

kogaCTF を活用した情報セキュリティ教育への Peer Tutoring の導入による学習効果の検討

荒井 晃平^{1,a)} 奥村 康成¹ 藤原 京平¹ 小林 良太郎¹

概要: 情報セキュリティ分野における Capture The Flag (CTF) は、専門的な技術や知識を用いて隠された情報を調査することで、獲得点数を競うハッキング競技である。初心者向けから上級者向けのものまで多くの大会が存在しているが、初心者向けといってもセキュリティ教育を主としていない大学教育で得られる知識では、問題を解く実践の技術に直結しないことが多いため、解くことができないものも多く存在している。そこで本研究では、情報セキュリティ教育へ CTF を活用し、CTF 経験のない学生や浅い学生を対象とした問題を中心として構成した kogaCTF を構築し、本学の学部生を対象として実用した。また、教育的観点から、本研究で一定の技術を習得した学生を教授役とした Peer Tutoring を採用し、技術習得の変化をアンケートの実施により確認する。本プログラムにより、教授側と生徒側の両方で知識や技術の向上を確認したが、実施前後のアンケート結果から定量的な評価ができなかったため、実施前後における能力の変化に対する評価については今後の課題点である。

キーワード: CTF, Peer Learning, Peer Tutoring, 教育

A Study on Learning Effectiveness of Introducing Peer Tutoring into Information Security Education Using kogaCTF

KOHEI ARAI^{1,a)} KOSEI OKUMURA¹ KYOHEI FUJIWARA¹ RYOTARO KOBAYASHI¹

Abstract: Capture The Flag (CTF) in the field of information security is a hacking competition where participants compete for points by investigating hidden information using specialized techniques and knowledge. While there are many competitions ranging from beginner to advanced levels, even beginner-level challenges often cannot be solved with the knowledge obtained through university education alone, as practical skills are required. Therefore, our laboratory has utilized CTF in information security education and implemented kogaCTF, which is structured with problems primarily targeting students with little to no CTF experience, for our undergraduate students. From an educational perspective, we also adopted Peer Tutoring, with students who had acquired a certain level of skill in our laboratory acting as tutors, and monitored the change in skill acquisition through surveys. Although this program confirmed improvements in knowledge and skills for both tutors and students, quantitative evaluation of the changes in abilities before and after implementation remains a future challenge due to the lack of quantitative data from the surveys.

Keywords: CTF, Peer Learning, Peer Tutoring, Education

1. はじめに

情報セキュリティ分野における Capture The Flag(以下

CTF とする)は、専門的な技術や知識を用いて隠された情報を調査することで、獲得点数を競うハッキング競技である。Web サイト上には常設の CTF サイトが存在しており、日本では、CpawCTF[1], ksnCTF[2] が有名であり、他にも多くのサイトが存在している。海外では、picoGym[3] が有名であり、毎年開催される picoCTF という大会で過去

¹ 工学院大学
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan
^{a)} em24003@ns.kogakuin.ac.jp

に出題された問題が多く公開されており、学生向けの CTF 大会である。他にも、CTF の大会は世界中で 1 年を通じて様々な形で開催されており、日本で代表的な大会を挙げると SECCON である [4]。SECCON とは、情報セキュリティをテーマとした競技を開催する情報セキュリティコンテストイベントで、実践的情報セキュリティ人材の発掘や育成、技術の実践の場の提供を目的として開催されている。毎回多くの人々が参加しており、情報セキュリティ教育に大きな影響を与える大会であるといえる。また、技術の実践の場という観点から考えると、MWS が主催する MWS Cup は、マルウェアなどのサイバー攻撃の解析技術を競うコンテストで、SECCON と同様に、情報セキュリティ教育に大きな影響を与える大会であるといえる。これらの大会の他にも多くの大会が存在しており、初心者向けから上級者向けのものまで様々であるが、初心者向けといってもセキュリティ教育を主としていない大学教育で得られる知識では、問題を解く実践の技術に直結しないことが多いため、解くことができないものも多く存在している。そこで本研究室では、CTF 経験のない学生や浅い学生を対象とした、UNIX の基本コマンドから CTF で必要とされる一般的な技術を習得可能な問題を中心として構成した kogaCTF を構築し、本学の学部生を対象として実用した。また、教育的観点から、本研究室で一定の技術を習得した学生を教師役とした Peer Tutoring を採用し、技術習得の変化を確認する。Peer Tutoring とは、同じ年代や社会的立場の人同士で教えあう学習形態であり、本研究室では学部 4 年生が学部 3 年生に教える形態で実施する。本論文では、実践的な技術の習得を目的とする kogaCTF と Peer Tutoring を取り入れた情報セキュリティ教育プログラムについて述べる。

