

ゲームにおける再プレイ欲求損失防止のための
自発的中断を促すシステムデザインに関する研究

東京工科大学大学院

バイオ・情報メディア研究科

メディアサイエンス専攻

本間 翔太

ゲームにおける再プレイ欲求損失防止のための
自発的中断を促すシステムデザインに関する研究

指導教員 渡辺 大地

東京工科大学大学院

バイオ・情報メディア研究科

メディアサイエンス専攻

本間 翔太

論文の要旨

論文題目	ゲームにおける再プレイ欲求損失防止のための 自発的中断を促すシステムデザインに関する研究
執筆者氏名	本間 翔太
指導教員	渡辺 大地
キーワード	ビデオゲーム、ゲームデザイン、自発的中断、認知負荷、再プレイ

[要旨]

本研究ではゲーム中の時間損失体験およびゲームプレイの中断に関する調査から、ユーザの自発的な中断を促す事で再プレイ欲求の損失を防止するシステムを提案し、システムの有用性を示すための評価実験を行った。

本研究は認知負荷理論とフロー理論の関係、フロー理論とゲーム満足度の関係について調査し、Intrinsic 負荷と Extraneous 負荷によって低いフロー状態となり結果的に中断へと繋がり、Germane 負荷によって高いフロー状態へと繋がり結果的に継続へと繋がるという仮説を立てた。その仮説を基に Extraneous 負荷を上昇させる事で中断へと導く手法を提案する。本研究では手法を検証するための実験として、ゲーム中にシステムによる認知負荷の上昇によって中断を促す事が出来るか、分析するための実験を行った。

本研究は実験用ゲームを作成し、2つのゲームモードを用意した。2つのゲームモードは同じ動作をするが主に Extraneous 負荷 (ゲームオブジェクトの見た目) に違いがある。実験結果では、ゲームオブジェクトの見た目を変える事によるゲームバランスの変更では、認知負荷の違いが確認できた。これにより自発的中断へと繋がる認知負荷を操作する方法を実証した。

A b s t r a c t

Title	System for preventing loss of replay desire in games by guiding the user to voluntary leaving from and returning to the game sessions
Author	Shota Homma
Advisor	Taichi Watanabe
Key Words	Digital Games, Game Design, Voluntary Leave, Cognitive Workload, Replay

[summary]

We have conducted a research on the time-loss experience during game play. From the study, we propose system design for preventing loss of replay desire in games by guiding voluntary leave. Experiments have shown the effectiveness of the proposed system. We have conducted a reasearch on the relation between the cognitive-load-theory and the flow theory, and the relation between the flow theory and customer loyalty. We made a hypothesis that the intrinsic load and the extraneous load eventually lead leave by low flow experience and that the germane load eventually continue by high flow experience. We propose a method that the high extraneous load lead leave. We have conducted a experiment to test whether our method can guide the player to leave a game session in their own will by increasing cognitive workload. we made two game mode for the experiments. running of two game modes are the same, but the extraneous load as the appearance of the game object are the difference. The results indicated that adjusting difficulty level by modifications to the appearances of the game objects makes a difference in the cognitive workload. From that results, we demonstrate a method that control the cognitive workload connected to voluntary quit.

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	2
1.2	本研究の概要	5
1.3	論文構成	7
第2章	関連・既存研究	8
2.1	関連研究	9
2.1.1	脳波 (Electroencephalogram:EEG)	9
2.1.2	認知負荷理論 (Cognitive Load Theory:CLT)	10
2.1.3	フロー理論	13
2.1.4	動的難易度調整 (Dynamic Difficult Adjustment:DDA)	16
2.1.5	ゲーム障害 (Internet Gaming Disorder:IGD)	16
2.2	各研究の関係	17
2.2.1	EEG → 認知負荷理論	17
2.2.2	認知負荷理論 → フロー理論	19
2.2.3	フロー理論 → 自発的中断	19
2.2.4	フロー理論 → IGD	20
第3章	本研究の提案	21
3.1	提案手法	22
3.2	実験用ゲーム	24
3.2.1	ゲーム説明	24
3.2.2	フローゾーン	25
3.2.3	動的難易度調整	26
3.2.4	BusyMode	27
3.2.5	FreeMode	28

