

CK-001

# CTF を利用したセキュリティ教育における正答数と効果の関係の分析 Analysis of the Relationship between the Number of Correct Answers and Effectiveness in Security Education Using CTF

粕淵 卓<sup>1,2</sup> 稗方 和夫<sup>2</sup>  
TAKASHI KASUBUCHI KAZUO HIEKATA

## 1. 緒言

### 1.1 CTF のセキュリティ教育への活用

CTF (Capture The Flag) は、答えとなる FLAG を探すセキュリティのコンテストである。参加者は、セキュリティ知識や技術、経験を駆使しながら、手掛かりを探し、時間内に FLAG を見つける。昨今、ゲーミフィケーション手法の一つとして、CTF を使ったセキュリティ教育が注目されている。CTF は一方向の講義と違い、参加者が自ら課題に挑戦することから、学習に対する積極性などを高めることができる。

阿部ら[1]は、情報セキュリティの導入教育として、初心者を対象とする CTF の大会を提案している。

### 1.2 既存の CTF は難易度が高い傾向にある

CTF の難易度は様々であるが、一般的には難易度が高いことが多い。たとえば、SECCON CTF 2022 QUALS という予選大会では、問題は全部で 27 問ある。最も簡単な「welcome」というタイトルの問題は、告知情報に明示的に示されている情報をコピーアンドペーストすることで正解が得られる。この CTF の結果[2]を見ると、この問題しか解けなかった人チームが 464 チーム (63.9%) もある。つまり、63.9% のチームが、実質的に 1 問も解けてない。

また、CTF 未経験者向け SECCON Beginners でさえ、難易度は高い。たとえば、943 チームが参加した SECCON Beginners CTF 2021 の場合、正答率が 50% を超える問題の割合はわずか 2 問しかなく、約半数の 13 問が正答率 10% 未満である[3]。

### 1.3 難易度を下げた CTF に対する高い評価

上記の SECCON などの CTF は、専門家向けのコンテストである。成績上位者を決める必要があるため、難易度が高くなる。一方、初心者向けのセキュリティ教育に関しては、難易度を下げた CTF のニーズがあるのではないかと考えた。そこで、2020 年 8 月に、難易度を大幅に下げた WEST-SEC というコミュニティを立ち上げた。「8 割解ける CTF」と題して、難易度としては、8 割解けることを意識した。

2023 年 6 月現在で、コミュニティの登録者数は約 1300 人にまで増えた。参加者からのアンケート結果では、積極

性や満足度などで高い評価を得ることができた。

また、CTF の環境構築や準備には、多大な労力がかかることが指摘されている[4]。難易度を下げることで、出題者における CTF の環境や作問などの準備負荷が軽減され、CTF が教育現場でさらに活用される効果も期待できる。

### 1.4 本研究の目的

一般的な学習の場合には、難易度が高すぎず、低すぎない適切なレベルに設定することで、高い学習効果が得られる。一方の CTF はゲームの要素が強く、目標意識が高ければ、ほとんど正解できないような高い難易度であっても、高い学習効果が得られる可能性がある。しかし、難易度を低くしてたくさん解けた方が、CTF への積極性が高まる可能性もある。

本研究の目的は、CTF を利用したセキュリティ教育において、何問正解したかという CTF の正答数と、勉強会の効果の関係を、実際のケーススタディをもとに評価することである。これを明らかにすることで、参加者および CTF 運営側の双方にとって最適な CTF に近づくと考えた。

この内容は、SPT で発表した論文[5]から、論述の論理性を高めるために「難易度」ではなく「正答数」との関係に焦点を当てた。また、問題の種別ごとの学習効果の違いを、新しい視点として加えた。

## 2. 関連研究

CTF などのゲーミフィケーション手法を活用した学習に関する効果や、難易度ごとの積極性や学習効果に関する関連研究について述べる。

### 2.1 CTF による学習効果

Stephen V. Cole の研究[6]によると、CTF 形式の学習が、従来型の教育と同等の効果を持ち、なおかつ参加者のモチベーションを高めることができるとしている。加えて、CTF スタイルの演習が、学生の学習に悪影響を与えるという証拠もないと述べている。

