

システム創成工学専攻
情報システムコース

Department of Systems Innovation
Advanced Information System Course

令和4年度 専攻科特別研究論文

ゲーミフィケーションにおけるタスクの
時間長が意欲と効率に与える影響

An Effect of Gamified Task Duration
on Motivation and Performance

指導教員名 上野 秀剛 准教授

論文提出者名 上野 達也

独立行政法人 国立高等専門学校機構
奈良工業高等専門学校 専攻科
National Institute of Technology, Nara College
Faculty of Advanced Engineering

ゲーミフィケーションにおけるタスクの 時間長が意欲と効率に与える影響

An Effect of Gamified Task Duration on Motivation and Performance

上野 達也
Ueno Tatsuya

独立行政法人 国立高等専門学校機構

奈良工業高等専門学校 専攻科 システム創成工学専攻 情報システムコース

大和郡山市矢田町 22 番地 (〒 639-1080)

National Institute of Technology, Nara College, Faculty of Advanced Engineering
22 Yata-cho, Yamatokoriyama, Nara 639-1080, Japan

Abstract: Gamification enhances workers' motivation and performance by applying the entertainment elements of games to tasks. Several research proposes and evaluates entertainment elements, however, only a few studies analyze the effects of other factors in gamification. In this paper, the authors focus on the "task" as a factor of gamification and investigate how the task duration affects motivation and performance. The authors evaluate two research questions that were established from the hyperbolic discounting theory of behavioral economics regarding the relationship between task duration and motivation/efficiency. The results of the participant experiments showed participants' motivation and performance decreased as the task duration increased. The comparison result of MAEs at different regression models between task duration and efficiency describes the nonlinear regression models has the smallest MAE, which means the relationship is curvilinear. In contrast, for motivation, the MAE of some nonlinear regression models is higher than the linear regression model, and the relationship cannot be considered curvilinear. The results of this study suggest that task-setting needs careful selection based on which motivation/efficiency is the target to support via a gamification system.

Keywords: Gamification, Motivation, Hyperbolic Discounting, Behavioral Economics, Task Performance;

関連業績リスト

1. 上野達也, 上野秀剛, “ゲーミフィケーションにおけるタスクの時間長が作業の意欲と効率に与える影響,” 電子情報通信学会 教育工学研究会, Vol. 121, No. 174, pp. 29–34, 2021.
2. 上野達也, 上野秀剛, “ゲーミフィケーションにおけるタスクの時間長が意欲と効率に与える影響,” 第3ブロック専攻科研究フォーラム, 2022.

目次

1.	はじめに	1
2.	関連研究	4
3.	準備	6
3.1	ゲーミフィケーション	6
3.2	双曲割引	7
3.3	Research Question	8
4.	実験	10
4.1	タスクと計測データ	10
4.2	手順	12
4.3	アンケート	12
4.4	分析	13
5.	結果と考察	14
5.1	作業効率	14
5.2	作業意欲	16
5.3	作業効率の個人差	19
5.4	タスクの成否による作業意欲の差	20
6.	おわりに	24
	参考文献	27

目次

1.1	ゲーミフィケーションの構成要素と効果	2
3.1	双曲割引	7
4.1	計算タスク画面	11
4.2	タスクの詳細表示画面	11
5.1	作業速度	15
5.2	アンケート	17
5.3	被験者ごとの作業速度の比較	20
5.4	達成タスクと未達成タスクのアンケート	22

表目次

3.1	Ainslie の実験予想 [1]	8
4.1	回帰モデル	13
5.1	達成タスク数と未達成タスク数	14
5.2	作業速度の回帰結果と MAE	16
5.3	アンケートの回帰結果と MAE	18
5.4	作業速度の被験者ごとの回帰における MAE	20
5.5	達成タスクのアンケートの回帰結果と MAE	22
5.6	未達成タスクのアンケートの回帰結果と MAE	23

1. はじめに

人が作業に取り組むための動機付け手法として、ゲーミフィケーションが注目されている。ゲーミフィケーションは“非ゲーム的文脈でゲーム要素やゲームデザイン技術を用いること”と定義されており [2]、娯楽性を生む要素（以下、娯楽要素）を業務や学習などの作業に適用することで作業者の意欲や作業効率を向上させる。ゲーミフィケーションを用いたモチベーション支援は、一般ユーザを対象にした商用システムで広く利用されており、研究においても様々な娯楽要素の作業意欲・効率に対する評価 [3–8]、好まれる娯楽要素 [7]、娯楽要素の効果に対する個人差 [8] が報告されている。一方で、ゲーミフィケーションの娯楽要素以外に着目した研究は少ない。

ゲーミフィケーションにおける娯楽要素の多くは、支援対象とする作業に対してタスクを設定する。タスクは1つの作業を細かな単位に分割する、それぞれを完了させるまでの時間（制限時間）を設けるなどの方法によって、短時間で完了の有無が明確になるよう定義されたものである。ゲーミフィケーションはタスク完了の有無や制限時間内に完了したタスク数などをパラメータとして勝敗や順位、記録の更新、架空のメダルの授与を決定することで作業に娯楽要素を組み込む。長尾はゲーミフィケーションを成立させるための条件の1つとして“課題の明確化”を挙げており [9]、作業をタスク化することが完了時の達成感を増幅し、作業に対する意欲や効率の向上に影響を与えていると考えられる。そのため、達成感を感じる間隔を決定する要素であるタスクの時間長（タスク時間長）はゲーミフィケーションシステムの設計において重要な要素である。加えて、タスク時間長が作業意欲や効率に与える影響は心理的な要因であり、タスク時間長に対して線形な関係ではない可能性がある。本稿ではタスク時間長を変化させたときの作業意欲や効率の向上への影響を理解する方法として、双曲割引の理論を用いる。

双曲割引は行動経済学の用語で、人の選好が時間の影響を受けることを説明する理論である。双曲割引の理論によると、人はある報酬を提示されたとき、その報酬を獲得するまでにかかる時間が短いほど、報酬に対して感じる主観的価値が上昇し、時間が長いほど主

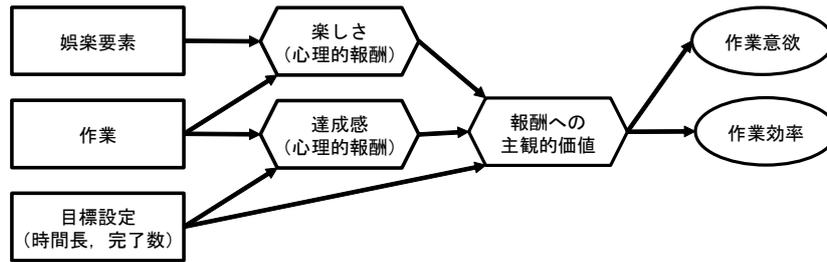


図 1.1 ゲームフィケーションの構成要素と効果

観的価値が低下する [10]. このとき、報酬を獲得するまでの時間の長さや報酬への主観的価値の関係は非線形であり、報酬を獲得するまでの時間が長くなるにつれて報酬への主観的価値は双曲線状に低下する。人は複数の報酬の選択肢が提示されたとき、それぞれの報酬に対する主観的価値が双曲割引によって決定され、主観的価値の大小によって行動選択の意思決定がなされると考えられる。