3.2.6	認知負荷の違い	29
3.3	テストユーザー	29
3.3.1	被験者情報	29
3.3.2	グループ	29
3.3.3	プレイ順番	29
3.4	EEG ヘッドセット	31
第 4 章 評価		33
4.1	着目した脳波	34
4.2	回帰分析	34
4.3	平均	35
4.4	t 検定	35
4.5	考察	37
第 5 章 まとめと今後の展望		38
5.1	まとめ	39
5.2	今後の展望	39
謝辞		41
参考文献		43

目次

1.1	負のゲームプレイサイクル	4
2.1	例:上級者と初心者の認知負荷量の差異	11
2.2	例:ワーキングメモリ上の3タイプの認知負荷	12
2.3	(a)Intrinsic 負荷を操作したりバーシ (b)Extraneous 負荷を操作したりバーシ (水野 陽介. 2016)	13
2.4	例:フローゾーンの構成要素 (Chen.J 2007)	15
2.5	例:プレイヤーの熟練度によるフローゾーンの差異 (Chen.J 2007)	15
2.6	ゲームプレイ毎の theta 波の平均。ゲームプレイ前の脳波と比較し、赤色が増加を、青色が減少を示している。(E.J.He 2008)	17
2.7	ゲームプレイ毎の alpha 波の平均。ゲームプレイ前の脳波と比較し、赤色が増加を、青色が減少を示している。(E.J.He 2008)	18
2.8	ゲームプレイ毎に前回の theta 波と比較した平均差。赤色が増加を、青色が減少を示している。(E.J.He 2008)	18
3.1	例:認知負荷の種類の違いが継続または中断へと影響を与える	22
3.2	例:Extraneous 負荷を増加させる事で中断へと導く	23
3.3	(a) 通常リバーシ (b)Extraneous 負荷の高いリバーシ (Kazuhisa Miwa. 2018)	24
3.4	BusyMode のスクリーンショット	27
3.5	FreeMode のスクリーンショット	28
3.6	例:実験手順	31
4.1	各グループごと各被験者ごとに t 検定を行った結果	36

表 目 次

2.1	脳波帯域	9
3.1	電極の配置	32
4.1	各被験者の Theta 波の回帰係数の平均	34
4.2	各被験者の Theta 波の平均	35
4.3	FM と BM の theta 波を t 検定比較した結果	36

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景

近年、急速なスマートフォンの普及と共にゲーム産業の規模はますます大きくなった。消費者庁 [1] が行った調査によると、48.1% の人が毎日、21.1% の人がほとんど毎日ゲームを遊ぶと回答している。また文部科学省 [2] が行った平成 29 年度全国学力調査の質問項目の一つで、平日に一日辺りどれくらいの時間でテレビゲームを遊ぶかについての質問がある。この質問において平成 20 年度と平成 29 年度を比較したところ、平日 1 日当たりに 1 時間以上ゲームを遊ぶ割合は、小学校では 47.6% から 55.4% に、中学校では 39.6% から 58.6% に増加している。さらに、1 日 4 時間以上ゲームを遊ぶ割合では、小学校では 5.6% から 9.2% に、中学校では 5.1% から 11.2% に増加しており、これらの比率は年々増加している。

ゲーム産業側では、ユーザにゲームをより長くプレイしてもらうために、1 日 1 度ログインする度にボーナスを獲得出来るログインボーナスや、1 日毎にクエスト達成がリセットされるデイリークエストを取り入れる工夫を行っている。近年では「アズールレーン [3]」や「どうぶつの森 ポケットキャンプ [4]」などがこの手法を取り入れている。

運営型ゲームでは、ユーザーがゲーム内コンテンツを消費し尽くす前に新たなコンテンツを用意する事で、ユーザーがゲームを飽きないようにしている。以前では、ゲームをプレイするためのスタミナがある限り遊べるスタミナ制を取り入れたゲームが多く存在しました。スタミナ制のメリットは、プレイ上限を設定することでコンテンツ消費速度が計算出来る事にある。近年では無限に遊べる代わりにデイリーミッション以外の報酬を少なくする等の運営スタイルが主流になってきている [5]。

ゲームに熱中する事で時間を忘れてゲームを遊ぶ事について調査した研究がある。RTA Wood ら [6] がゲーマーを対象に 280 人に行ったゲームプレイ中の時間喪失体験に関するウェブアンケートの結果によると、時間損失の印象に対して、良いが 24.3%、悪いが 29.3%、良いもしくは悪い

が38.2%と報告され、悪い感想が良い感想を上回っている。また、参加者の半分の49.6%はプレイ時間を制限する戦略を採用し、一般的な戦略として時計を視野に入れる、もしくはアラームを設定している事が報告された。この結果から、一部のゲームユーザーにとって、過度に長時間のゲームプレイをなんとかしたいという要望がある事が分かる。