Zack Kaplan らの研究[7]では、CTF を初心者向けのセキュリティ教育に活用した場合でも、学習意欲の向上や学習成果が得られたとしている。

### 2.2 難易度ごとの学習効果

一般的に、研修に関しては、難易度が高すぎても低すぎても参加者のモチベーションが低下し、期待した学習効果を得られないとされている。しかし、難易度ごとの学習効果を直接的に検証した研究はほとんど見られない。

1 西日本電信電話株式会社

2 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

その理由の一つに、学習者の知識水準に応じて、学習手法による効果が異なることがある[9]。初学者には非常に効果的な指導技法も、経験豊富な学習者に用いるとその効果を失い、悪影響を及ぼすことさえあるという。つまり、CTF の参加者のレベルによって、難易度ごとの学習効果が変わる可能性がある。

そんな中、難易度と学習効果に関する研究はいくつかある。たとえば、Robert C. Wilson ら[10]は、約 85% 正答する難易度が最も効果的だと述べている。また、瀧沢ら[11]は、難しい課題に比べて、簡単な課題の方が、「楽しさ」「知的な好奇心」「もっと問題に挑戦してみたい」などで高い結果を得たとしている。

CTF に限定した場合、赤木らが CTF を取り入れた情報セキュリティ教育の導入イベントの実践報告をした[12]。この CTF は、平均正答率が 63.3% (19/30 問) であり、従来の SECCON などに比べて難易度は低い。参加した全学年から「難易度が幅広く楽しかった」という意見をもらったとしているが、正答数や難易度ごとの評価まではされていない。

### 3. 提案手法

#### 3.1 演習の設計

##### 3.1.1 CTF のツール

CTF のツールは、CTF で広く利用されているフリーの Web のアプリケーションである CTFd を使った。図 1、図 2 が CTFd の画面と問題例である。



図 1 CTF の画面



図 2 CTF の問題例

図 1 にあるように、参加者は、並べられた問題の中から、自分が解きたい問題を選択する。表示された問題に対して、答えとなる FLAG を入力する。図 1 は「フィッシングメール 1」というタイトルの問題で、真ん中に表示されている 90 が得点である。この問題に正解すると、チームに 90 点が加算される。

図 1 のフィッシングメール 1 の問題は、メールが偽装されているかを確認するために、実際のメールのメールヘッダを答える。図 2 は、ログ解析の問題である。Linux サーバに接続してログを解析し、アクセス回数が 2 番目に多い

送信元 IP アドレスを答える。

##### 3.1.2 効果測定のための作問の工夫

CTF の難易度が高すぎて、SECCON のように 1 問も解けない人が多いと、正答数との関連の評価が難しい。そこで、CTF の難易度を下げ、正答数がばらけるように配慮した。

ただし、CTF というゲーム形式で実施する以上、CTF の魅力を損なわないように注意した。具体的には、CTF の魅力の一つに、調べたり、ツールを駆使したり、いろいろな方法を試して、答えとなる FLAG を「探す」というワクワク感がある。よって、難易度を下げるために、選択式の知識問題であったり、ネットで検索すればすぐに答えが見つかる問題を出しては、CTF の魅力が薄れてしまう。それに、選択式の問題にするのであれば、旧来からあるテスト形式の学習と大きな違いが無い。

そこで、Jelena Mirkovic ら[8]が初学者向けの CTF である CCTF (Class Capture the Flag) を設計したのと同様に、ハッキングに限らず、セキュリティの基礎技術や防御技術を含め、さまざまなサイバーセキュリティのトピックから出題をすることにした。

また、難しい問題には、ヒントを入れることにした。とはいえ、全部のヒントを入れてしまうと、CTF の面白味が出ない可能性がある。じっくり考えることをせずに、すぐにヒントを見てしまう可能性もあるからだ。今回は、全体の約 4 分の 1 (27 問中 7 問) にヒントを入れることにした。

##### 3.1.3 チーム戦での制約

SECCON などの代表的な CTF は、一人でも参加は可能であるが、1 チームの人数が無制限のチーム戦を採用している。よって、本研究でもチーム戦での分析を行うことにした。

ただし、チーム戦であるため、正答数がチームのメンバーによって影響されてしまう。なぜなら、チーム内の誰かが解いた問題を、同じチームの別の参加者が再び解いたとしても、スコアには反映されないからである。つまり、同じチームに凄腕の参加者が複数人いた場合、そのチームの他の参加者の正答数は伸び悩む。1 チームの人数が増えると、この影響はさらに大きくなる。そこで、1 チームの最大数を 4 人に制限した。