本論文の構成は以下の通りである。まず第 2 章で関連研究について述べる。第 3 章で本プログラムの概要について、第 4 章で検証の前提や条件について述べ、第 5 章で検証結果と考察について述べる。それをもとに第 6 章で結論及び今後の課題について述べる。

2. 関連研究

本プログラムでは、実践的な情報セキュリティ教育を目的として CTF に取り組み、教育の観点から Peer Tutoring を取り入れる。本章では、情報セキュリティ教育を目的とした CTF の活用報告論文について述べ、教育の観点から Peer Tutoring に関する論文について述べる。最後に本プログラムの位置づけについて述べる。

2.1 CTF の導入による情報セキュリティ教育

西村らは、情報セキュリティの導入教育を目的とした CTF サーバ BeeCon を構築した [5]。高校生を対象に試行実践を行い、問題特性ごとの解答状況から問題の難易度設

定の妥当性を検討している。また、アンケート結果から、競技者の IT やセキュリティに対する興味関心が向上することを確認していることから、情報セキュリティ教育における CTF の導入は有用であるといえる。Carlisle らは、サイバーセキュリティ教育における CTF の効果について述べている [6]。学生に対するアンケート結果をもとに知識や能力の向上を分析しており、flag ベースの問題とクイズ形式の問題の両方で問題を構成している。アンケート結果からの分析では、サイバーセキュリティ教育における CTF の活用は有効であるとしていた。Karagiannis らは、CTF を学部生のサイバーセキュリティ教育における技術と知識の習得を目的として使用した [7]。また、協力した学習についても実施しており、問題に慣れてくると参加者同士で教え合うことで学習していた。実施前と実施後のアンケート結果から、ARCS モデルに基づいた定量的結果を抽出し評価しており、結果から技術スキルと知識の習得に関して向上を確認している。Thomas らは、3 人の経験者、8 人の未経験者の計 11 人を対象として National Cyber League (以下 NCL とする) 競技を 4 ヶ月間開催し、アンケートと対面インタビューを通じてデータを収集していた [8]。これらの結果に対して質的および量的分析を行うことで評価し、体系的なトレーニングと上級者の指導が初心者にとって非常に有益であることが明らかにされている。NCL とは、大学生がサイバーセキュリティのスキルを開発、実践、検証するための継続的な仮想トレーニングの場を提供することを目的として設立された、サイバーセキュリティコンテストである。

2.2 Peer Tutoring に関する研究

小林は、教えることや教える準備をすることが学習効果を生み出す背後にどのような心的過程が仮定されているかという観点から、先行研究について整理し検討している [9]。教えることには自分自身の学習を促進する一定の効果があることが示されていることを前提とし、その効果がどのような心的メカニズムで生み出されるのかについての検討である。従来の教授による学習の効果の説明するために提案されてきた考えは 5 つに分類され、知識構成仮説 (教授や教授準備は知識構成的な過程を促すことで学習効果を生み出す)、動機づけ仮説 (教師役を務めることやそれに伴う意識が動機づけを介して知識構成に作用)、説明生成仮説 (教授の説明の産出やその準備が直接、知識構成を促す)、メタ認知仮説 (教授の説明の産出や生徒役との相互作用がメタ認知を介して知識構成)、検索練習仮説 (説明行為に伴う検索練習が学習効果を生み出す) である。検討の結果、知識構成仮説とメタ認知仮説についてはおおよそ仮説を肯定する証拠が得られていることが明らかとなったが、決定的かつ十分な証拠が揃っていないわけではないとしていた。また、イギリスの教育基金財団である Education Endowment

Foundation (以下 EEF とする) は、Peer Tutoring の導入による宿題の効果に関する 127 個の先行研究を平均的な影響に着目し、総合的に評価している [10]. ここでは、Peer Tutoring を導入することで教師側の生徒と生徒側の生徒の両方に、成績にポジティブな効果があるとしており、どの分野においても有効であるとしていた.

2.3 本プログラムの位置づけ

本論文では、情報セキュリティ教育を目的とした CTF の活用に Peer Tutoring を導入した教育プログラムについて述べる. 本章で述べてきた先行研究について、情報セキュリティ教育における CTF の導入の有効性、教育における Peer Tutoring の有効性をそれぞれ示している. そこで、本プログラムでは CTF による情報セキュリティ教育に Peer Tutoring を取り入れることで、情報セキュリティ教育プログラムとしての新規性を確立する.

3. 本プログラムの概要

本プログラムは、情報セキュリティ教育を目的とした CTF の活用に Peer Tutoring を導入した教育プログラムであり、独自の CTF サーバとして kogaCTF を構築し、Peer Tutoring として教授側を学部 4 年生、生徒側を学部 3 年生として実施する. 本プログラムの実施により、大学教育で得られる知識や技術と社会での実践的な技術との差の減少を目指す.

