

ショートペーパー

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

鈴木 大助^{1,a)}

受付日 2017年8月25日, 再受付日 2017年12月17日,
採録日 2018年3月3日

概要: 本研究の目的は, ネットワーク機器を使わずにネットワークを理解するためのロールプレイ演習を開発し, 実際の授業に適用し, その演習が学生の理解に及ぼす効果を明らかにすることである. 演習では, 学生自身がルータやスイッチに扮し, データを象徴する入れ子構造の箱をプロトコルに従ってやりとりする. 演習の効果を確認するためネットワークに関する確認テストを事前と事後で実施したところ, 実験群の平均点が20.6点上昇したのに対し, 統制群の平均点は6.9点の上昇にとどまった. 事後得点から事前得点を引いた差得点について群間でBrunner-Munzel検定を行ったところ, 5%有意水準での有意差が認められた. 本ロールプレイ演習は, ネットワークの階層構造や通信プロトコル, ネットワーク機器の役割の理解を促進する確かな効果を持つといえる.

キーワード: 情報通信ネットワーク, プロトコル, 能動的学習, ロールプレイ, アンプラグド

Practice and Evaluation of a Role Play Exercise for Understanding TCP/IP Network

DAISUKE SUZUKI^{1,a)}

Received: August 25, 2017, Revised: December 17, 2017,
Accepted: March 3, 2018

Abstract: The aim of this study is to invent a role play exercise without network devices, to put it into practice, and to clarify its effect on students' understanding of TCP/IP network. In the exercise, students pretend to be a router, switches, and computers and they send and receive nested boxes as a symbol of data each other in obeying network protocols. We conducted pre and posttests to confirm the effect of the role play exercise. The average point of the experiment group rose by 20.6 points, while the average point of the control group increased by only 6.9 points. The Brunner-Munzel test on the difference in mean score improvement between two groups showed a significant difference at the 5% significance level. We clarified by a pretest-posttest control group design that this role play exercise promotes understanding layered network architecture, protocols and roles of network devices.

Keywords: TCP/IP network, protocols, active-learning, role play, unplugged

1. はじめに

情報通信ネットワークが重要な社会インフラとなっている昨今, 情報通信ネットワークに対する理解はすべての人にとって重要である. 大学においては, 情報専門学科教育

ではもちろんのこと, 一般情報処理教育においても文理問わず, 情報通信ネットワークの学習を行うことが求められている [1]. ところが, ネットワークの階層構造や通信プロトコル, 各種ネットワーク機器の役割など, 従来型の講義のみでは, たとえ情報を専門とする学生であったとしても学習当初はその理解が難しい. ネットワーク機器を利用した実機演習は効果的だが, 機器の準備や操作の習熟に手数がかかるため, だれしもが実行できるわけではない. 機器

¹ 北陸大学
Hokuriku University, Kanazawa, Ishikawa 920-1180, Japan
^{a)} d-suzuki@hokuriku-u.ac.jp

の操作やコマンド入力にとらわれるあまり、通信の仕組みの理解が逆におろそかになることもありうる。特別な機器を利用せずに情報通信ネットワークの仕組みを理解できるような学習法が望ましい。

コンピュータを利用せずに情報科学の本質を理解させる教育としてコンピュータサイエンスアンプラグド (以下 CS アンプラグドと呼ぶ) があげられる。CS アンプラグドは、その手法が書籍として Web で公開されたもの [2] に始まり、日本においては、日本語版 [3] の刊行にともない、小学校 [4]、中学校・高等学校 [5], [6], [7], [8], 大学 [9], [10], [11], [12], 職業訓練校 [13] など、広い範囲で実践・開発されるに至っている。CS アンプラグドのコンセプトをふまえると、ネットワーク機器を利用しない学習法によって、ネットワーク通信の仕組みの理解に到達させることが可能であると考えられる。

これまでのところ、CS アンプラグドの手法を用いたネットワーク通信の学習としてはみかんゲームがあげられるが [2], [3], これはネットワークにおけるデッドロックに焦点を当てた学習活動であり、ネットワークの階層構造や各種通信プロトコル、各種ネットワーク機器の役割の理解を目的としたものではない。コンピュータサイエンスフィールドガイド [14] は高校生向けのコンピュータ科学学習サイトで、CS アンプラグドを利用した学習や動画、対話的な学習教材が提供されており、日本語版も随時公開されている [15], [16]。15 章「ネットワーク通信プロトコル」において、動画と対話的な学習教材が紹介されているが、主に焦点を当てているプロトコルは HTTP や TCP といった、OSI 参照モデルでいうところの第 4 層以上のプロトコルであり、第 3 層以下、すなわち、ネットワーク層やデータリンク層のプロトコルについてはカプセル化の説明の中で少し触れるだけにとどまっている。また、この内容に関するオフラインでの学習活動は取り上げられていない。ネットワーク機器を利用せずに、ネットワークの階層構造や通信プロトコル、各種ネットワーク機器の役割の理解を促すオフラインでの学習活動の開発が必要である。

他方、学習の方法に関して大学は、学生の主体的な学習を促すよう、能動的学習へ転換することが求められている [17]。具体的な手法にはさまざまあるが、得ようとする学習成果に応じた手法を選択することが大切である [18]。各種ネットワーク機器の動作を理解するためには各種ネットワーク機器の役割を演じるロールプレイが最適な方法の 1 つであると考えられる。

筆者 [19] は、コンピュータやネットワーク機器を使わずに情報通信ネットワークの仕組みを理解するためのロールプレイ演習教材を開発し実践を行った。学生自身がルータとなり、スイッチとなり、PC となり、プロトコルに従ってデータをやりとりするロールプレイ演習を通じて、体験的にネットワーク通信の仕組みを理解できることを目指し

た。振り返りとミニッツペーパーから、当該ロールプレイ演習がネットワークの階層構造や通信プロトコル、各種ネットワーク機器の役割の理解に寄与しうること、学生同士の交流を促進し、学び合う雰囲気を醸成することが分かった。ところが、演習グループサイズが大きすぎる、客観テストなどを利用した学習効果測定を行っていないなどの問題が残っていた。これをふまえ、本研究は、ロールプレイ演習を改良したうえで改めて授業における実践を行い、事前事後テスト・統制群法によって、当該ロールプレイ演習の学習効果を検証することを目的とする。