#### 3.2 学習の効果の評価方法

勉強会や研修の効果測定をする方法として、カーク・パトリックの 4 段階評価モデル[14]がある。これは、参加者に対する勉強会直後の直接的な効果だけでなく、その後の行動変容といった間接的な効果も測定するモデルである。

以下に、カーク・パトリックの 4 段階評価モデルのレベルを参考にした、CTF におけるアンケート項目を表 1 に整理する。

表 1 4段階評価モデルによるアンケート項目

レベル	評価内容	アンケート項目
1.反応	参加者の反応として、勉強会に積極的に参加できたか、また満足したか	【積極性】今回の勉強会に積極的に参加できましたか 【満足度】今回の勉強会の満足度を教えてください
2.学習	勉強会にて、参加者が知識や技術を得られることができたか	【役立ち度】今回の勉強会は、セキュリティの知識・技術向上に役立ちましたか
3.行動	行動変容として、さらなる学習への意欲を醸成し、学習を実施したか	【学習意欲】今回の研修を受講し、さらに学習しようという意欲が高まりましたか
4.結果	組織に対して学習効果による影響を及ぼしたか	-

「3.行動」や「4.結果」は、CTFの勉強会の数か月後に実施して、実際の行動や結果を評価すべきである。今回の参加者は不特定多数の人であり、数か月後にアンケートを採るのが難しかったため、「4.結果」に関しては対象外とした。また、「3.行動」に関しては、実際の行動ではなく、行動変容につながる「学習意欲」を回答してもらった。

## 4. ケーススタディ

### 4.1 ケーススタディの目的

3の提案手法で述べたCTFイベントを実際に開催することで、正答数ごとの学習の効果を評価する。

### 4.2 開催したCTF

CTFの概要を表2に示す。

表 2 CTFの概要

項目	内容
タイトル	WEST-SEC#11「8割解けるCTF」
実施日時	2023年1月31日(火) 19:00 ~ 21:15
参加者	申込時に制限は設けなかった。アンケートの「このCTFに参加した目的を教えてください」の結果から、セキュリティの仕事をしている人や、セキュリティに興味がある人が参加したことが確認できた。
募集URL	<a href="https://west-sec.connpass.com/event/266652/">https://west-sec.connpass.com/event/266652/</a>
実施方法	オンライン
問題構成 (全部で27問*1)	1.肩慣らし問題(3問) 2.ITとセキュリティの基礎(8問) 3.簡易なログ解析(3問) 4.FirewallとFortiGate(3問) 5.Webアプリケーション(5問) 6.解析(5問)

\*1 これ以外に、「Flag入力のテスト」として、入力をテストする問題が1問ある。問題に記載された文字列をコピーアンドペーストして入れるだけであり、本研究の正答数からは除外した。

### 4.3 アンケート結果

#### 4.3.1 正答数ごとのアンケート結果

100人以上の参加者のうち、アンケートに回答した人は84名で、CTFのスコアとアンケート回答者のくくりつけができた人が79名であった。正答数ごとのアンケート結果を

表7に示す。

表 3 正答数ごとのアンケート結果

正答数	人数	積極性	満足度	役立ち度	学習意欲
0	3	2.33	3.33	3.33	4.33
1	2	3.50	3.00	3.50	4.00
2	3	3.67	4.00	4.00	4.00
3	11	4.00	4.18	4.45	4.73
4	12	3.75	4.00	4.50	4.58
5	7	4.14	4.29	4.86	4.57
6	12	4.33	4.33	4.67	4.75
7	11	4.18	4.18	4.18	4.55
8	9	4.33	4.78	4.22	4.67
9	3	5.00	5.00	4.67	5.00
10	3	5.00	5.00	4.67	5.00
11	1	5.00	5.00	5.00	4.00
12	1	4.00	5.00	4.00	4.00
13	1	5.00	5.00	5.00	5.00
全体	84	4.08	4.29	4.40	4.63