本研究におけるゲームフィケーションの構成要素と作業意欲・効率の関係を図 1.1 に示す。図の四角形はゲームフィケーションが導入された作業の構成要素、六角形は作業者の心理的な要素、楕円形は作業に対する作業者のパフォーマンスを示す。矢印は要素間の関係を示し、矢印の始点にある要素の有無や増減が、矢印の終点にある要素に影響を与える。作業の多くはそれ自体が楽しさや完了時の達成感を生む。ゲームフィケーションは作業に娯楽要素を導入することで楽しさや面白さを付与、または増幅する。また、タスクの制限時間や完了数など達成すべき目標を設定することで、タスク完了時の達成感を付与・増幅する。作業間での勝敗や順位、記録の更新といった娯楽要素における楽しさ、および作業やタスク完了における達成感や心理的報酬であり、タスクが完了し、結果が明らかになった瞬間にその大部分が発生すると考えられる。したがって、タスク時間長は作業者が報酬を獲得するまでの時間長となる。そのため、タスク時間長が報酬の主観的価値に影響を及ぼし、作業効率や意欲を変化させる可能性がある。

本研究は作業に対してゲームフィケーションを適用した時のタスク時間長の影響を明らかにすることを目的とする。簡易な作業に対して異なるタスク時間長を設定した時の作業意欲と効率を被験者実験で計測し、その関係性を分析する。ゲームフィケーションを企業や教育現場などに適用する場合、娯楽要素を導入するタスクをどの程度の作業量・作業時間に設定するかはシステムを設計する際の重要な要素である。また、その影響が非線形だった場合、タスク時間長をわずかに短くすることで作業意欲・効率が大幅に上昇する可

能性があり、ゲーミフィケーションシステムの作成者が最適なタスク設定を決定する際の重要な指針となる。

2. 関連研究

ゲーミフィケーションに関する研究として、特定の作業を対象にゲーミフィケーションを導入したシステムの開発と評価が盛んに取り組まれている。倉本らはデスクワークでの作業量と連動して仮想的なキャラクターを育成させる Weekend Battle [4] や懐優館 [5] を開発し、作業にエンタテインメント性から生じる達成感や満足感を取り入れることで作業意欲や作業効率が向上することを示した。他者の作成した用例対訳の正確性の評価作業を対象にしたモチベーション支援システムの開発研究 [6] では、評価作業の回数に応じてサーバ上の仮想的な木を成長させることで視覚的な要素を用いた楽しさや達成感の要素を作業に取り入れ、既存システムよりも作業者の意欲が向上することを示した。これらの研究は、個別の作業に対してゲーミフィケーションシステムを導入し、娯楽要素の有無や設定の違いが作業意欲や作業効率にどれだけ影響するか評価している。本研究では、上記のようなゲーミフィケーションシステム全般を設計する際に重要な要素の1つとなるタスク時間長について、時間長の変化が作業意欲・効率にどのような影響を与えるか明らかにする。

ゲーミフィケーションに関する研究の中には、システムの比較・評価とは異なる研究も存在する。Denden らは、作業者の性格が内向的であるか外向的であるかをアンケートで分類したうえで、複数の娯楽要素を適用したゲーミフィケーションシステムを利用してもらい、性格特性と娯楽要素の嗜好の関係を調査した [7]。その結果、内向的と外向的の両方の性格に好まれる娯楽要素や、一方にのみ好まれる娯楽要素があり、作業者の性格が娯楽要素の嗜好に影響を与えていることが明らかになった。著者らは過去の研究 [8] で単純作業のタスクに対して3種類の娯楽要素とその組み合わせを8通り（娯楽要素なし、娯楽要素1つ×3通り、娯楽要素2つ×3通り、娯楽要素3つ）付与し、それぞれの組み合わせに対する主観的評価、作業速度、作業精度を測定した。その結果、娯楽要素の違いだけでなく、被験者の元々の作業能力の差によってゲーミフィケーションの効果が異なり、作業意欲や作業効率が低下する娯楽要素も見られた。これらの研究はいずれもゲーミフィ

ケーションの効果に影響を与える要素として、性格や作業能力など、システムを利用する個人に着目している。本研究はゲーミフィケーションの効果に影響を与える要素としてタスク時間長に着目し、作業意欲や作業効率に及ぼす影響を検証する。

3. 準備

3.1 ゲーミフィケーション

ゲーミフィケーションはゲームのもつ動機づけの仕組みを娯楽要素として他分野での作業に応用することで作業に対する意欲を向上させる手法である。購買行動 [11] や健康維持活動 [3] などを支援するゲーミフィケーションシステムの開発が盛んに行われ、その効果は広く知られている。また、学校教育にゲーミフィケーションを取り入れることで、学生の学習意欲や成績にどのような効果を与えるか調査する研究も多く取り組まれている [12–15]。一般的にゲーミフィケーションシステムでは、作業の着手数や一定時間ごとの作業頻度、作業精度、作業速度などを測定し、これらの値が一定の基準を満たすか評価したり、他者や自分の過去の記録と比較することを娯楽要素とする。娯楽要素の例として、自身の作業成果や達成数を数値化するポイント、作業成果に応じて架空の特典を与えるバッジ、他人や過去の自分の作業成果を表示することで競争心を掻き立てるリーダーボードなどが挙げられる [2, 16]。著者らの過去の研究 [8] では、様々なゲーミフィケーションシステムでよく用いられる娯楽要素として、以下の3つを用いた。

- **他者との競争**：作業員全員の作業成績をランキング形式で表示することで他者より良い記録を出すように促す
- **自分との競争**：作業員個人の過去の作業成績を提示することでその記録を超えるように促す
- **収集**：作業員が条件を満たしたときに架空のメダルやトロフィーを獲得させることで収集意欲を掻き立てる

長尾はゲーミフィケーションの構成要素として、作業に対する目標を明示してタスク化する点、作業完了時に作業員が報酬が得られる点を挙げている [9]。本研究では、作業に娯楽要素を付与することで作業員が作業完了時に得られる報酬の1つである達成感に着

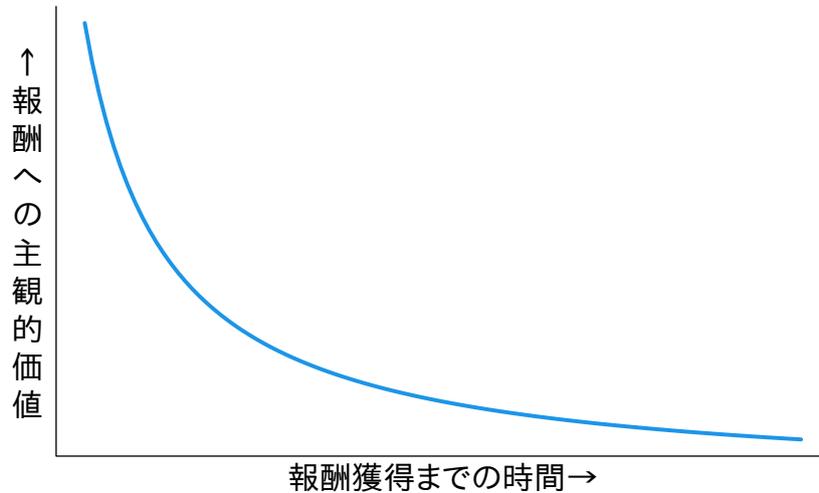


図 3.1 双曲割引

目する。達成感は行動そのものに内在する報酬（内発的動機づけ）の1つで，報酬や罰を外的に与えることで作業者の作業意欲を引き出す外発的動機づけと区別される [17]。一般に，人の行動が内発的動機づけによるものであるほどモチベーションが維持されやすく，行動の動機づけとして望ましい状態であるとされている [18,19]。ゲーミフィケーションは長時間にわたる活動や多数の単純作業に対して，一定時間ごとの期限や区切りとなる作業回数 of 目標を定めることで，期限ごと，または目標達成時の達成感を報酬として作業者に与える。このとき，目標として設定する期限の長さや作業回数の値は，作業者が作業開始から報酬を得るまでの時間長に影響する。次節では報酬を獲得するまでの時間長が報酬に対する価値に影響することを説明する双曲割引について述べる。