3.1 kogaCTF の問題構成

kogaCTF は一般的な CTF の問題構成に基づいて構成されており、問題構成と具体的な問題例は以下の内容である. Cmd に関しては、一般的な CTF の問題構成には含まれておらず、kogaCTF 独自のカテゴリである.

- Cmd
 - 基礎的な UNIX コマンドに関する問題
 - * ls コマンドとは
 - * chmod コマンドとは
 - * nmap コマンドとは
- Crypto
 - 暗号に関する問題
 - * RSA 暗号とは
 - * base64 のデコード
- Forensics
 - ファイルやログを解析する問題
 - * 画像からファイル抽出
 - * 可読文字列の調査
- Pwn
 - プログラムの脆弱性を突く問題
 - * バッファオーバーフロー
 - * 範囲外アクセス

- Reversing
 - 実行ファイルを解析する問題
 - * 実行ファイル解析
- Web
 - Web に関する問題
 - * DVWA 入門
 - * SQL インジェクション
 - * POST メソッドについて

3.2 kogaCTF のサーバ構成

kogaCTF のサーバには、一般的なオープン CTF プラットフォームとして公開されている CTFd を使用する [11]. CTFd は Docker を用いてサーバを構築しており、問題サイト、スコアボード、登録といった基本的な機能が統合されている. 本プログラムでは、CTF の導入による情報セキュリティ教育であるため、サーバやサイトの内容は一般的な CTF と同等のものである. 図 1 に kogaCTF におけるサーバ構成を示す. 各サーバは同一ネットワーク内でのみアクセスが可能である. また、write-up 用サーバについては、運営が各問題の解法を把握することを目的としているため、特定のユーザのみが閲覧可能である.

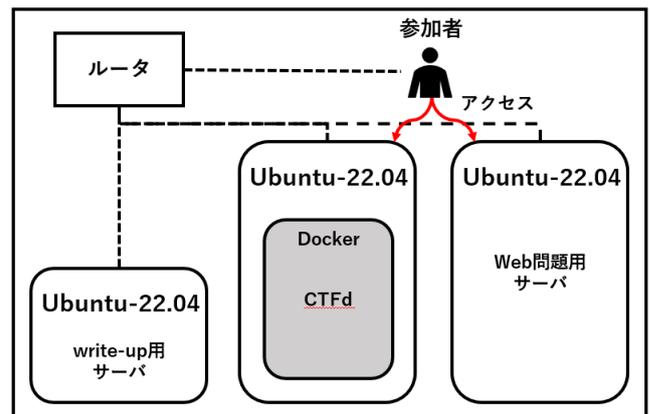


図 1 kogaCTF のサーバ構成図

Fig. 1 kogaCTF server configuration chart

4. 検証

本プログラムでは、CTFd を用いて構築した kogaCTF を活用することで情報セキュリティ教育を行う. この情報セキュリティ教育の学習効果を向上させることを目的として、教授側を学部 4 年生、生徒側を学部 3 年生とした Peer Tutoring を導入する. 検証の前提として、kogaCTF の問題構成は前章の通りであり、各カテゴリで十分な問題数が存在する. 実施期間は、週 90 分を計 6 週に渡って行う. 学部生の前提条件として、学部 4 年生は CTF の経験はあるが初心者であり、卒業論文作成に向けた研究活動を行っている状態である. 学部 3 年生は CTF の経験がなく、大学教育における情報系科目を受講した状態である.

4.1 評価方法

情報セキュリティ教育における CTF の活用の有効性は先行研究で示されており、教育における Peer Tutoring の有効性も先行研究で示されているため、情報セキュリティ教育における CTF の活用に対する Peer Tutoring の導入の有効性を評価する。評価には、学部生に対する実施前と実施後のアンケート結果を用いる。

4.2 アンケートについて

実施前後のアンケート項目は、パソコンの使用歴やプログラミング経験、セキュリティ分野に関する意識調査である。以下にアンケート項目の一部を記載する。操作経験やセキュリティの興味に関しては、各 5 段階により評価する。

- パソコンの使用歴
- 普段使用するプログラミング言語
- Linux 操作経験
- CTF への参加経験
- CLI 操作経験
- セキュリティへの興味

5. 結果と考察

本章では、4 章で述べた条件に基づいて実施した本プログラムの結果を示す。今回は学部 3 年生が 9 名、学部 4 年生が 9 名の計 18 名参加しており、Peer Tutoring の導入として学部 3 年生と学部 4 年生を 1 名ずつで 1 つの組とした。本プログラムにおける、情報セキュリティ教育の対象は学部 3 年生であるため、アンケート対象は学部 3 年生の 9 名である。