一般的なゲームプレイは健康的かつ有益な活動であり、ゲームプレイによって一定期間認知能力が向上するという実験結果 [7] がある。しかし少数のプレイヤーによる過度なゲームプレイでは様々な負の影響が報告 [8] されており、プレイヤーの健康と生活の質に重大な問題をもたらしている。過度なゲームプレイに対しては Internet Gaming Disorder (IGD) と名付けられ、調査が進められており、近年のレビュー [9] によれば 1.2%-8.5% の有病率を報告している。

IGD は、2013 年にアメリカ精神医学会 (APA) が精神障害診断・統計マニュアル (DSM) の最新版 (第 5 版) において判断基準を「今後の研究のための病態」という項目として新たに設けている。加えて、世界保健機関 (WHO)[10] は、第 11 回国際疾病分類 (ICD-11) において「Gaming disorder」を登録した。樋口 [11] によれば、APA や WHO により正式に疾病と認定された事で、IGD と判定される過度なゲームプレイへの対策がより一層必要になり、今後さらに調査および研究が進められる可能性がある。

Bargeron ら [8] の研究によると、インターネットゲーム障害 (IGD) を診断するための最も信頼性のある基準の 1 つは、ユーザーが負の感情から逃れるためにゲームをプレイしているかどうかである。図 1.1 では、負の感情から逃れるためのゲームプレイによって負のプレイサイクルが発生する事を示している。

1. 負の感情が高い
2. 負の感情から逃避するためにゲームをプレイする
3. 過度なゲームプレイによって負の感情が悪化する

4. 1 に戻る

つまり彼らの研究は、IGD が負の感情のサイクルによって維持され、強化される事を示唆している。

この事から、一部のゲームユーザーにとってゲームプレイは有害な物になる可能性がある。



図 1.1 負のゲームプレイサイクル

一方、ユーザーが自身の負の感情および依存状態を自覚した場合、ユーザーがゲームを敬遠する可能性がある。一般論として、ゲーム産業としてもユーザーにはゲームを楽しんで欲しいと考えており、制作したゲームを通してユーザーに対して悪影響を与えたいわけではない。先人達の努力によってゲームユーザー人口は増加し、それに伴いゲームの社会的影響は大きなものとなった。現在、ゲームは家庭用ゲーム機に限らず携帯電話でも気軽に遊べるようになり、より幅広い人が遊ぶようになった。そのため、子供や IGD 患者など自制が難しいユーザーが社会生活に支障をきたすまでゲームを遊ぶような状況に対する配慮が必要になってきている。

ゲーム障害の治療では、単にゲームを取り上げる事で成功する事は殆どない。本人が問題を理解し、自らゲーム時間を減らすように決断させ、それに向けて努力するようになるのが望ましい。そのため、本研究では自らゲームを中断するように導く手法を提案する。

1.2 本研究の概要

遠藤ら [12] の研究では、プレイヤーがゲームを途中で辞める理由についてのウェブアンケート調査を行った。この調査の結果では難易度の上昇による離脱が高い比率を示した。大塚ら [13] の研究では、ユーザが自発的にゲームを中断したのちに再びゲームをプレイしてもらう事を目的として、キャラクターステータスを増減する手法を提案している。この手法では、遠藤ら [12] の研究結果を基に、開始時から設定時間経過時まではプレイヤーステータスがランダムに上昇し、設定時間経過後から敵ステータスが上昇するようになっている。彼らは提案手法を実験するためにアクションパズルゲームを開発し、一般ユーザおよび小学生を被験者にした評価実験を行った。一般ユーザを対象とした実験では、App Store と Google Play でゲームを配信し、ゲーム中断のデータを取得した。その結果ではプレイ回数 762 回の内に 13 回中断システムが発動し、13 回全てでシステムの設定した制限時間内にゲームを中断した。小学生を対象とした実験では、10 名に対面でゲームを遊んでもらい、設定した時間内にゲームを自発的に中断するかどうかの実験を行った。その結果ではプレイ回数 17 回の内に 17 回中断システムが発動し、レベル上げを熱心に行うプレイスタイルの時を除き、14 回でシステムの設定した制限時間内にゲームを中断した。

