3 トランスポート層

トランスポート層①のページでは、パケット通信について学習します。スマートフォンやWebサーバ内でやり取りされたデータの痕跡は半透明なアイコンとして残っているのですが、それをクリックするとデータの中身を確認できます。アプリケーション層ではデータが1枚の紙切れとしてあらわされているのに対し、図5のようにトランスポート層では紙切れが切断されて、それぞれダンボール箱に詰められています。これがデータをパケットに分割するという事です。

トランスポート層②のページでは、パケットロ

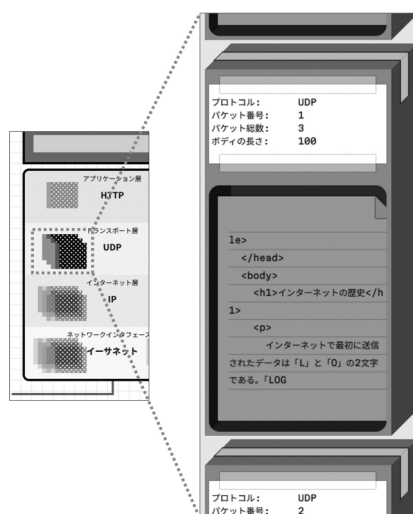


図5 パケットの可視化

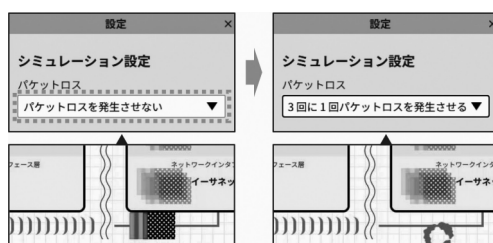


図6 パケットロスの有効化

通信プロトコルの入れ替え

UDP
データをパケットという細かい単位に分ける通信プロトコルです。再送制御は行いません。

TCP
データをパケットという細かい単位に分ける通信プロトコルです。さらに、相手に届かなかったパケットを再送する再送制御を行います。

図7 通信プロトコルの入れ替え

スや再送制御について学習します。ProtoSimの設定画面から、パケットロスを有効化できます。すると図6のように、通信の途中で一部のパケットが爆発して消失してしまいます。これではページが正しく表示されません。そこで、図7の設定画面でトランスポート層の通信プロトコルをUDPからTCPへと切り替えると、ロスしたパケットが再送されるようになり、再びページが表示されるようになります。こうしたデータを効率良く確実にやり取りするための工夫をProtoSimではアニメーションで確認できます。

2-4 インターネット層

インターネット層①のページでは、IPアドレスやドメイン名について学習します。やり取りされたデータのヘッダを確認することで、スマートフォンやWebサーバのIPアドレスを調べます。また、URLのドメイン名の部分をWebサーバのIPアドレスに置き換えて通信を行うことで、IPアドレスとドメイン名が対応していることを体験できます。

インターネット層②のページでは、ルータやルーティングについて学習します。シミュレータ内の二重波線で省略されていた箇所をクリックして開くと、複数のルータが表示されます。また、各ルータにマウスカーソルを重ねると、図8のようにルーティングテーブル（経路制御表）が表示されます。IPアドレスは住所のようなものと言われるかもしれませんが、具体的にはパケットのヘッダに宛先を書いたり、各ルータで次の転送先を判断したりすることで、最終目的地までデータが届くようになっているのです。

2-5 ネットワークインタフェース層

ネットワークインタフェース層①のページでは、二進法でのデータの表現について学習します。図9のように可視化されたデータの中身を見ることで、ケーブルや電波など通信方法に合った形でビット列が表現されていることを確かめられます。

ネットワークインタフェース層②のページでは、ノイズやパリティチェックについて学習します。シミュレータの機能で、ネットワークインタフェース層に直接小さなデータを流し込むという実験ができます。試しに「a」というデータを流し込むと「011000011」というビット列が可視化されるのですが、文字コード表によればaの文字コードは「01100001」であり、末尾に1ビット増えていることがわかります。実験を通じた気づきを経て、パリティビットに関する複数のミッションに取り組んでいくことができます。

3. 授業でのProtoSim活用事例

本節ではProtoSimを授業でどう使えば良いのかについて紹介します。

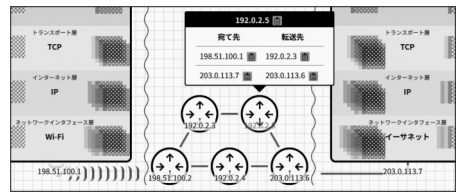


図8 ルーティングテーブルの可視化

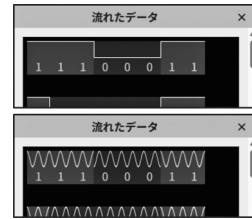


図9 ネットワークインタフェース層におけるデータの可視化

3-1 3つの授業モデル

まず、ここまでのProtoSimの説明を見て、お勤めの学校で扱うには内容が難しすぎると感じられた先生方もいらっしゃるかと思います。実際、表面的に用語をなぞるだけでなく、ネットワークの仕組みや動きをきちんと理解しようと思うと、学校によってはかなり難しいことは否めないと思います。そんな場合におすすめなのが、先生方が操作しているところをスクリーンや中間モニタで生徒に見せるという方法です。ProtoSimのすべての内容を扱う必要はなく、先生方が特に取り上げたい内容について、口頭で説明を補いながらアニメーション等を見せていただくだけでも、かなり理解が進むかと思えます。