5.1 アンケート結果

本プログラムにおける参加者の PC 使用歴は表 1 の通りで、全員が CTF 参加経験はないと回答し、セキュリティへの興味に関しては全員が 4, 5 のどちらかを回答した。ま

表 1 参加者の PC 使用歴
Table 1 Participant's history of PC use

使用歴	3 年未満	3 年以上 6 年未満	6 年以上 9 年未満
人数	3	4	2

た、実施後アンケートで得られた回答の一部は以下の通りである。

- 知らない知識を得て活用することで成長を実感できた
- 自身の能力確認の良い機会であり学習意欲が高まった
- 授業にはない実践的な内容が新鮮で視野も広がった
- パケットなどの仕組みについても理解を深められた
- 今まで学んだ内容を実践することができ学ぶことが多かった

5.2 学部 4 年生に対する実施後アンケート結果

本論文における本プログラムの対象は学部 3 年生としているが、教授側としての学習効果の検討として学部 4 年生に対して、実施後アンケートを実施した。得られた回答の一部は以下の通りである。

- 教えることにより自身の不明点がより明確になった
- 言語化することで理解が深まった
- 教授側の方が理解が深まり知識が定着した
- プログラムの実施前後でそこまで変わった印象はない

5.3 考察

本章でのアンケート結果をもとに考察を述べる。表 1 で示した参加者の PC 使用歴と実践的な技術には明確な関係は確認できなかった。学部 3 年生を対象とした実施後アンケートから、学部教育で得られる知識を本プログラムで実践することにより、情報セキュリティ教育に対する効果を確認した。このことから、学部教育では得られない知識や技術を本プログラムで習得することが可能であるといえる。また、学部 4 年生を対象とした実施後アンケート結果から、本プログラムを実施する学部 3 年生に対して教授することにより知識の定着および理解度の向上を確認した。特に、教えるという行為が知識の定着にかかわっていると見える。このことから、CTF において Peer Tutoring の導入は有効であると考ええる。

6. 結論・今後の課題

本論文では、情報セキュリティ教育を目的とした CTF の活用に対して、Peer Tutoring を導入することによる学習効果の検討を行った。本プログラムでは学部 4 年生を教授側、学部 3 年生を生徒側とした Peer Tutoring を導入し、独自の CTF サーバとして kogaCTF を構築した。本サーバにおける問題は、UNIX の基本コマンドから CTF で必要とされる一般的な技術を習得可能な問題を中心として構成した。実施前後でのアンケート結果から、情報セキュリティ教育における CTF の活用の有効性を確認し、Peer Tutoring の導入による教授側への有効性を確認した。今後の課題点として、アンケート結果から実施前後における能力の変化について定量的な評価ができず、CTF の活用による能力の変化や Peer Tutoring の導入による生徒側への有効性については評価できなかった。そのため、定量的な評価を可能にする機構の構築することで、情報セキュリティ教育における本プログラムの有用性の確認が可能であると考ええる。

謝辞

本研究は、小林研究室の諸兄姉に協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] “CpawCTF,” <https://ctf.cpaw.site> (Accessed 2024-08-21).
- [2] “ksnCTF,” <https://ksnctf.sweetduet.info> (Accessed 2024-08-21).
- [3] “pico,” <https://picoctf.org> (Accessed 2024-08-21).
- [4] “SECCON,” <https://www.seccon.jp> (Accessed 2024-08-21).
- [5] 西村拓海, 中矢誠, 富永浩之, “情報セキュリティの導入教育を目的とした出題型ハッキング競技 CTF の環境構築と運用実践,” 第 81 回全国大会講演論文集, pp. 613-614, 2019.
- [6] M. Carlisle, M. Chiaramonte, and D. Caswell, “Using CTFs for an Undergraduate Cyber Education,” Proceedings of the USENIX Summit on Gaming, Games, and Gamification in Security Education (3GSE), 2015.
- [7] S. Karagiannis and E. Magkos, “Adapting CTF Challenges into Virtual Cybersecurity Learning Environments,” Information and Computer Security, Vol. 29, No. 1, pp. 105-132, 2021.
- [8] L. J. Thomas, M. Balders, Z. Countney, C. Zhong, J. Yao and C. Xu, “Cybersecurity Education: From Beginners to Advanced Players in Cybersecurity Competitions,” Proceedings of the International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI), pp. 149-151, 2019.
- [9] 小林敬一, “他の学習者に教えることによる学習はなぜ効果的なのか?,” 教育心理学研究, Vol. 68, No. 4, pp. 401-414, 2020.
- [10] Education Endowment Foundation, “Peer Tutoring,” <https://educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/teaching-learning-toolkit/peer-tutoring> (Accessed 2024-08-21).
- [11] “CTFd,” <https://github.com/CTFd>