3.2 双曲割引

双曲割引は行動経済学の用語で“人はすぐにもらえる報酬ほどその価値を大きく感じ，もらえる時期が遅くなると，その価値が減っていく傾向にある”ことを表す [20]。報酬への主観的価値の変化は，図 3.1 に示すように報酬獲得までの時間が短いほど大きく，報酬獲得までの時間が長くなるにつれて急速に小さくなる [20]。

Ainslie は報酬に対する主観的価値が存在し，その主観的価値は時間の影響を受けると考え，被験者に換金時期と金額が異なる 2 つの小切手を提示したときの選好を調査する実験を提案した [1]。表 3.1 にエインズリーが提案する実験で提示される小切手の条件と結

表 3.1 Ainslie の実験予想 [1]

	提示金額と 換金時期		提示条件の差		選んだ 被験者の数
	\$100	\$200	金額	換金時期	
調査 1	今	3 年後	\$100	3 年	\$100>\$200
調査 2	6 年後	9 年後	\$100	3 年	\$100<\$200

果を示す。まず、すぐに換金できる 100 ドルの小切手と 3 年後に換金できる 200 ドルの小切手の 2 種類を被験者に提示し、どちらの小切手を選択するか調査する（調査 1）。次に、6 年後に換金できる 100 ドルの小切手と 9 年後に換金できる 200 ドルの小切手の 2 種類を被験者に提示し、どちらの小切手を選択するか調査する（調査 2）。実験の結果として、調査 1 では被験者の半数以上がすぐに換金できる 100 ドルの小切手を選択する一方で、調査 2 では被験者のほぼ全員が 9 年後に換金できる 200 ドルの小切手を選択すると述べている。調査 1 と調査 2 はどちらも換金期間を 3 年延長することで 100 ドルが増額される条件であるが、近い期間の比較（調査 1）ではすぐに換金できる 100 ドルの価値が大きい一方で、遠い期間の比較（調査 2）では後で換金できる 200 ドルの価値が大きい、すなわち、換金時期の遠近によって増額される 100 ドルに対する主観的価値が変化することを主張している。したがって、報酬に対して人が感じる主観的価値は、報酬獲得までの時間の影響を受けており、報酬獲得までの時間が長いほど報酬への主観的価値が低下する。双曲割引は人が長期的に得られる大きな報酬よりも目先の小さな報酬を優先してしまうことを理論化しており [21]、ギャンブルやアルコールへの依存症が生じる理由や、ダイエットに失敗する理由の説明として多く用いられている。

3.3 Research Question

ゲーミフィケーションは支援対象の作業を明示的な目標や期限をもつタスクとすることで、作業者にタスク完了時の達成感を報酬として付与し、作業意欲・効率を向上させる。このとき、1 つのタスクとして指定する作業量や時間長を変えると報酬を獲得するまでの時間が変化する。3.2 節で述べたように、双曲割引は報酬獲得までの時間長が報酬に対する主観的価値に影響することを示しており、ゲーミフィケーションにおける達成感もタス

ク完了までの時間によって主観的価値が変化すると考えられる。そのため、タスクとして指定する作業量や時間長が作業意欲や作業効率に影響を与えると考えられる。具体的には、作業意欲や作業効率はタスク時間長が短いほど高く、タスク時間長が長くなるにつれて低下し、その変化は下に凸の曲線状となることが考えられる。本稿ではタスク時間長と作業意欲・効率の関係について以下の2つの研究課題を立て、実験により検証する。

【RQ1】 タスク時間長が長くなるにつれて、作業効率が低下するか？また、その関係は曲線状か？

【RQ2】 タスク時間長が長くなるにつれて、作業意欲が低下するか？また、その関係は曲線状か？

4. 実験

奈良高専で情報工学を専攻する学生 27 名を対象とした被験者実験を実施する。被験者の年齢は 17 歳から 21 歳で、26 名が男性、1 名が女性である。実験には著者らが作成したタスクと娯楽要素を提示する GUI プログラムを使用し、被験者は PC を用いてプログラム上で指定の作業を行う。

4.1 タスクと計測データ

本研究はタスク時間長の変化による作業意欲と作業効率への影響の分析を目的としており、タスク時間長以外の要素による影響を受けにくいタスク設定が望ましい。思考を伴う複雑な作業タスクを採用した場合、作業者間の知識の差が作業意欲・効率に影響する可能性がある。そのため本実験では、知識の差が影響しない単純なタスクとして、1桁の自然数 2 つからなる四則演算で構成されるタスク（以下、計算タスク）を採用する。

1 つの計算タスクは複数の計算問題から構成される。計算問題の表示例を図 4.1 に示す。被験者はディスプレイ上に表示される計算式の解答を暗算で求め、テキストボックスにキーボードで入力する。計算式は 2 つの項と 1 つの演算子で構成されており、左項と右項がともに 1 桁の自然数、かつ、計算結果も 1 桁の自然数になるよう出題する。演算子には + (加算)、- (減算)、 \times (乗算)、 \div (除算) の 4 種類を用いる。被験者が計算問題の暗算結果を入力してエンターキーを押下すると、入力内容が正しいか実験プログラムが判定する。入力内容が 1 桁の自然数である場合は正誤に関わらず次の計算問題を表示し、正答の場合には正解数を 1 増やす。入力内容が 1 桁の自然数ではない、または未入力の場合は次の問題に遷移せず、同じ問題を再度解答させる。

各被験者は計算タスクを複数回実施する。計算タスクにはそれぞれ、タスクの完了に必要な正解数（以下、必要正解数）と制限時間（タスク時間長）を設定する。タスクの必要正解数を設けることで被験者にタスク完了時の達成感を認識させる。1 回のタスクは、制



図 4.1 計算タスク画面



図 4.2 タスクの詳細表示画面

制限時間内に正解数が必要正解数に達するか、制限時間を超過することで終了する。結果の分析にはタスク終了時のタイミングで記録されている正解数と所要時間を使用し、プログラムは被験者がエンターキーを押下した瞬間に、正解数が必要正解数と等しいか、所要時間が制限時間を超過しているかを判断する。タスクが制限時間を超過して終了する場合は、タスク中の最後にエンターキーが押下されたタイミングで記録されている正解数と所要時間を使用するため、所要時間が制限時間を上回る。計算タスクを開始する前の被験者に、図 4.2 のようにタスクの制限時間と必要正解数を提示する。