2. 演習概要

2.1 想定するネットワーク構成

本ロールプレイ演習では、学生はルータやスイッチ、PC に扮してその機能を模擬し、相互にデータをやりとりするロールプレイ演習を通じて、ネットワーク通信の仕組みを体験的に理解することを目的とする。本演習で想定するネットワーク構成図を図 1 に示す。なお、図中で用いているアイコンのうち、ルータやスイッチ、PC については、Cisco のネットワークトポロジーアイコン [20] を、人のアイコンは All-Silhouettes [21] を使用している。192.168.3.0/24 と 192.168.11.0/24 の 2 つのネットワークがルータで接続されている。ルータ役は 1 人、スイッチ役 2 人、PC 役 5 人の計 8 人とする。送信元となる PC (以下 PC1 と呼ぶ) から宛先となる PC (以下 PC2 と呼ぶ) へ、データが無事に届き、PC2 から PC1 へ返信データが届けば通信成功となる。

2.2 カプセル化 (パケットとフレーム)

本来、データは電気信号や光信号で表現され、ケーブル内を伝搬するが、本ロールプレイ演習では、パケットやフレームといったデータは具体物としての「箱」で表現し、その「箱」を PC 役学生、スイッチ役学生、ルータ役学生の間で受け渡すことで通信を表現する。受け渡される「箱」を図 2 に示す。

大きめの箱をフレーム、小さめの箱をパケットとし、フ

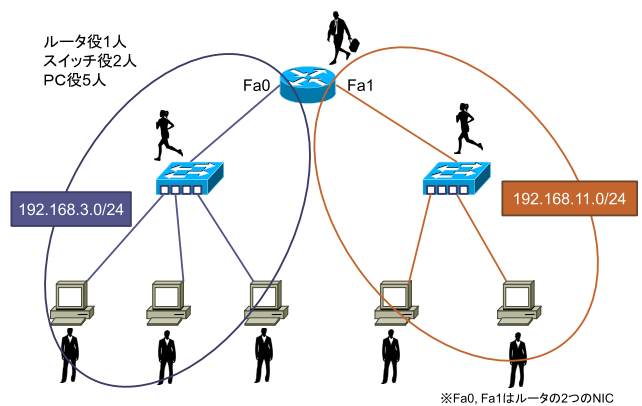


図 1 ロールプレイ演習で想定するネットワーク構成図
Fig. 1 Network configuration diagram used in the role play.

フレームの中にパケットが入っている。これは TCP/IP プロトコルスタックにおけるカプセル化の概念に対応するものである。実際の通信では、パケットには宛先 IP アドレスと送信元 IP アドレスが記録された IP ヘッダが付与され、これに宛先 MAC アドレスと送信元 MAC アドレスが記録されたイーサネットヘッダとトレーラが付与されたものがフレームである。ロールプレイでは、小さな箱（パケット）に、宛先 IP アドレスと送信元 IP アドレスを記入した送り状（IP ヘッダ）を貼付する。さらにこれを大きな箱（フレーム）に入れ、宛先 MAC アドレスと送信元 MAC アドレスを記入した送り状（イーサネットヘッダ）を貼付することで、カプセル化を表現する。

2.3 フレームの伝搬

PC 役学生からデータの送信を開始するとき、PC 役学生はスイッチ役学生にフレームを手渡しする。スイッチ役学生はフレームに貼付されたイーサネットヘッダの宛先 MAC アドレスと、自身が記録している MAC アドレステーブルを照合し、適切なポートの先にあるホストにフレームを手渡しする。これはフォワーディングに相当する。MAC アドレステーブルに記録のない MAC アドレス宛のフレームやブロードキャストフレームについてはフラッディングを行う。しかし、ロールプレイとしてフラッディングの表現を考えた場合、箱をコピーして送信ポート以外のポートの先にあるホストに同時に手渡しすることは難しいため、1つの箱をポートの先にあるホストに順番に示し、内容を確認してもらう作業を繰り返すことでフラッディングを表現する。

2.4 パケットの転送

ルータ役学生は、自分宛てのフレームを開封し、パケットに貼付された IP ヘッダの宛先 IP アドレスとルーティングテーブルを照合し、イーサネットヘッダの付け替えなど

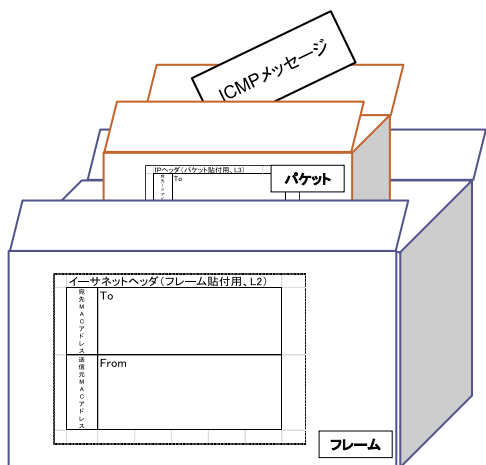


図 2 パケットとフレームを表す箱とその入れ子構造
Fig. 2 Packet is encapsulated in frame.

必要な処理を行った後に、適切なインターフェースから送出する。

3. 演習準備

3.1 役割と IP アドレスの決定

まず、役割と IP アドレスを決定する。トランプ 2 色 (♠ から ♠4 と ♠Q, ♥2 から ♥3 と ♥Q) とジョーカーをシャッフルして 1 人 1 枚引き、引いたカードに従って役割と IP アドレスを決定する。役割・IP アドレス決定ルールを示したものが表 1 である。引いたカードのマークを表側に、引いたカードの数字を表頭に示し、対応するセルに役割・IP アドレスを記載している。ジョーカーを引いた 1 人はルータとなる。ルータは 2 つのインターフェース (Fa0 と Fa1) を備えるものを想定しているため、IP アドレスを 2 つ、Fa0: 192.168.3.1 と Fa1: 192.168.11.1 を持つものとする。Q のカードを引いた 2 人はスイッチとなる。スイッチは IP アドレス不要である。その他のカードを引いた者は PC となるが、カードのマークでネットワークアドレスを決定し (♠: 192.168.3.0/24, ♥: 192.168.11.0/24), カードの数字がそのままホストアドレスとなる。たとえば ♠3 であれば、♠ はネットワークアドレスの 192.168.3.0/24 を表し、3 はホストアドレス .3 を表すため、その PC の IP アドレスは 192.168.3.3 となる。決定した役割に従って役割別のワークシート (図 3, 図 4, 図 5) を受け取り、自分の IP アドレスを記録する。

表 1 役割・IP アドレスの決定

Table 1 Determination of roles and IP addresses.