積極性に関して、正答数が0と正答数が1では結果が2.33と3.50であり、1.17ポイントも異なる。

また、正答数ごとのアンケート結果を散布図にし、近似直線(回帰直線)、回帰曲線の係数を表したのが図3である。

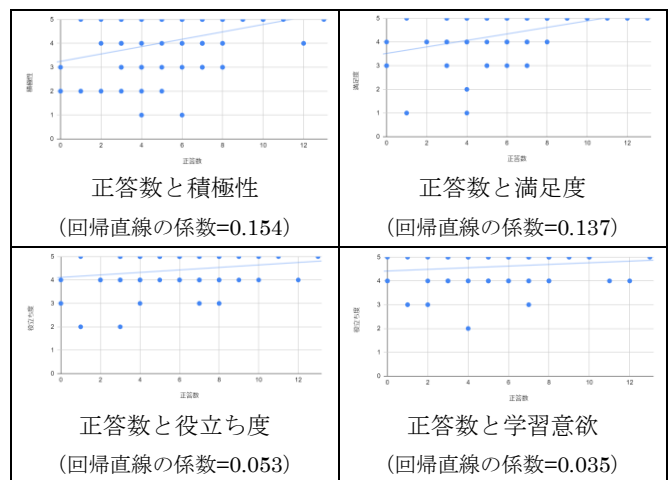


図 3 正答数ごとのアンケートの結果

また、表4に相関係数を整理する。この結果から、正答数が増えるにつれてアンケート結果が高くなる傾向にある。積極性は「弱い正の相関」、満足度は「正の相関」がある。

表 4 正答数とアンケート結果の相関係数

項目	相関係数 r	相関関係
積極性	0.375	弱い正の相関 ( $0.2 \leq r < 0.4$ )
満足度	0.412	正の相関 ( $0.4 \leq r < 0.7$ )
役立ち度	0.190	ほぼ無し ( $-0.2 < r < 0.2$ )
学習意欲	0.149	ほぼ無し ( $-0.2 < r < 0.2$ )

### 4.3.2 満足度の回答理由

参加者へのアンケートでは、満足度に対して、その理由を自由記述で答えてもらった。回答は大きく、「解けた」「(難易度が) 易しかった」「難易度がちょうどよかった」「(難易度が) 難しかった」「楽しかった」と「その他」項目に分けられた。回答ごとのアンケート結果を表 5 に整理する。

表 5 満足度の回答理由とアンケート結果

項番	回答	人数	積極性	満足度	役立ち度	学習意欲
1	解けた	9*	4.56	4.67	4.56	4.89
2	(難易度が) 易しかった	1	5	5	4	5
3	難易度がちょうどよかった	6	4.33	4.50	4.50	4.67
4	(難易度が) 難しかった	14*	3.50	3.71	4.21	4.50
5	楽しかった	12	4.50	4.33	4.58	4.83
6	その他	17	4.11	4.35	4.53	4.53
	全体	84	4.08	4.29	4.40	4.63

\*1人は「解けた」かつ「難しかった」の両方を回答しており、項番1と項番4の両方に含まれている。

項番1の「解けた」と回答した人の中で、4項目全てにおいて5段階評価の5をつけた人が3人存在した。その3人の意見は、「実力があまりなくても、少しは解けたから」「知らないものも調べながら解けたので楽しかった」「点数の高い問題が解けたので」と述べている。解けたことが、満足度につながったことがわかる。

また、項番1「解けた」と回答した群と、項番4「難しかった」と回答した群を比較すると、「解けた」群のアンケート結果が高い(積極性と満足度で有意差有り)。全体平均と比べても、アンケート結果が高い傾向にある。ただし、「難しかった」と回答した人が、必ずしも「解けなかった」と考えているわけではない。

項番3の「難易度がちょうどよかった」と回答した群のアンケート結果も、項番4「難しかった」と回答した群に比べて高い。

### 4.3.3 問題の内容による違い

解けた数が同じであっても、解けた問題の種類に応じてアンケート結果が変わる可能性がある。そこで、問題の種類を大きく2つ分類した。一つは、調べたり知識を使うことが中心の知識問題、もう一つは、サーバにログインしたりプログラムを実行するなどの実機操作をする技能問題である。今回は27問中、知識問題が8問、技能問題が19問であった。知識問題の例は図1のフィッシングメール1である。これは、添付ファイルをテキストエディタで開き、メールのヘッダのドメインを答えるだけの問題である。