本研究の仮説では、タスク時間長の増加に対する作業効率の低下はタスク時間長が短いほど急激であり、時間長が長くなるにつれて低下が緩やかになる。したがって、タスク時間長が短いときは測定間隔を狭く、時間長が長いときは測定間隔を広く取ることで曲線の形状を詳細に計測する。具体的な制限時間として 15 秒、30 秒、45 秒、60 秒、75 秒、90 秒、120 秒、150 秒の 8 種類を用意する。タスク遂行中の経過時間は被験者に表示せず、必要正解数と現在時点での正解数のみをタスク画面の上部に表示する (図 4.1)。タスクを開始する前に、被験者には正確さをもっとも重視し、その上でできるだけ速く入力するよう指示する。

タスクの時間長によって適切な必要正解数が異なるため、作業効率の指標として正解数を所要時間で除算した値 (以下、作業速度) を用いる。作業速度の値が大きいほどタスクを速く処理しており、作業効率が高いと捉える。また、作業速度は各被験者の能力の影響

を受けるため、各被験者の計算能力によって必要正解数を変化させる。なお、各被験者が取り組むどの時間長のタスクにおいても、時間長あたりの必要正解数が同一になるように設定する。被験者の計算能力を測定して必要正解数を設定する方法は 4.2 節で説明する。

4.2 手順

実験は練習、基準、本番の 3 つのステップに分かれる。練習では計算タスクの進め方を被験者に理解してもらうため、30 秒の制限時間のみを設定した計算タスクを行う。基準では被験者の計算能力を測定するため、必要正解数を提示せず、30 秒の制限時間のみを設定した計算タスクを行う。基準を行う際、被験者には計算能力を測定することを説明せず、正確さをもっとも重視した上で可能な限り素早く問題に取り組むように指示する。基準における作業者の正解数をもとに、本番におけるタスク時間長が T 秒の計算タスクの必要正解数 N_T を算出し、小数点以下を切り捨てた値を用いる。

$$N_T[\text{問}] = \frac{\text{基準での正解数}}{30} \times T \quad (4.1)$$

本番において各被験者は、8 種類の制限時間をもつ計算タスクをそれぞれを 4 回ずつ、計 32 回実施する。計算タスクに適用する制限時間は被験者の学習効果や疲労の影響を考慮し、被験者ごとにランダムな順に割り当てる。

4.3 アンケート

被験者の主観的な作業意欲を測定するため、本番において 1 回の計算タスクが終了するごとに、そのタスクに対する作業意欲のアンケートを取る。被験者はタスクに対する作業意欲を 5 段階のリッカート尺度（1：下がった、2：少し下がった、3：差はなし、4：少し上がった、5：上がった）で評価し、ディスプレイ上に表示されたアンケートフォームに回答する。このとき、アンケート対象となるタスクと、それ以前に行われたタスクの作業量の差がアンケート結果に影響すると考えられる。例として、90 秒より短いタスクが複数回続いた後に 90 秒のタスクに取り組んだ場合、作業量が増加したことで作業意欲が減退する一方で、90 秒より長いタスクが複数回続いた後に 90 秒のタスクに取り組んだ場合、作業量が減少することで作業意欲が増進する可能性がある。実験では個々のタスクに対する意欲を測定するため、タスクの提示順序による意欲への影響を抑える必要がある。

表 4.1 回帰モデル

回帰モデル		数式
線形回帰		$y = ax + b$
非線形回帰	累乗曲線	$y = ax^b$
	指数曲線	$y = ab^x$
	双曲線関数	$y = \frac{ax}{b+x}$
	学習曲線	$y = a + be^{-kx}$

そこで被験者には、基準で取り組んだ 30 秒タスクと比較して、どれほど作業意欲に変化があったか回答するように指示する。

4.4 分析

作業効率の指標である作業速度と作業意欲の指標であるアンケートの結果について、すべての本番タスクにおける各被験者の最小値が 0、最大値が 1 になるよう正規化（min-max 法）する。正規化後の全被験者の作業速度とアンケートのデータをタスク時間長ごとに集計し平均値を算出する。

タスク時間長を横軸、正規化後の作業速度とアンケートのタスク時間長ごとの平均値を縦軸に取ったグラフからタスク時間長と作業意欲および作業効率の関係を調べる。また、作業速度とアンケートの平均データに対して、表 4.1 に示す 5 種類のモデルを使用して線形回帰と非線形回帰を行う。回帰モデルにおいて、 y は作業速度もしくはアンケート、 x はタスク時間長、 e は自然対数の底、 a, b, k はパラメータである。回帰には R 言語の `nlm` 関数を用いる。`nlm` 関数では回帰モデルのパラメータの初期値の与え方によって回帰結果が異なる場合がある。本研究の分析では、すべての回帰モデルに対してパラメータの初期値を複数通り与え、回帰結果がもっとも実データに近いものを採用する。回帰結果のそれぞれについて、全被験者のデータ（864 タスク）との平均絶対誤差 MAE を計算し比較する。線形回帰の MAE より非線形回帰の MAE が小さい場合は曲線状、そうでない場合は直線状と判断する。

5. 結果と考察

27名の被験者に8種類のタスクを4回ずつ行ってもらい、計864タスクのデータが得られた。864タスクのうち360タスクが制限時間を超過して終了した。各時間長における、制限時間内に完了できたタスク（以下、達成タスク）と制限時間内に完了できなかったタスク（以下、未達成タスク）の数を表5.1に示す。以下、時間長が T 秒のタスクを“ T 秒タスク”と表す。

5.1 作業効率

各タスク時間長における作業速度と回帰結果を図5.1に示す。実データのグラフの形状は下に凸の曲線状であり、15秒タスクの作業速度が0.63ともっとも高く、30秒タスクで0.33と急激に低下する。45秒タスクで0.27、60秒タスクで0.23と低下傾向は続くものの、その変化は緩やかになっている。75秒以降のタスクの値は0.23から0.19と変化は小さい。

表5.2に回帰モデルごとのパラメータの収束値とMAEを示す。双曲線関数モデルと学習曲線モデルのMAEが0.162ともっとも小さく、線形モデルの0.176と比較してすべて

表 5.1 達成タスク数と未達成タスク数

	15秒 タスク	30秒 タスク	45秒 タスク	60秒 タスク	75秒 タスク	90秒 タスク	120秒 タスク	150秒 タスク	全タスク
達成 タスク数	95	73	72	65	56	51	41	51	504
未達成 タスク数	13	35	36	43	52	57	67	57	360
達成率 [%]	88.0	67.6	66.7	60.2	51.9	47.2	38.0	47.2	58.3