マーク\数字	2	3	4	Q
♠	PC(192.168.3.2)	PC(192.168.3.3)		スイッチ (IPアドレス不要)
♥	PC(192.168.11.2)	PC(192.168.11.3)	PC(192.168.11.4)	スイッチ (IPアドレス不要)
ジョーカー	ルータ (Fa0: 192.168.3.1, Fa1: 192.168.11.1)			

ルータ

学籍番号 _____

氏名 _____

	MACアドレス	IPアドレス
Fa0		
Fa1		

ルーティングテーブル

ネットワークアドレス	送出インターフェース
192.168.3.0/24	Fa0
192.168.11.0/24	Fa1

ARPテーブル(裏面に続く)

IPアドレス	MACアドレス

図 3 ルータ用ワークシート

Fig. 3 Worksheet for a router.

スイッチ 学籍番号 _____
 氏名 _____

MACアドレステーブル

ポート番号	MACアドレス
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

図 4 スイッチ用ワークシート
 Fig. 4 Worksheet for a switch.

PC 学籍番号 _____
 氏名 _____

自分のMACアドレス _____

自分のIPアドレス _____

デフォルトゲートウェイ _____

ARPテーブル

IPアドレス	MACアドレス

図 5 PC 用ワークシート
 Fig. 5 Worksheet for a PC.

ホスト名とIPアドレスの対応(全員)

- ・本来IPアドレスを調べるにはDNSを利用する
- ・本演習では簡単のため、ホスト名とIPアドレスの対応は既知としてテーブルに記録する

名前	IPアドレス

図 6 ホスト名と IP アドレスの対応テーブル
 Fig. 6 Table for resolving hostnames to IP addresses.

3.2 ホスト名と IP アドレスの対応テーブルの作成

通常インターネットにおいては DNS を利用してドメイン名から IP アドレスを知る。本演習では簡単のため、ホスト名と IP アドレスの対応を図 6 に示すテーブルに記録する。これは DNS ではなくローカルのファイルによって名前解決を行うことに相当する。なお、名前欄にはルータ役と PC 役学生の名前、IP アドレス欄には対応する IP アドレスを記録する。

3.3 ネットワークの構成 (学生の並べ替え)

ネットワーク構成図 1 を参照して学生が配置に付く。ルータ役学生から見て、右手がインタフェース Fa0 で右手側ネットワークが 192.168.3.0/24, 左手がインタフェース Fa1 で左手側ネットワークが 192.168.11.0/24 となるように並ぶ。なお、このように並ぶのは、直接つながっているデバイス役同士が近くに座ることで、ロールプレイ演習における箱の受け渡しをスムーズに行えるようにするためである。

3.4 MAC アドレスの決定

PC 役は 1 つ、ルータ役は 2 つ MAC アドレスを決定する。重複なく一意に決定するため、次のルールにより計算する。まず、MAC アドレスは 00-12-34-56-7X-XX の形式とし、X-XX は自分の学籍番号下 3 桁を 16 進数に変換したものとす。たとえば、学籍番号下 3 桁が 891 ならば MAC アドレスは 00-12-34-56-73-7B となる。決定した MAC アドレスは各自のワークシートに記入する。なお、ルータの場合は Fa0 の MAC アドレスは 00-12-34-56-7X-XX, Fa1 の MAC アドレスは 00-12-34-56-8X-XX とする。

3.5 デフォルトゲートウェイの設定

PC は自分が所属しているネットワーク以外への通信に関してはデフォルトゲートウェイにデータを送ることになる。PC 役学生はワークシート (図 5) のデフォルトゲートウェイのところに、ルータの IP アドレスを記入する。192.168.3.0/24 側の PC においては 192.168.3.1, 192.168.11.0/24 側の PC においては 192.168.11.1 がデフォルトゲートウェイとなる。

4. 演習

演習は同じネットワーク内での通信を行う演習 1 と、異なるネットワーク間での通信を行う演習 2 からなる。演習 1 では IP アドレスしか分からない相手ホストの MAC アドレスを調べる手順と、それにとまって PC においては ARP テーブルが更新されること、スイッチにおいては MAC アドレステーブルが更新されることを体験する。演習 2 では異なるネットワークへの通信にあたっては、パケットは目的ホスト宛てだがそれをカプセル化したフレームはルータ宛てに送信すること、ルータは転送にあたってフレームの送信元と宛先を書き換えることを体験する。学生は演習にあたって、通信規約・手順詳細を配布されており、自分が担当するデバイスのプロトコルを把握して演習に取り組む。以下、各演習の目標と演習の流れを示す。

4.1 演習 1 (同じネットワーク内での通信)

演習 1 では、グループで指名されたホスト (PC もしくはルータ) が、同一ネットワーク内の任意のホストを選び

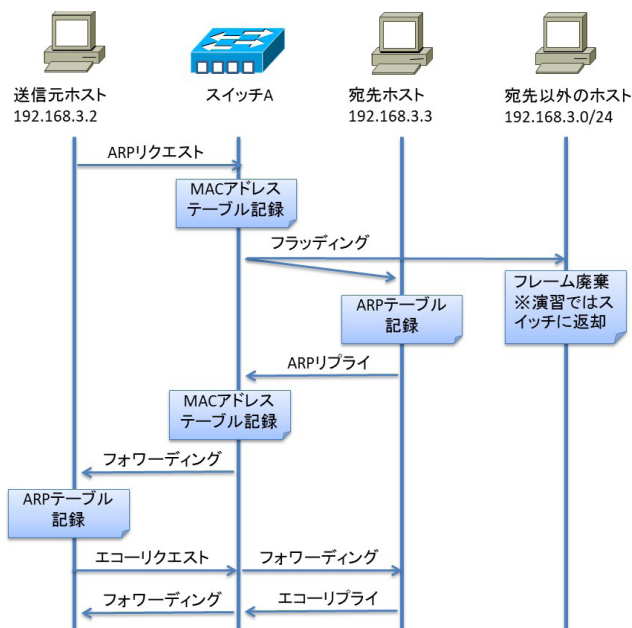


図 7 演習 1 のシーケンス図
Fig. 7 Sequence diagram of Exercise 1.