実験では 1 時間近く遊ぶユーザもいたため、ゲームそのものは継続して遊べるものであることがわかった。それにもかかわらず、ユーザはシステム発動後にゲームを中断している。また、プレイログからシステム発動後に中断した後も、継続してゲームをプレイしている事も分かった。この事から、適度な時間が経過した後にゲームプレイを中断し、一定の時間が経過した後にプレイするのを繰り返す事は可能である事が分かった。

大塚らの手法の問題点として、大塚らの手法では、ステータスを増減する事によって後述するフロー理論におけるチャレンジ要素を変化させており、フローゾーンから外れた時にゲームへの印象が悪くなる可能性がある。それに対して、本研究はフロー理論のチャレンジ要素を変化せず

にフローゾーンから外す方法を検討した。

本研究は認知負荷理論とフロー理論の関係、フロー理論とゲーム満足度の関係について調査し、認知負荷を増加する事で自発的中断を促すという仮説を立てた。そのため本研究の提案手法では、認知負荷理論およびフロー理論を主として用いた。

フロー理論 [14] は、人が何かに夢中になる仕組みに関する理論である。フロー理論では縦軸を挑戦 (Challenge)、横軸を能力 (Abilities) として 2 軸で説明する。縦軸であるゲームの挑戦レベルが高くなるに従ってプレイヤーは不安 (Anxiety) を感じやすくなる、一方横軸であるプレイヤーの能力レベルが高くなるに従ってプレイヤーは退屈 (Boredom) を感じやすくなる。ゲームの挑戦レベルとプレイヤーの能力レベルが適切なレベルになっている範囲をフローゾーンとしている。このように能力の向上に応じて挑戦レベルを高くしていく考え方がフロー理論である。フロー状態のプレイヤーには、時間感覚の変化や自意識の消失などの要素があり、とにかく夢中になっていると言える。Hull DC ら [15] の研究によれば、フロー状態と IGD には関係性があり、過度なゲームプレイの改善にはプレイヤーをフローゾーンから離脱するように導く必要がある。

認知負荷理論 [16] は、人が情報を処理する際の仕組みについての理論である。認知負荷理論における認知負荷の種類には、Germane/Intrinsic/Extraneous の 3 つがある。

- Intrinsic 負荷は情報の本質的な複雑さに関連する。
- Extraneous 負荷は教材のデザインに関連する。
- Germane 負荷は知識の吸収に関連する。

CC Chang ら [17] の研究では、フロー体験と Germane 負荷にはポジティブな相関 ($r=0.202$, $p<0.05$) があり、フロー体験と Intrinsic 負荷 ($r=-0.239$, $p<0.05$)、フロー体験と Extraneous 負荷 ($r=-0.337$, $p<0.01$) にはネガティブな相関があった。従って、Extraneous 負荷はプレイヤーをフローゾーンから離脱するように導く事が出来る可能性がある。そこで本研究では、ゲーム中の

脳波を計測する事で認知負荷量を推定し、高い Extraneous 負荷をプレイヤーに与える事で自発的中断を促す手法を提案する。

本研究は実験のためにゲームを作成し、2つのゲームモードを用意した。2つのゲームモードは同じ動作をするが情報量に違いがある。それらの情報は、主に前述した Extraneous 負荷に違いがある。本研究では自発的中断を促す目的で2つのゲームモードの認知負荷の差を検証した。

本研究は、認知負荷理論とフロー理論の関係についての調査を基に、過度なゲームプレイへの対応策として自発的中断手法を提案する。CC Chang ら [17] によれば、現在において認知負荷理論における3種類の認知負荷とフローの関係性について調査した研究は数少ない。フロー理論は、ゲーム体験に関する研究において数多く引用されてきた理論である。本研究は CC Chang ら [17] の研究結果を基に認知負荷とフロー理論をゲームデザインへと応用した研究であり、類似する研究は数少ない。そのため本研究の成果は、それらの今後の研究をより良い結果にするための助けになると考える。

1.3 論文構成

第1章では、本研究の背景および意義について触れた後、研究の概要を説明する。第2章では、本研究の理論と関係がある各分野の関連研究を紹介した後、本研究の目的と関係がある既存研究を紹介する。次に、紹介した研究についての関係についても言及する。第3章では、第2章で紹介した研究に基いて、本研究の提案手法を述べ、実験概要を説明する。第4章では、分析の際に着目した脳波とその理由について述べた後、実験の分析結果を示す。第5章では、まとめと今後の展望を述べる。

本論文において、 $(p<0.05)$ および $(p<0.01)$ は仮説検定における有意水準を示すものである。 $(p=数値)$ は、仮説検定における有意確率を示すものである。 $(r=数値)$ は、相関分析における相関係数を示すものである。