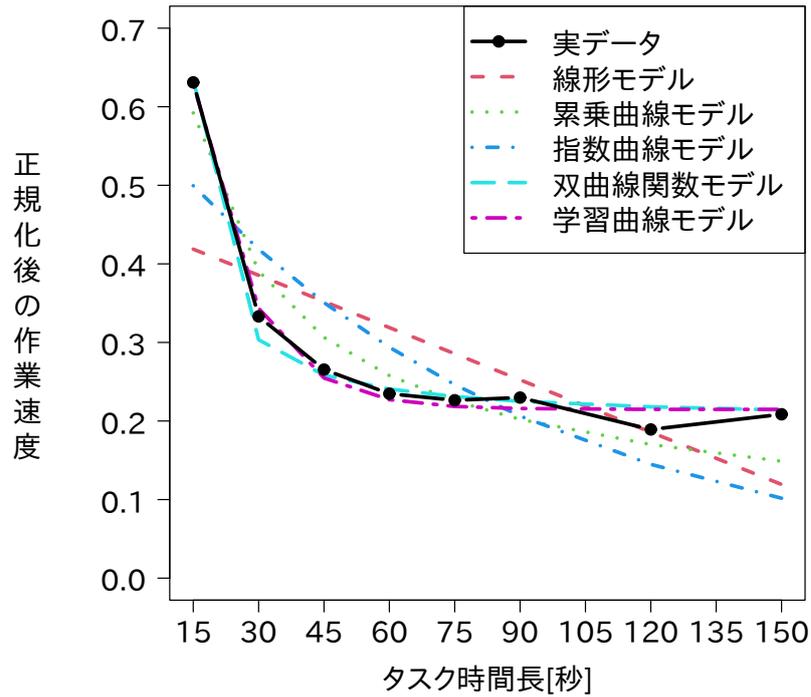


図 5.1 作業速度

の非線形モデルの MAE が小さい。非線形回帰モデルの中では指数曲線モデルの MAE が 0.173 ともっとも大きく、線形モデルに近い値となった。各モデルのグラフの形状を見ると、双曲線関数モデルと学習曲線モデルはいずれも実データと同様に下に凸の曲線状であり、タスク時間長が 120 秒の場合を除いてよく近似している。他の非線形回帰モデルが曲線状に回帰した一方で、指数曲線モデルは線形に近い形で回帰している。指数曲線モデル ($y = ab^x$) の MAE が大きい理由として、指数部 x にタスク時間長 (秒) が用いられていることが考えられる。本研究の実験設定において、 x の値が 15~150 と大きいため基数 b がわずかに小さくなると回帰結果 y の値が急速に 0 に漸近する。そのため b が 0.988 と 1 に近い値に収束し、直線に近い形で回帰されたと考えられる。

線形モデルの MAE と比べ、すべての非線形回帰モデルの MAE が小さいことから、タスク時間長が長くなるにつれて、作業効率は曲線状に低下するといえる。この結果から、タスク終了時に得られる達成感が金銭を報酬とした際の金額と同様に主観的価値に基づいて評価されていると考えられる。3.2 節にも示したように、報酬に対して人が感じる主観的価値は、報酬獲得までの時間が長いほど低下する [1]。ゲーミフィケーションはタスクに娯楽要素を追加することで、タスク完了時に感じる達成感を強化し、作業意欲や作業効

表 5.2 作業速度の回帰結果と MAE

回帰モデル		パラメータ			MAE
		初期値	収束値		
線形	$y = ax + b$	a	0.1	-0.002	0.176
		b	0.1	0.452	
非線形	累乗曲線 $y = ax^b$	a	0.01	3.005	0.166
		b	0.01	-0.600	
	指数曲線 $y = ab^x$	a	0.1	0.596	0.173
		b	1.0	0.988	
	双曲線関数 $y = \frac{ax}{b+x}$	a	0.1	0.199	0.162
		b	0.1	-10.283	
	学習曲線 $y = a + be^{-kx}$	a	0.1	0.215	0.162
		b	0.1	1.334	
k		0.1	0.078		

率を向上させる。本実験における娯楽要素はタスク開始前に必要正解数を被験者に提示することでタスク完了時の報酬である達成感を被験者に認識させる。そのため、タスク完了までの時間長が長いほど報酬に対する主観的評価が減衰し、作業効率も低下したと考えられる。

【RQ1 への回答】 タスク時間長が長くなるにつれて、作業効率は低下する。その関係性は下に凸の曲線状であり、双曲線関数モデルと学習曲線モデルで MAE がもっとも小さく、一部タスク時間長を除いてよく近似する。

5.2 作業意欲

各タスク時間長におけるアンケートと回帰結果を図 5.2 に示す。実データのグラフの形状はやや下に凸ではあるが概ね直線状であり、15 秒タスクで 0.82 ともっとも高く、30 秒タスクで 0.69 と大きく低下している。また、90 秒タスクまでは一定に低下し、120 秒タスクと 150 秒タスクでは緩やかに低下している。

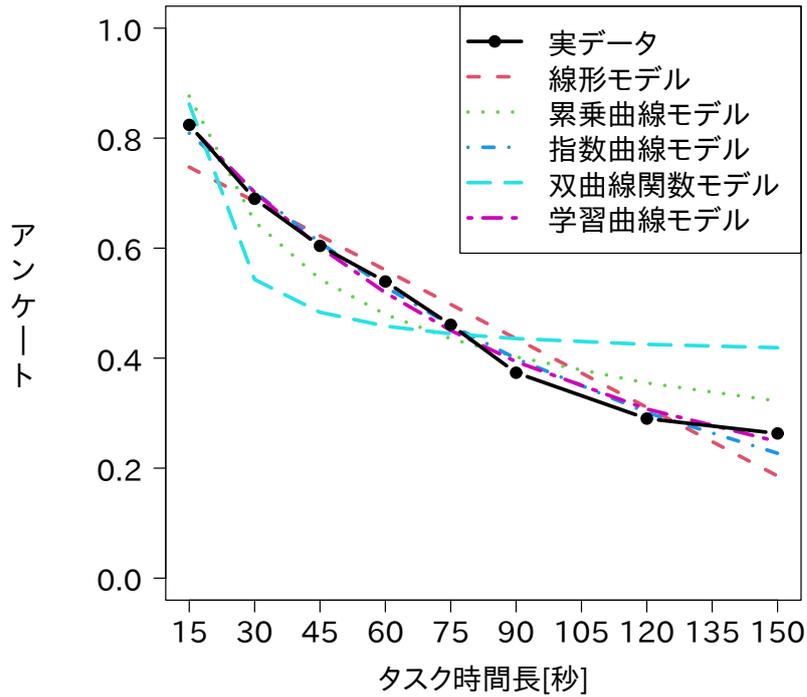


図 5.2 アンケート

表 5.3 に回帰モデルごとのパラメータの収束値と MAE を示す．指数曲線モデルと学習曲線モデルの MAE が 0.239 ともっとも小さく，双曲線関数モデルが 0.267 ともっとも大きい．線形モデルの MAE は 0.241 と指数曲線モデルや学習曲線モデルよりわずかに大きい値となった．各モデルのグラフの形状を見ると，指数曲線モデル，学習曲線モデルにおいてタスク時間長によらず実データをよく近似している．一方で，双曲線関数モデルは 15 秒，75 秒を除いて誤差が大きく実データと異なる形状となった．