ARP パケット

種別	送信元MAC	送信元IP	宛先MAC	宛先IP
1	00-12-34-56-73-7B	192.168.3.2	00-00-00-00-00-00	192.168.3.3

ARPリクエストの場合、種別を1とし、宛先MACは00-00-00-00-00-00とする
ARPリプライの場合、種別を2とする
ARPパケットはフレームに直接封入すること

図 8 ARP パケット

Fig. 8 ARP packet.

エコーリクエスト (ping) を送る。エコーリクエストをもらったホストはエコーリプライを返し、エコーリプライが送信元ホストに返ると通信成功となる。

学生は、配布された規約・手順詳細を見ながら各自行動するが、その結果として生じる全体的な演習の流れを俯瞰すると、演習 1 は図 7 に示すシーケンス図のように進行する。なお、図に示した IP アドレスは説明のための一例である。

送信元ホスト (192.168.3.2) は、宛先ホスト (192.168.3.3) の MAC アドレスについて ARP テーブルに記録がないため、ARP リクエストを行う。まず、図 8 のように ARP パケットを記入、フレームに封入し、図 9 のようにイーサネットヘッダを記入しフレームに貼付する。宛先アドレスは FF-FF-FF-FF-FF-FF とする (ブロードキャスト)。このフレームをスイッチ A に渡す。

フレームを受け取ったスイッチ A は、フレームの送信元 MAC アドレスを確認し MAC アドレステーブルに記録する。次に、フレームの宛先 MAC アドレスがブロードキャストのため、スイッチ A は、受信ポート以外でつながりのあるすべてのホストに対して順にフレームを示す (フラッディング)。

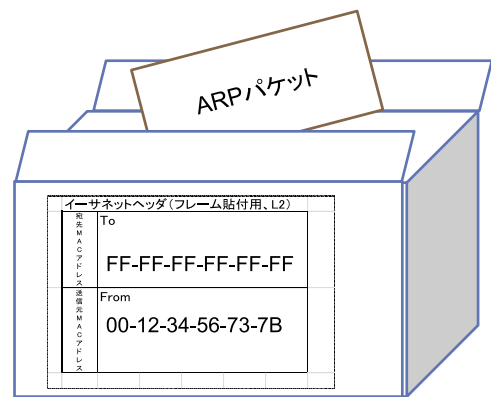


図 9 フレームに封入された ARP パケット
Fig. 9 An ARP packet encapsulated in a frame.

ICMPメッセージ

種別	データ等 (特に指定しない)
8	

エコーリクエストの場合、種別を8とする
エコーリプライの場合、種別を0とする
宛先到達不能の場合、種別を3とする
ICMPメッセージはパケットに封入すること

図 10 ICMP メッセージ

Fig. 10 ICMP message.

フレームを示されたホストは、フレームを開いて自分宛てかどうか確認する。内容物の ARP リクエストが自分宛てではないことを確認したホスト (宛先以外ホスト) は、フレームを受け取らない。この場合、本来フレームは廃棄となるがロールプレイでは便宜上スイッチが持ち戻ることとする。内容物の ARP リクエストが自分宛てであることを確認したホスト (192.168.3.3) は、そのままフレームを受け取り、ARP リクエストの送信元 IP アドレスと送信元 MAC アドレスを自分の ARP テーブルに記録した後、ARP リプライの手続きを行い、スイッチ A にフレームを手渡す。

フレームを受け取ったスイッチ A は、フレームの送信元 MAC アドレスを確認し MAC アドレステーブルに記録する。次に、フレームの宛先 MAC アドレスと MAC アドレステーブルを照合し、適切なポートのホストにフレームを手渡す (フォワーディング)。

自分宛てのフレームを受け取った PC (192.168.3.2) はフレームを開き、内容物である ARP リプライの送信元 IP アドレスと送信元 MAC アドレスを自分の ARP テーブルに記録する。これでようやく ARP の一連の処理が完了する。

次に、PC (192.168.3.2) はエコーリクエストを開始する。まず、ICMP メッセージ (図 10) を記入しパケットに封入する。図 11 のように IP ヘッダを記入し、パケットに貼付後、パケットをフレームに封入する。イーサネットヘッダを記入しフレームに貼付後、フレームをスイッチ A に渡す。

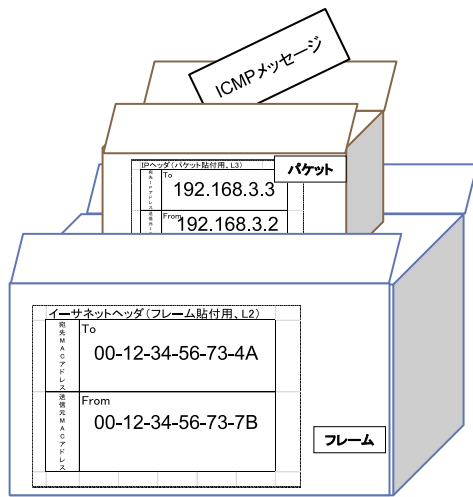


図 11 カプセル化された ICMP メッセージ
Fig. 11 An encapsulated ICMP message.