技能問題の例は、図2のログ解析1である。Linuxサーバに接続してコマンドを入力しながら答えを探す。

知識問題の正答数ごとのアンケート結果をまとめたのが表6である。

表 6 知識問題の正答数ごとのアンケート結果

正答数	人数	積極性	満足度	役立ち度	学習意欲
0	16	3.88	4.13	4.25	4.63
1	14	3.93	4.21	4.50	4.43
2	15	4.07	4.20	4.53	4.67
3	15	4.33	4.20	4.60	4.47
4	9	4.67	4.78	4.33	4.89
5	7	4.43	4.57	4.29	4.86
6	1	1.00	4.00	4.00	4.00
7	1	3.00	3.00	3.00	5.00
8	1	4.00	5.00	4.00	4.00

散布図および近似直線(回帰直線)、回帰曲線の係数を表したのが図4である。

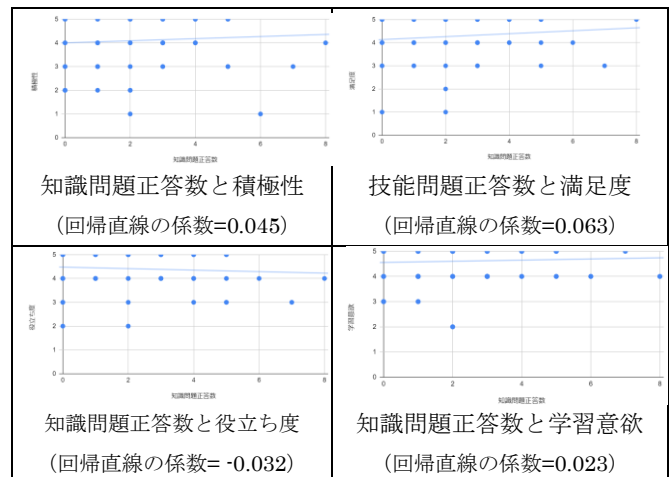


図 4 知識問題正答数ごとのアンケート結果

表7に相関関係をまとめた。知識問題の正答数と積極性などのアンケート結果に、相関関係があるとは言えない。

表 7 知識問題正答数とアンケート結果の相関係数

項目	相関係数 r	相関関係
積極性	0.073	ほぼ無し (-0.2 < r < 0.2)
満足度	0.128	ほぼ無し (-0.2 < r < 0.2)
役立ち度	-0.077	ほぼ無し (-0.2 < r < 0.2)
学習意欲	0.067	ほぼ無し (-0.2 < r < 0.2)

続いて、技能問題の正答数ごとのアンケート結果をまとめたのが表8である。

表8 技能問題の正答数ごとのアンケート結果

正答数	人数	積極性	満足度	役立ち度	学習意欲
0	8	2.75	3.50	4.13	4.25
1	10	3.70	3.90	3.90	4.60
2	11	4.00	3.82	4.36	4.45
3	13	4.15	4.53	4.46	4.85
4	16	4.50	4.50	4.50	4.56
5	12	4.25	4.50	4.50	4.67
6	5	5.00	4.80	5.00	5.00
7	2	4.50	5.00	5.00	5.00
8	1	5.00	5.00	5.00	4.00
9	1	5.00	5.00	5.00	5.00