線形モデルと比べて一部の非線形モデルで MAE が大きいことから，タスク時間長が長くなるにつれて，作業意欲が曲線状に低下するとはいえない．MAE がもっとも小さいモデルの 1 つである指数曲線のパラメータを見ると，作業効率の時と同様に b の値が 1 に近く，わずかに下に凸の直線的なグラフとなっている．指数曲線モデルは作業効率においてもっとも MAE が大きいモデルの 1 つであり，作業意欲と異なる結果となっている．同様に，双曲線関数モデルの MAE も作業意欲でもっとも大きく，作業効率でもっとも小さい．以上の結果は，作業意欲はタスク時間長が長くなるにつれて直線的に低下することを示唆する．タスク時間長が作業効率と作業意欲に与える影響のあり方が異なることは興味深い．著者らの過去の研究 [8] においても，娯楽要素への主観的評価と，その娯楽要素を

表 5.3 アンケートの回帰結果と MAE

回帰モデル		パラメータ			MAE
			初期値	収束値	
線形	$y = ax + b$	a	0.1	-0.004	0.241
		b	0.1	0.810	
非線形	累乗曲線 $y = ax^b$	a	0.01	2.845	0.249
		b	0.1	-0.435	
	指数曲線 $y = ab^x$	a	0.1	0.932	0.239
		b	1.0	0.991	
	双曲線関数 $y = \frac{ax}{b+x}$	a	0.1	0.396	0.267
		b	0.01	-8.103	
	学習曲線 $y = a + be^{-kx}$	a	0.01	0.119	0.239
		b	0.1	0.849	
k		0.01	0.013		

適用した際の作業効率の向上率は必ずしも一致していない。これらの結果はゲーミフィケーションの効果について、作業意欲と作業効率を区別した評価が必要であるとともに、作業時間の長さを考慮する必要があることを示している。

他のモデルと異なり学習曲線モデルは作業効率と作業意欲の両方で MAE がもっとも小さい。学習曲線モデル ($y = a + be^{-kx}$) はパラメータ k の値が 0 に近いほど直線的なグラフを描く特性がある。本実験においても作業効率の回帰式で k の値が 0.078 であるのに対して、作業意欲の回帰式で 0.013 と小さく、より直線的なグラフになっている。そのため、異なる特性を持つ 2 つのグラフに対してよく近似したと考えられる。

【RQ2 への回答】 タスク時間長が長くなるにつれて、作業意欲は低下する。その関係性は曲線状とは言えず、直線である可能性がある。

5.3 作業効率の個人差

一部の被験者の作業効率について他の被験者と異なる傾向がみられた。図 5.3 に傾向の異なる被験者 3 名の作業速度（正規化後）を示す。被験者 11 はタスク時間長が 15 秒の時にもっとも作業速度が高く、タスク時間長が長くなるにつれて下に凸の曲線状に低下している。被験者 11 のデータのみから各モデルによる回帰を行うと、すべての非線形モデルの MAE が線形モデルより小さかった。著者の目視による確認の結果、27 人中 22 人 (81.5%) で同様の形状が確認された。被験者 3 はタスク時間長が長くなるにつれて作業速度が線形に低下しており、すべての非線形モデルの MAE が線形モデルより大きかった。同様に直線的な低下が 3 人 (11.1%) の被験者で確認された。被験者 10 のみではあるが、タスク時間長が長くなるにつれて作業速度が高くなる場合も見られた。

被験者本人のデータのみから各被験者の作業速度を回帰した際のモデルごとの MAE を表 5.4 に示す。表の最良は各モデルについて、もっとも MAE が小さかった被験者の数を表す。学習曲線モデルが最良だった被験者が 12 名 (44.4%) ともっとも多く、非線形モデルが最良だった被験者が 24 名 (88.9%) に対して、線形モデルが最良だった被験者は 3 名 (11.1%) だった。また、学習曲線モデルについて 3 名の被験者で値が収束せず、MAE が算出できなかった。モデルごとの MAE の平均値に着目すると学習曲線がもっとも小さく、線形モデルがもっとも大きい。線形モデルと他のモデルの MAE について Dunnett 法による検定を行った結果、累乗曲線、双曲線関数、学習曲線が有意に小さかった。

被験者ごとの作業速度に着目した場合においても、多くの被験者でタスク時間長が長くなるにつれて作業速度が下に凸の曲線状に低下しており、累乗曲線、双曲線関数、学習曲線モデルの MAE が線形モデルよりも有意に小さい。一方で、一部の被験者においてタスク時間長が長くなるにつれて直線的に低下する場合や、タスク時間長と作業速度に正の相関が見られる場合があり、個人差が確認された。過去の複数の研究においてもゲーミフィケーションを適用したタスクの作業効率や意欲が低下した被験者が確認されている [8,11]。今後、作業者の選好や性格など個人差の原因と考えられる性質がタスク時間長と作業効率、作業意欲の関係に与える影響を調査することは、本研究の発展として重要である。

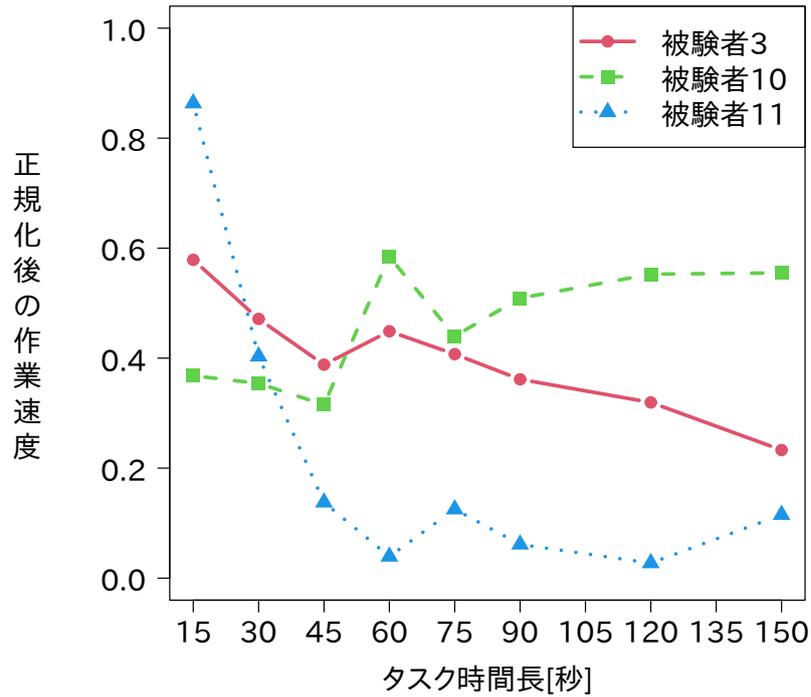


図 5.3 被験者ごとの作業速度の比較

表 5.4 作業速度の被験者ごとの回帰における MAE

	最良	平均	分散	p 値
線形	3	0.148	0.026	-
累乗曲線	5	0.124	0.028	0.007
指数曲線	2	0.131	0.028	0.079
双曲線関数	5	0.123	0.031	0.014
学習曲線	12	0.121	0.030	0.002

5.4 タスクの成否による作業意欲の差

本実験における作業意欲は、タスク終了後のアンケートによる事後評価によって計測された。そのため、タスクを時間内に完了できたかがアンケートの結果に影響している可能性がある。そこで本実験で得られたアンケートのデータを達成タスクと未達成タスクに分割し、比較する。表 5.1 に示したとおり、タスク時間長が長くなるにつれて未達成タスク