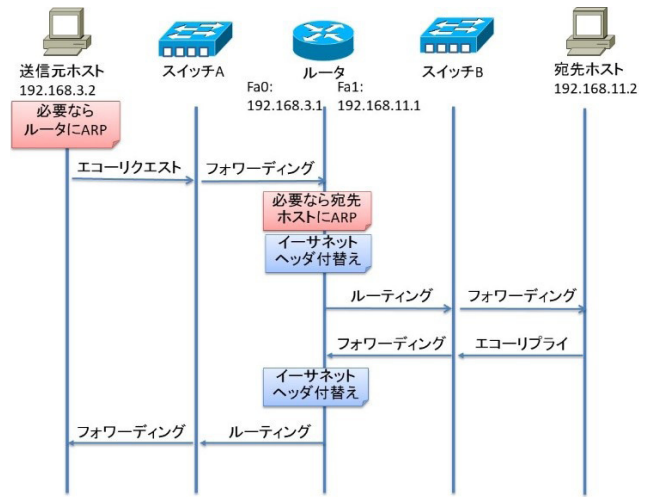


図 12 演習 2 のシーケンス図
Fig. 12 Sequence diagram of Exercise 2.

フレームを受け取ったスイッチ A は、フレームの宛先 MAC アドレスと MAC アドレステーブルを照合し、適切なポートのホストにフレームを手渡す (フォワーディング)。

自分宛てのフレームを受け取った PC (192.168.3.3) はフレームを開き、パケットの宛先が自分宛てであることを確認後、パケットを開く。エコーリクエスト確認後、エコーリプライの手続きを行い、フレームをスイッチ A に手渡す。

フレームを受け取ったスイッチ A は、フレームの宛先 MAC アドレスと MAC アドレステーブルを照合し、適切なポートのホストにフレームを手渡す (フォワーディング)。

自分宛てのフレームを受け取った PC (192.168.3.2) はフレームを開き、パケットの宛先が自分宛てであることを確認後、パケットを開き、エコーリプライを確認する。これで通信成功となる。

以上が、演習 1 の流れである。

4.2 演習 2 (異なるネットワーク間での通信)

演習 2 では、グループで指名されたホスト (PC もしくはルータ) が、異なるネットワークの任意のホストを選びエコーリクエスト (ping) を送る。エコーリクエストもらったホストはエコーリプライを返し、エコーリプライが返ると通信成功となる

学生は、配布された規約・手順詳細を見ながら各自行動するが、その結果として生じる全体的な演習の流れを俯瞰すると、演習 2 は図 12 に示すシーケンス図のように進行する。なお、図に示した IP アドレスは説明のための一例である。

送信元ホスト (192.168.3.2) から宛先ホスト (192.168.11.2) にエコーリクエストを送る場合、宛先ホストが異なるネットワークに所属しているため、フレームの宛先はデフォルトゲートウェイとなる。ARP

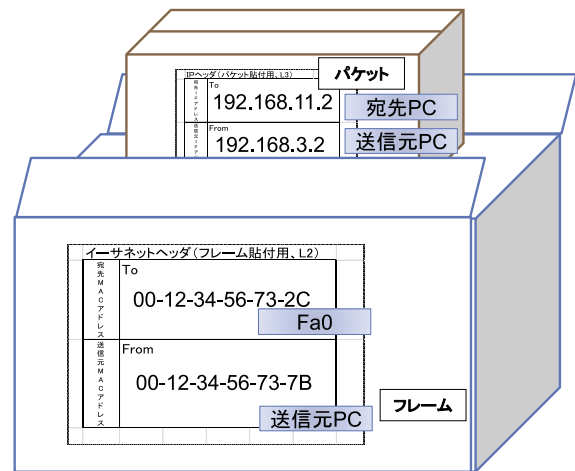


図 13 ゲートウェイ宛てのフレーム
Fig. 13 A Frame destined to the gateway MAC address.

テーブルを確認し、デフォルトゲートウェイの MAC アドレスが不明の場合、まず ARP リクエストを実施し、デフォルトゲートウェイの MAC アドレスを取得し、ARP テーブルに記録する。

次に、送信元ホストは、エコーリクエストのため、ICMP メッセージを記入後パケットに封入し、IP ヘッダを記入してパケットに貼付する。図 13 のように、IP ヘッダの宛先には宛先ホストの IP アドレス (192.168.11.2) を記入する。続いて、パケットをフレームに封入し、イーサネットヘッダを記入してフレームに貼付する。イーサネットヘッダの宛先にはデフォルトゲートウェイ (Fa0) の MAC アドレスを記入する。その後、フレームをスイッチ A に手渡す。

フレームを受け取ったスイッチ A は、フレームの宛先 MAC アドレスと MAC アドレステーブルを照合し、適切なポートのホスト (今の場合はルータ) にフレームを手渡す (フォワーディング)。

ルータはフレームの宛先が自分自身であることを確認後、

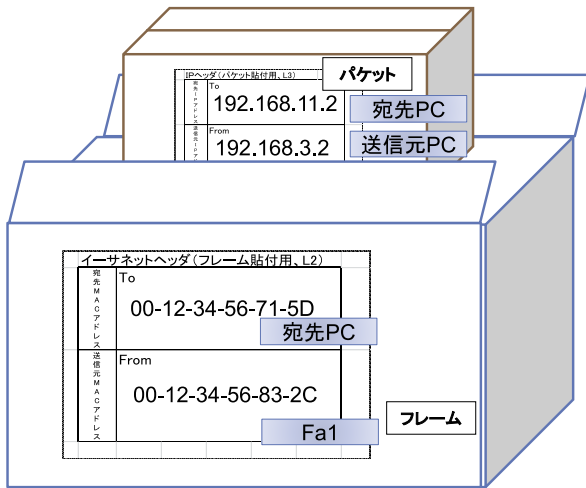


図 14 ルータから宛先 PC 宛でのフレーム

Fig. 14 A Frame from the router to the destination.