積極性に関して、正答数が0と正答数が1では結果が2.75と3.70であり、0.95ポイントも異なる。

また、散布図および近似直線（回帰直線）、回帰曲線の係数を表したのが図5である。

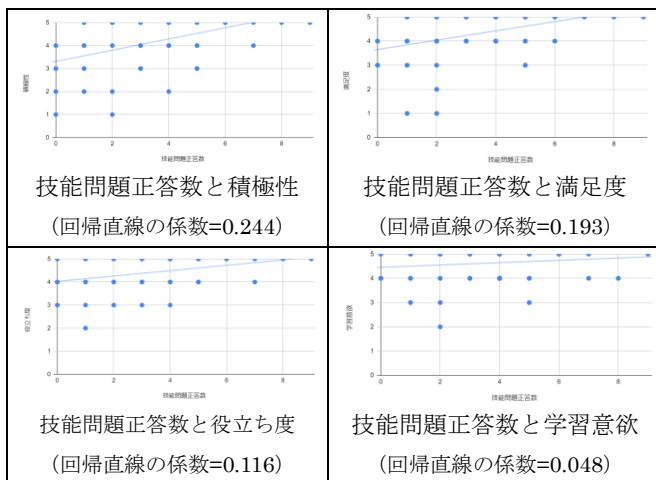


図5 技能問題の正答数ごとのアンケート結果

技能問題の正答数とアンケート結果の相関係数をまとめたのが表9である。積極性や満足度は正の相関関係があり、役立ち度とは弱い相関関係がある。

表9 技能問題正答数とアンケート結果の相関係数

項目	相関係数 r	相関関係
積極性	0.442	正の相関 ( $0.4 \leq r < 0.7$ )
満足度	0.431	正の相関 ( $0.4 \leq r < 0.7$ )
役立ち度	0.375	弱い正の相関 ( $0.2 \leq r < 0.4$ )
学習意欲	0.155	ほぼ無し ( $-0.2 < r < 0.2$ )

#### 4.3.4 自己申告による解けた割合ごとのアンケート結果

今回はチーム戦であり、他のメンバーがたくさん解くと、解けた問題の数が減ってしまう。しかし、実際には他人が解いた問題も解けた可能性がある。そこで、アンケートで「チーム内の他の人が解いてしまった問題もあると思いま

す。感覚的に、あなたは何割くらいの問題を解けたと思いますか？」という質問をし、0割～10割の10段階で回答をしてもらった。表11は、自己申告による解けた割合とアンケート結果である。

表10 解けた割合ごとのアンケート結果

解けた割合	人数	積極性	満足度	役立ち度	学習意欲
0	3	3.00	3.00	3.33	4.00
1	10	3.50	3.80	4.10	4.30
2	16	3.43	3.81	4.31	4.38
3	16	4.69	4.63	4.56	4.88
4	10	4.40	4.80	4.70	4.90
5	15	4.33	4.47	4.40	4.73
6	7	4.00	4.29	4.43	4.57
7	4	4.25	4.50	4.50	4.75
8	1	5.00	5.00	5.00	5.00
9	1	5.00	5.00	5.00	5.00
10	1	5.00	5.00	5.00	5.00

解けた割合が2割から3割になると、積極性と満足度の値がそれぞれ1.26と0.83ポイントも増加した（2つ群でどちらも有意差有り）。

また、相関係数をまとめたのが表12である。積極性や満足度など全ての項目で、弱い正の相関関係がある。

表11 解けた割合とアンケート結果の相関係数

項目	相関係数 r	相関関係
積極性	0.312	弱い正の相関 ( $0.2 \leq r < 0.4$ )
満足度	0.364	弱い正の相関 ( $0.2 \leq r < 0.4$ )
役立ち度	0.254	弱い正の相関 ( $0.2 \leq r < 0.4$ )
学習意欲	0.273	弱い正の相関 ( $0.2 \leq r < 0.4$ )

## 5. 考察

### 5.1 正答数と学習効果の関係

・4.3.1と4.3.2、4.3.4から、CTFの正答数が増えることと、参加者の積極性や満足度には正の相関関係がある。積極性に関しては、もともと積極性が高い人であったことが要因で、正答数が増えた可能性もある。しかし、解けたことが積極性を高めた可能性もある。

・4.3.1と4.3.3から、正答数（特に技能問題）が0と1の積極性の値に大きな違いがある。その後、正答数が増えることによる値の上昇は緩やかである。また、4.3.4から、解けた割合が2割（27問なので5.4問）と3割（同じく8.1問）の積極性と満足度の値に大きな違いがある。その後の値の上昇は緩やかである。よって、「全くまたはほとんど解けない」という状況は、参加者の積極性につながらないと考えられる。

・4.3.3から、知識問題の正答数よりも、技能問題の正答数

と、積極性や満足度および役立ち度に相関関係がある。正答数が 0 の値は回帰曲線から大きく外れる可能性があるため、0 以外の値で回帰曲線の係数 (=傾き) を計算した。その条件であっても、知識問題の係数は 0.008 であるが、技能問題は 0.172 であり、正答数の増加による積極性への影響が大きいことがわかる。

- ・難易度が簡単すぎると感じると、逆に積極性が下がる懸念も想定された。しかし、今回の結果から、正答数が増えることで、積極性が下がる傾向はみられなかった。

- ・4.3.2 で「難易度がちょうどよかった」ことを満足度の理由にする参加者がいた。また、4.3.3 から知識問題と正答数には相関関係が無い。このことから、誰もが解ける簡単な問題や知識問題だけを出题して正答数を増やしても、学習の効果が高まるとは限らないと言える。