の割合が増加していることから、分割後のグラフが横ばいに近い形状の場合、タスク時間長が作業意欲に影響を与えておらず、タスクの達成率によって図 5.2 が右肩下がりに形成されたといえる。また、分割後のグラフのそれぞれに対して 5.2 節と同様に回帰を行う。達成タスクにおける複数のモデルの回帰結果に対して、達成タスクの全データとの MAE を算出する。未達成タスクでも同様に未達成タスクの全データとの MAE を算出し、その値を比較することでタスク時間長と作業意欲の関係が曲線的であるか再度検証する。

達成タスクと未達成タスクに分割したアンケート結果を図 5.4 に示す。達成タスク、未達成タスクともに、タスク時間長の増加に対してアンケートのグラフが右肩下がりになっていることがわかる。このことより、タスクの達成・未達成にかかわらずタスク時間長が作業意欲に影響を与えていることがいえる。またグラフの概形より、達成タスクのアンケートはやや曲線状であり、未達成タスクのアンケートは直線状であることがわかる。

表 5.5 に達成タスク、表 5.6 に未達成タスクにおける回帰モデルごとのパラメータの収束値と MAE を示す。達成タスクでは指数曲線モデルの MAE が 0.242 ともっとも小さく、双曲線関数モデルが 0.263 ともっとも大きい。線形モデルの MAE は 0.248 であり、指数曲線モデルや学習曲線モデルと比較して大きい値となった。一方で未達成タスクでは、線形モデルの MAE が 0.227 と最も小さく、タスク時間長との関係が直線的であるといえる。

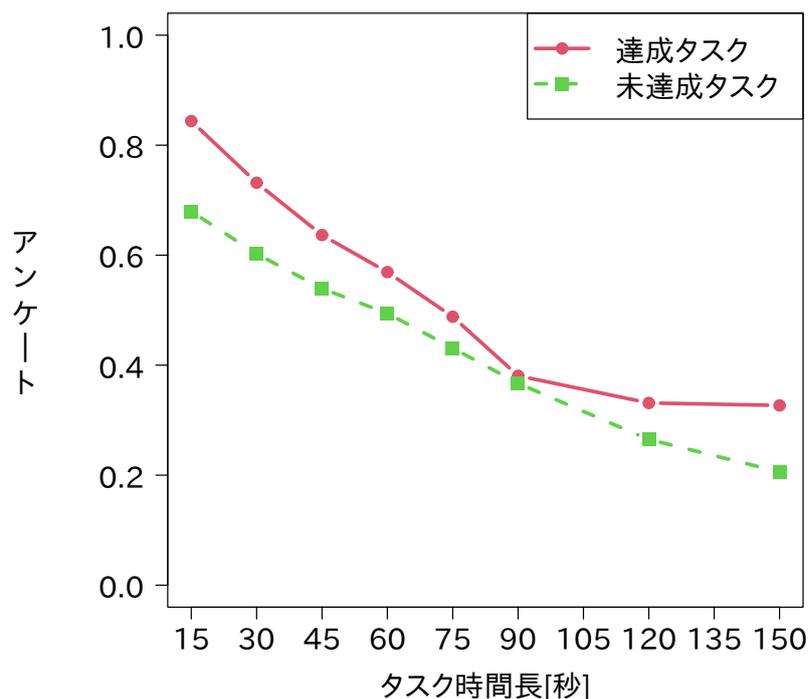


図 5.4 達成タスクと未達成タスクのアンケート

表 5.5 達成タスクのアンケートの回帰結果と MAE

回帰モデル		パラメータ			MAE	
		初期値	収束値			
線形	$y = ax + b$	a	0.1	-0.004	0.248	
		b	0.1	0.830		
非線形	累乗曲線 $y = ax^b$	a	0.01	2.668	0.248	
		b	0.1	-0.402		
	指数曲線 $y = ab^x$	a	0.1	0.942	0.242	
		b	1.0	0.992		
	学習曲線 $y = a + be^{-kx}$	双曲線関数 $y = \frac{ax}{b+x}$	a	0.1	0.429	0.263
			b	0.01	-7.731	
a			0.01	0.211	0.243	
b	0.1	0.802				
		k	0.01	0.015		

表 5.6 未達成タスクのアンケートの回帰結果と MAE

回帰モデル		パラメータ			MAE
			初期値	収束値	
線形	$y = ax + b$	a	0.1	-0.004	0.227
		b	0.1	0.708	
非線形	累乗曲線 $y = ax^b$	a	0.01	2.126	0.246
		b	0.1	-0.391	
	指数曲線 $y = ab^x$	a	0.1	0.785	0.230
		b	1.0	0.992	
	双曲線関数 $y = \frac{ax}{b+x}$	a	0.1	0.361	0.264
		b	0.01	-7.452	
	学習曲線 $y = a + be^{-kx}$	a	0.01	0.298	0.228
		b	0.01	1.053	
k		0.01	0.005		

6. おわりに

本研究ではゲーミフィケーションにおけるタスク時間長が作業意欲・効率に与える影響を被験者実験によって調査した。実験の結果、タスク時間長が長くなるにつれて作業効率・意欲のいずれも低下することが確認された。この結果はゲーミフィケーションを用いる際に、作業を分割してタスク時間長を短くすることで作業効率と意欲を高められることを示している。また、タスク時間長の影響について、作業意欲が直線的であることに対して作業効率が曲線的であることも確認された。このことより、タスク時間長を短くしたとき、作業意欲は単純な線形に向上する一方で、作業効率はほぼ上昇傾向のない区間と急激に上昇する区間が存在することがいえる。タスク時間長を短くすることで作業効率の向上を図る場合、元のタスク時間長が長いと大幅にタスク時間長を短くする必要があり、タスク時間長をわずかに短くした程度では作業効率が急激に向上する区間に至らず、その効果が期待できない可能性がある。したがってゲーミフィケーションにおいて特に作業効率に対する支援を重視する場合は、タスク時間長が作業効率に大きく影響を及ぼす区間であるか留意してタスク設定をする必要がある。

本研究の実験は15秒から150秒の間に1桁同士の四則演算を行う単純なタスクを用いているが、ゲーミフィケーションでは長期間に渡る作業や思考を伴う作業を支援する場合もあり、タスク時間長の規模や支援対象となる作業によって作業意欲や作業効率の向上に違いがみられる可能性が考えられる。ゲーミフィケーションを適用する作業や、実験対象となるタスク時間長の範囲を複数組み合わせ、それぞれにタスク時間長と作業意欲・効率の関係を調査することで、本研究の成果が応用可能な範囲を知見として得ることができる。

作業効率に対する実験結果から、ゲーミフィケーションの設計において、長時間を要する少数のタスク（例えば5分のタスク1つ）を課すよりも、それを分割した複数のタスク（1分のタスクを5つ）を課すことで作業全体の効率が向上する可能性が示唆された。本研究ではタスクごとに作業量が異なる実験をしており、同じ作業量のタスクを分割した場

合の作業意欲と作業効率への影響は明らかではない。総量の等しい、異なる分割数のタスクに対する作業意欲・効率を明らかにすることは、本研究の成果を応用した研究として興味深い。