フレームを開封し、パケットの宛先を確認する。パケットの宛先 (192.168.11.2) とルーティングテーブルを照合し、転送インタフェースが Fa1 であることを確認する。パケットをフレームに封入し、イーサネットヘッダを適切に付け替える。この際、図 14 のように、送信元 MAC アドレスは Fa1 の MAC アドレス、宛先 MAC アドレスは 192.168.11.2 の MAC アドレスとなる。ARP テーブルに 192.168.11.2 に対応する MAC アドレスの記録がない場合は、別途 ARP リクエストを実施後、イーサネットヘッダを付け替える。その後、フレームをスイッチ B に手渡す。

フレームを受け取ったスイッチ B は、フレームの宛先 MAC アドレスと MAC アドレステーブルを照合し、適切なポートのホストにフレームを手渡す (フォワーディング)。

自分宛でのフレームを受け取った PC (192.168.11.2) はフレームを開き、パケットの宛先が自分宛であることを確認後、パケットを開く。エコーリクエストを確認後、エコーリプライの手続きを行う。以下同様であるため詳細は割愛するが、PC (192.168.11.2) によるエコーリプライの後、PC (192.168.3.2) は自分宛でのフレームを開き、パケットの宛先が自分宛であることを確認後、パケットを開き、エコーリプライを確認する。これで通信成功となる。

以上が、演習 2 の流れである。

5. 授業実践と評価の枠組み

5.1 授業スケジュール

2017 年度北陸大学未来創造学部 3 年前期科目「ネットワーク論 I」全 16 回のうち第 7 回に実験群に対してロールプレイ演習を実施し、統制群に対してはケーブル作成演習を実施した。第 11 回以降の実機演習で用いるためのクロスケーブルとストレートケーブルの作成を行っている。なお、本科目は後期科目「ネットワーク論 II」とあわせて、CCENT (Cisco Certified Entry Networking Technician)

表 2 分野別問題数

Table 2 Number of questions by category.

分野	事前	事後
ネットワーク基礎	7	7
OSI参照モデル	5	5
TCP/IP	2	2
スイッチング	4	4
ルーティング	2	2

レベルに到達することを 1 つの目標としている。「ネットワーク論 I」の授業構成は、第 1 回イントロダクション、第 2 回イーサネット (データリンク層以下)、第 3 回 TCP/IP (ネットワーク層)、第 4 回 TCP/IP (トランスポート層以上)、第 5 回 IPv4 アドレスとサブネット、第 6 回事前テスト・ケーブル作成の説明、第 7 回ロールプレイ演習 (実験群)/ケーブル作成 (統制群)、第 8 回事後テスト・IP アドレッシング、第 9 回ケーブル作成/ロールプレイ演習 (第 7 回の入れ替え)、第 10 回確認テスト・実機操作の説明、第 11 回～第 15 回実機演習、第 16 回期末試験となっている。

受講生は日本語と IT 専門学習のために中国から来た編入留学生 3 年生 17 人で、受講段階では、日本語能力は日本語能力試験 2 級レベルである。ネットワークについては、第 2 回でデータリンク層以下、第 3 回でネットワーク層について講義を受けており、本ロールプレイ演習までに MAC アドレスや IP アドレス、ARP、デフォルトゲートウェイについてひととおり学んでいる前提である。

5.2 事前・事後テスト

ネットワークに関する事前・事後テストを実施した。事前テスト・事後テストともに選択問題 20 問からなり、1 問 5 点の 100 点満点とする。問題は ping-t [22] 最強 WEB 問題集 CCNA Routing and Switching (v3.0) の中から CCENT 範囲のうち「ネットワーク基礎」「OSI 参照モデル」「TCP/IP」「スイッチング」「ルーティング」から抜粋して出題した。20 問の分野別問題数内訳を表 2 に示す。

なお、出題した問題は本授業の第 1 回から第 5 回までに学んだ内容で、かつ、本ロールプレイ演習に関係する問題に限定している。「ネットワーク基礎」は、基数変換やブロードキャストドメインの理解のほかに、IP アドレス、MAC アドレス、ARP の理解やデフォルトゲートウェイの設定、ルータやスイッチの挙動を問う問題が含まれる。「OSI 参照モデル」にはセグメント、パケット、フレームの関係やカプセル化について問う問題が含まれる。「TCP/IP」は ARP やデフォルトゲートウェイの設定について、「スイッチング」はスイッチの挙動やフラッドイングについて、「ルーティング」はルータの挙動やルーティングにおける MAC アドレスの書き換えについて、それぞれ問う問題からなる。CCENT の本来の問題では「スイッチング」「ルーティング」ではスイッチやルータの実際のコマンドやさらに詳細

な設定を問う問題が多く出題されるが、今回は対象外としている。

6. 結果と考察

6.1 演習中の学生の様子

演習準備から演習開始までの時間に、通信規約やデバイスの動作を理解するため、同じデバイスを担当する者同士で相談を行っていた。スイッチやPCの動作は把握しやすく、また、複数の担当者がいるため、理解に支障はないようであった。しかし、ルータの動作はそれに比べれば若干難しく、また、担当者が1人だけのため、教員が補助する必要があった。

演習1では、まだ慣れていないためか、スイッチ役学生がフレームの箱を渡されると、蓋を開いて内容物を確認しようとする場面があり、他の学生がその誤りを指摘する光景が見られた。そのやりとりを通じて、スイッチはイーサネットヘッダを見て処理することをその場の全員が確認した様子であった。

演習2では、転送処理にあたって、宛先ホストに対するARPリクエストが必要な場面があり、ルータ役学生は大変忙しい様子であった。また、当初の想定では192.168.3.0/24側のネットワークから192.168.11.0/24側のネットワークへの通信のみを行う予定であったが、実際は192.168.11.0/24側のネットワークからも通信が開始し、処理が重なったときのルータ役学生は若干混乱していた。「ルータ坏了! (ルータが壊れた)」などと盛り上がっていたが、周囲の学生もプロセスをよく理解しようと努め、最後には通信成功に至った。

総じて、演習中は学生同士が声を掛け合い、理解している学生はよく理解していない学生にアドバイスをを行うなどの光景が見られた。学生同士の交流を促し、協調して学び合う雰囲気を醸成する効果があるといえる。

6.2 事前・事後テスト結果

事前テスト・事後テストの両方を受験した学生16名を分析の対象とする。統制群は8名、実験群は8名である。統制群・実験群の事前・事後テストの結果を表3に、各群における事前・事後テストの平均点の推移を図15に示す。なお、エラーバーは標準誤差である。

実験群の平均点が20.6点上昇したのに対し、統制群の平均点は6.9点の上昇にとどまっており、実験群の得点の伸びが統制群のそれを上回っていることが分かる。事後得点から事前得点を引いた差得点について群間でBrunner-Munzel検定[23]を行ったところ、 p 値 = .049 < .05より、5%有意水準での有意差が認められた。本ロールプレイ演習がネットワークの理解を促進する確かな効果を持つことを示している。

表3 事前・事後テスト結果

Table 3 Summary of pre-test and post-test results.