- ・今回の結果はスキルレベルが初学者向けに關しての結果であり、高スキル者が参加する従来の CTF にも該当するとは限らない。

## 6. 結論

本研究では、CTF を利用したセキュリティ教育において、何問正解したかという CTF の正答数と、勉強会の効果の関係を、実際のケーススタディをもとに評価した。

今回の結果から、CTF の正答数と参加者の積極性や満足度において、弱い正の相関や正の相関が確認できた。そして、特に実機を操作する技能問題の正答数との相関が強く、さらに、全く解けない状態ではなく、数問でも解けることが積極性への影響が大きいことがわかった。

このことから、CTF を設計する際に、技能問題に關して、参加者が解ける問題を増やすことが、積極性や満足度などの学習効果を高める可能性があると考えられる。

今後は、簡単な問題だけを出题して正答数だけ増やせばいいのか、参加者のレベルに合った難易度の正答数が増える必要があるかの分析を進めたい。また、正答数ではなく難易度と学習効果の関係を、実際のケーススタディをもとに深掘りしたいと考える。

### 謝辞

ワークショップの運営を一緒に実施した NTT 西日本の谷口貴之さん、藤田政博さんに、謹んで感謝の意を表す。

### 参考文献

- [1]阿部隆幸, 中矢 誠, 楠目 幹, 富永浩之: 初心者向けのハッキング競技 CTF による情報リテラシとセキュリティの導入教育のためのオープンな大会イベント-高大連携に向けたクイズ形式のアドベンチャー型の余興ゲームの試作と予備実験-, 信学技報, Vol.IEICE-116, No. IEICE-ET-517, pp.123-128 (2017).
- [2] CTF TIME, <https://ctftime.org/event/1764/> (参照 2023-6-13).
- [3] SECCON Beginners CTF 2021 write-up,

[https://qiita.com/kusano\\_k/items/8a63b97d1427ef2e3369](https://qiita.com/kusano_k/items/8a63b97d1427ef2e3369), (参照 2023-4-16).

- [4]Z. Cliffe Schreuders and Emlyn Butterfield. Gamification for Teaching and Learning Computer Security in Higher Education. USENIX (2016)
- [5] 粕淵 卓, 稗方 和夫, CTF の難易度と参加者の積極性の関係に関する検証と評価", 研究報告セキュリティ心理学とトラスト (SPT) ,2023-SPT-51,3 (2023).
- [6] Stephen V. Cole. Impact of Capture The Flag (CTF)-style vs. Traditional Exercises in an Introductory Computer Security Class. ITiCSE '22, 470–476 (2022)
- [7] Zack Kaplan, Ning Zhang, Stephen V. Cole. A Capture The Flag (CTF) Platform and Exercises for an Intro to Computer Security Class. ITiCSE '22, 597–598 (2022)
- [8] Jelena Mirkovic, Aimee Tabor, Simon Woo, and Portia Pusey. Engaging Novices in Cybersecurity Competitions: A Vision and Lessons Learned at ACM Tapia 2015. USENIX (2015)
- [9] Eri, Takizawa , The purpose of this study was to examine the effects of task labels, difficulty of practice tasks and their interaction on intrinsic motivation. Participants were 20 undergraduates and they were assign. Gakushuin University studies in humanities 19 131-149 (2010)
- [10]Z. Cliffe Schreuders and Emlyn Butterfield. Gamification for Teaching and Learning Computer Security in Higher Education. USENIX (2016)
- [11] Robert C. Wilson, Amitai Shenhav, Mark Straccia & Jonathan D. Cohen. The Eighty Five Percent Rule for optimal learning. NATURE (2019)
- [12]赤木智史, 中矢誠, 富永浩之: ハッキング競技 CTF を取り入れた情報セキュリティ教育の導入イベントの実践報告, 情報処 理学会 情報教育シンポジウム SSS2014 論文集, Vol.2014, No.2, pp.169-172 (2014).
- [13]Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J.. The expertise reversal effect. Educational Psychologist, 38(1), 23-31(2003)
- [14]Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. Evaluating Training Programs Third Edition. San Francisco : Berrett-Koehler Publishers (2006)