目標設定による達成感のような心理的報酬がゲーミフィケーションの効果に影響しているという本研究の示唆は、作業者の能力や好みによって娯楽要素の効果が大きく異なることの説明として有用な可能性がある。複数の娯楽要素に対する好みは作業者ごとに異なることに加え、各娯楽要素の設定において報酬の獲得に必要な能力に個人差があるため、作業効率や作業意欲に対する効果が異なると考えられる。今後、タスク時間長に加えて、作業者の能力や娯楽要素・作業への好みと熟練度を測定し、ゲーミフィケーションの効果にどのような影響を与えているか分析することは、興味深い発展の1つである。

人が制限時間を持つタスクを課せられた際、作業への慣れや疲れ、集中力の持続などの面から、タスクの序盤、中盤、終盤で作業効率が変わることが考えられる。また、タスク中で一度作業ミスが発生させた場合、その以後で作業の速度や精度に影響を及ぼすことが考えられる。しかし本研究の実験で使用した GUI プログラムでは、タスクに要した時間と計算問題の正解数を用いて作業速度を計算しているため、1つのタスク中における作業速度・精度の推移を測定することができない。数十秒から数分にわたるタスクにおいて、タスク内の作業1つ1つに要した時間を記録しておくことで、時間と作業効率の関係をさらに細かく分析できる可能性が望まれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご助力をいただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

指導教員の上野秀剛准教授には、研究に関する議論や論文執筆、資料作成などさまざまな面で手厚いご指導をいただきました。3年間の充実した研究活動を経験できたのは上野先生のお力添えがあってこそのものでした。

副査の岡村真吾准教授には、中間発表や論文査読などで指摘をいただき、本研究をよりよいものにすることができました。

研究力向上セミナーの担当教員である山口賢一教授、松村寿枝教授をはじめ、奈良高専情報工学科の教員のみなさまには、研究の基礎となる情報工学の知識、発表についてのノウハウ、研究内容への指摘など、多くのことを学ばせていただきました。

27名の奈良高専の学生の皆様には、長時間にわたる単調な被験者実験に参加いただきました。皆様のご協力があってこそ、この研究を進めることができました。

奈良高専情報工学科ならびに専攻科情報システムコースの先輩・後輩の皆様には、研究活動における相談やアドバイスをいただきました。特に上野研究室のメンバーの皆様とは居心地のいい研究室を作り上げ、充実した研究生生活を送ることができました。

本科の5年間を共に過ごした情報工学科31期生の皆様、加えて2年間を共に過ごした情報システムコースの同級生の皆様とは、学業や研究活動など様々な面で切磋琢磨しあうことができました。皆様と出会えたことで、充実した高専生活を送ることができました。

いつも心の支えとなってくださった声優の青山なぎさ様には、日々を生き抜くための活力をいただきました。あなたさまがいてくれたからこそ、何事にも挑戦するモチベーションを得ることができました。

研究活動に携わった皆様に心より厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] G. Ainslie, *Breakdown of Will*. Cambridge University Press, 2001.
- [2] 栗原 一貴, “Toolification of games : 既存ゲームの余剰自由度の中で非ゲーム的目的を達成するゲーミフィケーション周辺概念の提案と検討”, 情報処理学会論文誌, vol. 58, no. 4, pp. 919–931, 2017.
- [3] M. S. El-Nasr, L. Andres, T. Lavender, N. Funk, N. Jahangiri, and M. Sun, “Igniteplay: Encouraging and sustaining healthy living through social games,” in *2011 IEEE International Games Innovation Conference (IGIC)*. IEEE, 2011, pp. 23–25.
- [4] 倉本 到, 柏木 一将, 植村 友美, 渋谷 雄, 辻野 嘉宏, “Week-end battle : エンタテインメント性の作業環境への提供により作業意欲を維持向上させるシステム”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol. 8, no. 3, pp. 331–342, 2006.
- [5] 倉本 到, 片山 拓馬, 渋谷 雄, 辻野 嘉宏, “懐優館 : 作業意欲を持続的に維持向上させる eelf に基づく主観的比較型エンタテインメントシステム”, 情報処理学会論文誌, vol. 50, no. 12, pp. 2807–2818, 2009.
- [6] 狩野 翔, 福島 拓, 吉野 孝, “用例評価のモチベーション維持支援システム「用例の森」の開発と評価”, 情報処理学会論文誌, vol. 53, no. 1, pp. 138–148, 2012.
- [7] M. Denden, A. Tlili, F. Essalmi, and M. Jemni, “Educational gamification based on personality,” in *2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. IEEE, 2017, pp. 1399–1405.
- [8] 一ノ瀬 智浩, 上野 秀剛, “ゲーミフィケーションを構成する要素の違いと作業効率の評価”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol. 18, no. 2, pp. 65–76, 2016.
- [9] 長尾 一洋, 清永 健一, 「仕事のゲーム化」でやる気モードに変える 実務教育出版, 2013.

- [10] 真壁 昭夫, 行動経済学見るだけノート 宝島社, 2018.
- [11] J. Högberg, P. Shams, and E. Wästlund, “Gamified in-store mobile marketing: The mixed effect of gamified point-of-purchase advertising,” *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 50.
- [12] H. Oe, T. Takemoto, and M. Ridwan, “Is gamification a magic tool?: Illusion, remedy, and future opportunities in enhancing learning outcomes during and beyond the covid-19,” *Budapest International Research and Critics in Linguistics and Education (BirLE) Journal*, vol. 3, no. 3, pp. 1401–1414, 2020.
- [13] L. Hakulinen, and T. Auvinen, “The effect of gamification on students with different achievement goal orientations,” in *2014 International Conference on Teaching and Learning in Computing and Engineering*. IEEE, 2014, pp. 9–16.
- [14] D. Zhao, J. Playfoot, C. D. Nicola, G. Guarino, M. Bratu, F. D. Salvatore, and G.-M. Muntean, “An innovative multi-layer gamification framework for improved stem learning experience,” *IEEE Access*, vol. 10.
- [15] M. García-Iruela, M. J. Fonseca, R. Hijón-Neira, and T. Chambel, “Gamification and computer science students’ activity,” *IEEE Access*, vol. 8.
- [16] R. N. Landers, M. B. Armstrong, and A. B. Collmus, “How to use game elements to enhance learning: Applications of the theory of gamified learning,” in *Serious Games and Edutainment Applications : Volume II*. Springer International Publishing, 2017, pp. 457–483.
- [17] 上淵 寿, 動機づけ研究の最前線 北大路書房, 2004.
- [18] 根本 啓一, 高橋 正道, 林 直樹, 水谷 美由起, 堀田 竜士, 井上 明人, “ゲーミフィケーションを活用した自発的・持続的行動支援プラットフォームの試作と実践”, 情報処理学会論文誌, vol. 55, no. 6, pp. 1600–1613, 2014.
- [19] D. H. Pink, *Drive: The Surprising Truth About What Motivates Us*. Riverhead Books, 2009.
- [20] 橋本 之克, 世界最前線の研究でわかる!スゴイ!行動経済学 総合法令出版, 2020.
- [21] I. Ayres, *Carrots and Sticks: Unlock the Power of Incentives to Get Things Done*. Bantam Books, 2010.