グループ	人数	テスト	平均	標準偏差
実験群	8	事前	23.8	5.8
		事後	44.4	12.9
統制群	8	事前	29.4	8.6
		事後	36.3	10.6

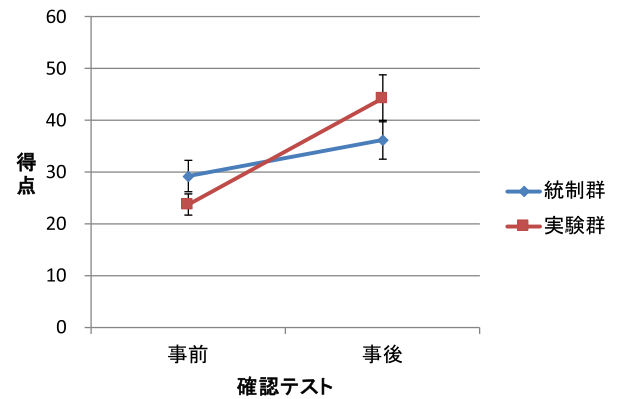


図15 平均点推移の群間比較

Fig. 15 Difference in mean score improvement between two groups.

6.3 事後アンケート

演習終了後、受講生にはミニッツペーパーを記入してもらった。ミニッツペーパーは2つの質問からなり、「質問1 今日の授業内容で重要だと思った点、印象に残った点をあげてください」「質問2 今日の授業内容で疑問に思った点、よく理解できなかった点をあげてください」を問うものである。それに加えて、別途、自由記述として「本ロールプレイ演習に対する自由な感想」を書いてもらった。代表的な意見を表4に示す。なお、表に示した回答は基本的には抜き書きであるが、回答者が中国からの留学生であるため、回答に中国語の単語が混ざっている場合などがあつた。そのような場合は、適宜翻訳して示している。

質問1(重要点)の回答を見ると、ARPに関する理解がうかがえるコメントや、スイッチの機能に関する理解がうかがえるコメント、ルータ経由の通信に関する理解がうかがえるコメントが見られる。質問2(疑問点)には、ARPの仕組みを理解したうえで生じるさらなる質問が見られる。感想からは、学生が楽しんで演習に取り組んでいたこと、本演習が通信過程の理解に役立つことがうかがえる。また、演習1、演習2とも通信の確立に成功しており、これは学生が通信プロトコルを理解したことの表れであると同時に、学生同士が協調して課題に取り組んだことの表れであるといえる。

6.4 本研究の適用条件と限界について

本研究では、ネットワーク機器を使わずにネットワーク

表 4 重要だと思った点, 疑問に思った点, 感想

Table 4 Important points, questions, and impressions.

重要だ と思 った 点	同じネットワークのホストと通信する前に、MACアドレスを聞かなければなりません。
	PCは相手のMACアドレスを知らない場合ARPする
	スイッチは、送信元のMACアドレスを見て、ポート番号を確認して記録する。宛先MACアドレスを確認して送信する。
	ルータが別のネットワークに転送する時、MACアドレスを知らない場合ARPする
	ルータの仕事はとても重要だと思います。荷物を受け取った時の手順もわかりました。
疑問 点	ルータはPCからもらったもののMACアドレスを知らない時は他のPCにMACアドレスを聞く。このARPする時のものはどこで保存するのか。
	Fa0のMACアドレスを知る方法とFa1のMACアドレスを知る方法は同じですか。
感 想	PCとスイッチとルータの役割を全部わかりました。ととてもおもしろかったです。
	おもしろかったです。

を理解するためのロールプレイ演習を開発し、実際の授業に適用した。事前事後テスト・統制群法により本教育実践の効果を検証したところ、本教育実践が学生の理解を促進する確かな効果を持つことが明らかになった。

以下、本研究の適用条件と限界について述べる。第1に、本研究は、考案したロールプレイ演習が統計的に有意な学習効果をもたらすことを示したが、これは当該教育方法がその他の教育方法に比べて優れていることをただちに主張するものではない。本実験計画では実験群にロールプレイ演習を施し、統制群はケーブル作成演習を行ったが、ケーブル作成演習自体はネットワークの仕組み理解を促進する教育法として対置したものではない。今回統制群を置いた目的は、実験群における事前から事後への成績の伸びが確かにロールプレイ演習という教育介入の効果によるものであることを保証するためである。統制群を置くことにより、事後テストが事前テストより簡単だったから成績が伸びただけではないか、テストを2回受けたことによりテストに慣れたのではないか、今回の授業実践以外の影響を受けたのではないかと等々の可能性を排除している。今回考案した教育法が他の教育法より優れていることを示すことは今後の課題として残されている。ただし、後述するように一斉講義や問題演習による教育のみでは知識や理解が不十分である状況に対して、本ロールプレイ演習が教育効果をもたらしている点に注意されたい。

第2に、本研究で考案したロールプレイ演習は「ネットワーク論I」全16回授業の第7回に実施しており、第1回から第5回に、座学と問題演習を通じてTCP/IPネットワークについてすでにある程度学んでいる学生を対象とし

ている。事前事後テストの差得点を実験群と統制群で比較した結果から、座学と問題演習だけでは学生の理解が不十分であったこと、今回考案したロールプレイ演習が座学などによる既習の知識や理解の深化に確かに寄与することが分かる。ネットワークに関する基礎的な講義を置かずに、最初から本ロールプレイ演習を実践した場合に、同様の学習効果が得られるかどうかは別途検証する必要がある。

第3に、本実践で教育対象とした学生は日本語とIT専門学習のために中国から来た編入留学生3年生であり、受講段階における日本語能力は日本語能力試験2級レベルであること、また、授業の最終的な到達目標がCCENTレベルであることに注意されたい。日本語能力が高い留学生や日本人学生、ITに興味がない学生など、対象とする学生が異なると、本ロールプレイ演習がもたらす学習効果もまた異なるものになる可能性がある。さらに、本授業実践ではCCENTレベルへの到達を授業の最終目標としているため、本ロールプレイ演習においてもARPやフラッディングなどの詳細を取り入れた演習としたが、授業の到達目標や受講する学生層によってはロールプレイ演習の内容を簡素化することも有効であると考えられる。