第 2 章

関連・既存研究

2.1 関連研究

2.1.1 脳波 (Electroencephalogram:EEG)

生体情報をゲーム開発へ応用した例は様々なものがある。Ambinder ら [18] は「Left 4 Dead[19]」において、ゲームの開発中に心拍数、皮膚コンダクタンス、表情、視点、EEG、瞬きなどの生体情報からプレイヤーの緊張度を分析した。Lobel ら [20] は「Nevermind[21]」において、ゲーム中のプレイヤーの心拍数を計測してリアルタイムでゲーム中の演出へ反映するシステムを作成した。

多くの EEG 機器では、電極を人間の頭皮に装着し、電極から取得した脳波を高速フーリエ変換 (FFT) によって各周波数帯域のパワースペクトル密度 (PSD) へ変換している。表 2.1 は各脳波帯域の名称と周波数帯域を示している。従って、EEG 機器では脳波を、Delta、Theta、Alpha、Beta、Gamma の 5 種類の脳波帯域へと変換および分類し、それぞれの帯域のパワースペクトル密度をデータとしてユーザーへ提供する。

EEG を使用したゲーム関連研究の例として、S. M. Anwar ら [22] の研究では、ゲーム中のプレイヤーの EEG データを学習データとした判定機を作成し、89.89% の精度でプレイヤーのスキルレベルを推定した。

これらの例から、EEG をゲームへ応用する事に一定の価値がある事が分かる。

表 2.1 脳波帯域

Delta	1-4Hz
Theta	4-8Hz
Alpha	7.5-13Hz
Beta	13-30Hz
Gamma	30-44Hz

2.1.2 認知負荷理論 (Cognitive Load Theory:CLT)

Sweller, J ら [16] の認知負荷理論 (Cognitive Load Theory) によると、人が情報の処理を行う際、ワーキングメモリと呼ばれる短期記憶に情報を一時的に保持する。人は、受け取った情報を、音声や聴覚情報を扱うための「音韻ループ」、視覚情報を扱うための「視空間スケッチパッド」の2つの異なるシステムで処理する。この2つのシステムは中央実行系と呼ばれるシステムによって制御する。また、学習や訓練などの情報は脳内の長期記憶に格納し、その際にこれらの情報はスキーマという形で長期記憶内に構築する。もし長期記憶に格納された関連知識スキーマを参照可能である場合、最小限の意識的努力により最小ワーキングメモリ消費で情報を自動処理する事が出来る。

ワーキングメモリの最大容量には個人差が有り、年齢 [23]、遺伝 [23]、トレーニング [23][7]、依存症 [23] など様々な要素に影響を受ける。ワーキングメモリの最大容量を測定するテストは幾つかあり、それらのテストの結果は長期記憶の影響を受けない。従って、繰り返しそれらのテストを受けて学習したとしても結果が大きく変わることはない。

訓練や学習によって関連スキーマが長期記憶内に構築されていく事で、ワーキングメモリの消費量は減少していく。例えば、図 2.1 はチェスの上級者と初心者が対戦した際のワーキングメモリの消費量の違いを示している。上級者では消費ワーキングメモリがあまり多くないのに対し、初心者では消費ワーキングメモリが多い。この現象は、上級者は過去に数多くの対戦をする事で、駒の動かし方についての関連知識スキーマを長期記憶内に構築しているからである。一方、初心者は過去の対戦回数が少なく、駒の動かし方についての関連知識スキーマが長期記憶内にあまり構築されていない。これらの例から、作業やゲームのパフォーマンスがワーキングメモリの最大容量のみによって決まるわけではなく、訓練や学習による上達によって決まる事が分かる。



図 2.1 例:上級者と初心者の認知負荷量の差異

認知負荷理論における認知負荷の種類には、以下の3つがある。

- Intrinsic 負荷は情報の本質的な複雑さに関連する。
- Extraneous 負荷は教材のデザインに関連する。
- Germane 負荷は知識の吸収に関連する。

図 2.2 はワーキングメモリ上に、Intrinsic、Extraneous、Germane の3種類の認知負荷が記憶する事を示している。3種類の認知負荷はそれぞれワーキングメモリ上に一時的に記憶し、それぞれ処理される。3種類の認知負荷の合計は、必ずワーキングメモリの許容量内に収まるように取捨選択される。