次に、最もスタンダードな活用方法は、先生方の時間管理のもとで細かく進行を区切っていく方法です。まずは先生方から教科書等を用いてネットワークをご指導いただきます。次いでProtoSimに1時間割いていただくのですが、層ごとに10分ごとなど生徒が各自でミッションに取り組む時間を区切り、適宜先生方から教科書との対応などの解説を挟んでいただきます。ProtoSimのような正誤判定の機能がついた教材の場合、どうしても理解することではなく正解することが目的になってしまう生徒がいます。先生方からも並行してお話をしていただくことで、操作と意味をしっかりと結び付けて理解を促していきます。

最後に、最もチャレンジングな方法は、1時間の進行を生徒に完全に委ねるというものです。ProtoSimにはこれまでも紹介してきたさまざまな自律学習支援機能が備わっており、自習や家庭学習でも学習を進めることができます。また、タイトル画面の次の画面で「完全版」以外に「追加ミッション」という選択肢があり、こちらは一切説明が書かれておらずひたすらミッションだけが並んでいる小テストのようなモードになっています。早く学習が終わった生徒には追加ミッションを促してさらなる定着を図るなど、個別最適な学びを実現できます。

3-2 勤務校の実践事例

では私の担当するクラスではどのように授業を実施したのかをお伝えします。ProtoSimに直接関連するようなネットワークの仕組みの授業は2時間で実施しました。

1時間目ですが、実はProtoSimには「参考オンデマンドビデオ」というものが存在しており、最初のページの下の方にあるボタンをクリックすると、YouTube上の動画が表示されます。5分ほどの動画が6本あり、これらを視聴するとひととおりネットワークの仕組みについて学べるようになっています。そこで、授業中にこれらの動画を生徒に視聴してもらいました。といっても30分見続けるのは負担が大きいため、各動画を視聴直後に、その動画を出题範囲とした専門用語などを尋ねるKahoot!^{註1}を実施するようにしました。きちんと動画の内容を見ておく動機づけにもなります。インプットとアウトプットを1時間に6回繰り返すというのはけっこうハードだと思うのですが、授業後のリフレクションでは「毎回この形式にしてほしい」という声まで上がっていて驚きました。生徒の学びへの姿勢にはいつも頭が上がりません。

2時間目の授業では丸々ProtoSimを扱いました。3つの授業モデルの「スタンダード」方式で、層ごとに時間を区切って解説しました。ただ、一

部のクラスではうっかり喋りすぎてしまって時間が足りなくなってしまうこともあったので反省しています。授業後のリフレクションでは、ミッションをクリアできた時の達成感や、自分のペースで確実に進められたこと、自分で体験できることのわかりやすさなどについての言及が見られました。一方で、用語がまだ把握しきれておらず、都度用語の意味を確認しながらになってミッションにスムーズに取り組みなかった生徒もいたようです。1時間目にKahoot!をやっても、2時間目にはすっかり忘れていているというのは、とても自然なことです。来年度は1時間目の学習事項がしっかりと定着した状態で2時間目に臨めるよう、宿題を出したり、2時間目の導入を工夫したりできたらと考えています。また、消化不良の生徒については、一人一台端末を用いて家庭で追加ミッションに取り組むなど、復習も促していきたいです。

4. おわりに

この記事では、通信プロトコルシミュレータProtoSimの機能と授業での活用方法について紹介しました。少しでも先生方のお役に立てる内容になっておりましたでしょうか？

冒頭でも述べたように、ProtoSimはオンラインにて無償で公開しています。特に許諾等は必要ありませんので、ご自由にお使いください。お問い合わせ等がございましたら、下記のProtoSimサポートチームまでご連絡ください。もしよろしければ授業実践の結果もぜひお寄せください。教材や授業モデルの改善に役立てさせていただき、引き続き日本全国の情報教育をより良いものとするために貢献していければと考えております。

ProtoSimサポートチーム

✉ protosim-support@protosim.csle-lab.org

参考文献

北村祐稀, 長瀧寛之, 岸本有生, 兼宗進, 白井詩沙香: ProtoSimの評価・改善を通じたインタラクティブ学習環境で自己学習を促す要素の分析, 情報処理学会 情報教育シンポジウム2025論文集, Vol. 2025, pp. 126-132 (2025).

^{註1} クイズ大会を簡単に実施できるゲームベースの学習プラットフォーム