7. おわりに

本研究では、コンピュータやネットワーク機器を使わずに情報通信ネットワークの仕組みを理解するためのロールプレイ演習を実践し、その効果を事前事後テスト・統制群法により検証した。学生自身がルータとなり、スイッチとなり、PCとなり、規約に従ってデータを象徴する入れ子構造の箱をやりとりするロールプレイ演習を通じて、体験的にネットワークの仕組みを理解できることを目指した。事前事後テストおよび事後アンケートの結果から、本演習がネットワークの階層構造や通信プロトコル、ネットワーク機器の役割の理解を促進する確かな効果を持つことが示された。

参考文献

- [1] 河村一樹：一般情報処理教育 (J07-GE), 情報処理, Vol.49, No.7, pp.768-774 (2008).
- [2] Bell, T., Witten, I.H. and Fellows, M.: Computer Science Unplugged... off-line activities and games for all ages (1998), available from (<http://csunplugged.org>).
- [3] Bell, T., Witten, I.H. and Fellows, M. (著), 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).
- [4] 石塚丈晴, 兼宗 進, 堀田龍也: 小学生に対するアンプラグドコンピュータサイエンス指導プログラムの実践と評価, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ, Vol.1, No.2, pp.19-27 (2015).
- [5] 井戸坂幸男, 久野 靖, 兼宗 進: コンピュータサイエンスアンプラグドに基づく授業方法改善の試みとその実践, 日本産業技術教育学会誌, Vol.53, No.2, pp.115-123 (2011).
- [6] 保福やよい, 井戸坂幸男, 兼宗 進, 久野 靖: 高校情報

- BにおけるCSアンプラグドの活用, 情報処理学会情報教育シンポジウム論文集, Vol.2008, pp.201-206 (2008).
- [7] 間辺広樹, 兼宗 進, 並木美太郎: CSアンプラグドのアルゴリズム学習における教具による理解度への影響, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.14-23 (2013).
- [8] Nishida, T., Idosaka, Y., Hofuku, Y., Kanemune, S. and Kuno, Y.: New Methodology of Information Education with “Computer Science Unplugged”, Lecture Notes in Computer Science, Vol.5090, pp.241-252 (2008).
- [9] 嘉田 勝: 大学生もアンプラグド—洋書購読と模擬授業による授業実践, 情報処理学会情報教育シンポジウム論文集, Vol.2008, No.6, pp.269-270 (2008).
- [10] 和田 勉: アンプラグドコンピュータサイエンスと板書講義を併用した大学でのアルゴリズムの授業, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-CE-100, No.5, pp.1-7 (2009).
- [11] 兼宗 進, 佐藤義弘: 情報科教育法でのCSアンプラグドの利用, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-CE-103, No.24, pp.1-3 (2010).
- [12] 樋山淳雄, 森本康彦, 新藤 茂, 宮寺庸造, 加藤直樹, 南葉宗弘, 伊藤一郎, 山崎謙介: 東京学芸大学「情報」におけるコンピュータサイエンスアンプラグド実践の試み, 東京学芸大学紀要自然科学系, Vol.63, pp.107-112 (2011).
- [13] 間辺広樹, 兼宗 進, 並木美太郎: 障害者職業訓練校の情報教育, 情報処理学会情報教育シンポジウム論文集, Vol.2008, pp.171-178 (2008).
- [14] Computer Science Field Guide, available from (<http://www.csfieldguide.org.nz/>) (accessed 2017-06-14).
- [15] コンピュータサイエンスフィールドガイド, 入手先 (<http://csunplugged.jp/csfg/>) (参照 2017-06-14).
- [16] 兼宗 進, 高原恭祐, 島袋舞子, 中野由章: 「コンピュータサイエンスフィールドガイド」CSアンプラグドを活用した情報科学学習サイト, 情報処理学会情報教育シンポジウム論文集, Vol.2014, No.2, pp.3-9 (2014).
- [17] 新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて—生涯学び続け, 主体的に考える力を育成する大学へ (答申), 入手先 (http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm) (参照 2017-02-20).
- [18] Nilson, L.B.: *Teaching at Its Best—A Research-Based Resource for College Instructors*, 3rd ed., Jossey-Bass (2010).
- [19] 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開発と実践, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-CE-140, No.10, pp.1-7 (2017).
- [20] Network Topology Icons, available from (<http://www.cisco.com/c/en/us/about/brand-center/network-topology-icons.html>) (accessed 2017-02-20).
- [21] All-Silhouettes, available from (<http://all-silhouettes.com>) (accessed 2017-02-20).
- [22] Ping-t, available from (<http://ping-t.com/>) (accessed 2017-08-25).
- [23] Brunner, E. and Munzel, U.: The Nonparametric Behrens-Fisher Problem: Asymptotic Theory and a Small-Sample Approximation, *Biometrical Journal*, Vol.42, No.1, pp.17-25 (2000).

推薦文

本論文はCSアンプラグドのようにコンピュータやネットワーク機器を使わず, 学生自身がルータ, スイッチ, コンピュータとなってネットワークプロトコルに従って箱に入ったデータをやりとりするというロールプレイ演習を通じてネットワーク上の通信の仕組みを理解するという試みを紹介している. 事前・事後テストやミニッツペーパーから,

ネットワークの階層構造やプロトコル, 機器の役割の理解が促進されているという結果が得られている. この手法を使わずに教育を行った場合との比較はこれからの課題ではあるが, ネットワークの教育手法としての有用性は読者の参考となるものであり, 今後の展開が大いに期待できる.

(論文誌「教育とコンピュータ」編集委員長 西田知博)



鈴木 大助 (正会員)

1999年京都大学理学部理学科卒業. 2001年京都大学大学院情報学研究科修士課程修了. 2004年京都大学大学院情報学研究科博士課程修了. 博士(情報学). 東京理科大学工学部経営工学科助手, 東京工科大学コンピュータ

サイエンス学部助教, 北陸大学情報センター講師, 未来創造学部講師, 経済経営学部講師を経て, 2018年より同准教授. 情報教育, 教育工学の研究に従事. 日本物理学会, CIEC各会員.