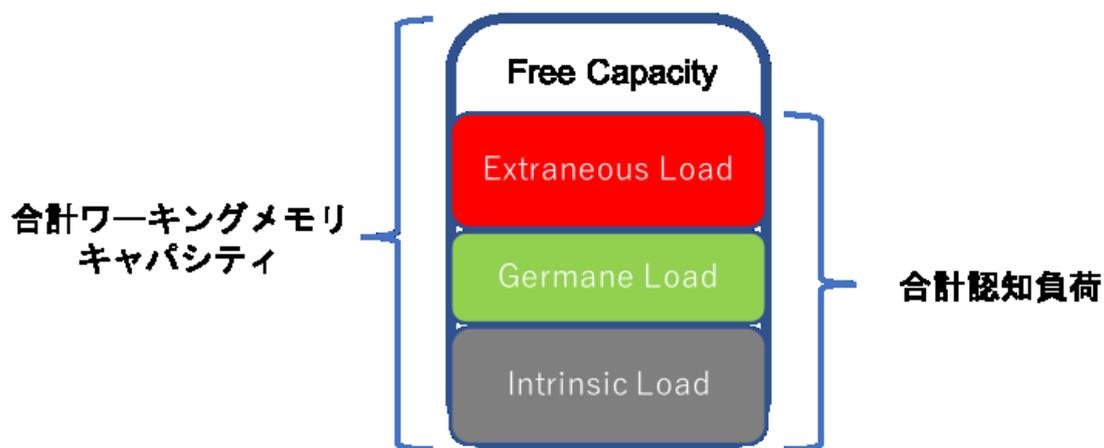


図 2.2 例:ワーキングメモリ上の 3 タイプの認知負荷

認知負荷の関連研究例として、水野 [24] と三輪 [25] らはリバーシを実験に使用し、3 種類の認知負荷に関わる要素について検証した。

図 2.3a はヘルプシステムによって最善手のマスを赤くする事で被験者に最善手を教えた盤面例である。図 2.3b はリバーシの盤面表示を「白い石」「黒い石」から「白」「白」に変更した盤面例である。

実験では、Intrinsic 負荷は次の最善手を示すヘルプ機能によって操作し、Extraneous 負荷は「白い石」「黒い石」という盤面表示から「白」「白」という盤面表示の変更によって操作し、Germane 負荷は「この目的は、どうしたら相手に勝てるかの「作戦」を発見する事である。後でアンケートを行う」という教示を被験者へ行う事で定石の発見や相手の戦略の把握などのメタ認知活動を促す事で操作した。

Chen ら [26] の実験ではリアルタイムストラテジーゲームのゲームスコアが上がるのに沿って認知負荷が低下した。彼らの考察では、ゲームを遊んでいくうちにゲームプレイスキルが発達し、ゲームの情報を処理する能力が向上する事で認知負荷が軽減されたのではないかと述べている。

國政ら [7] は、作業パフォーマンスを作業記録と瞳孔径や心拍数などの生理記録の両方向からファジー推論で推定するシステムの提案と実験を行った。この実験では、4 桁暗算タスク時におい

て、被験者 A、B では、それぞれパフォーマンスと認知負荷のどちらかが主として変動する傾向が見られた。

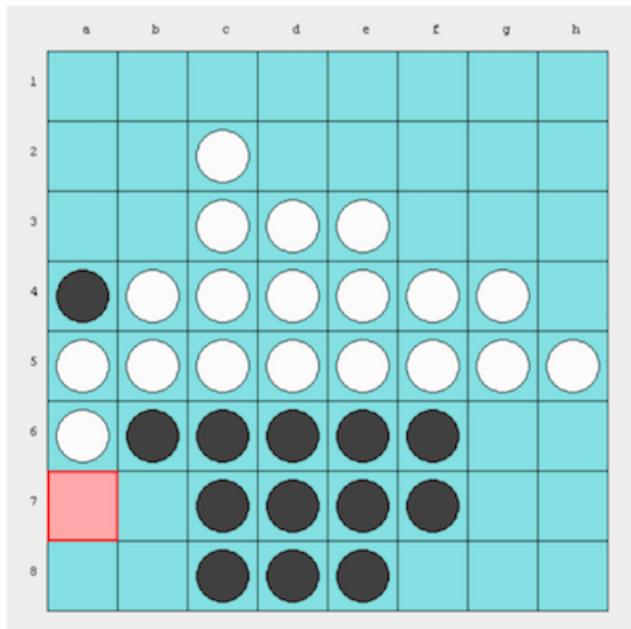


図1 最善手ヘルプが支援された盤面例

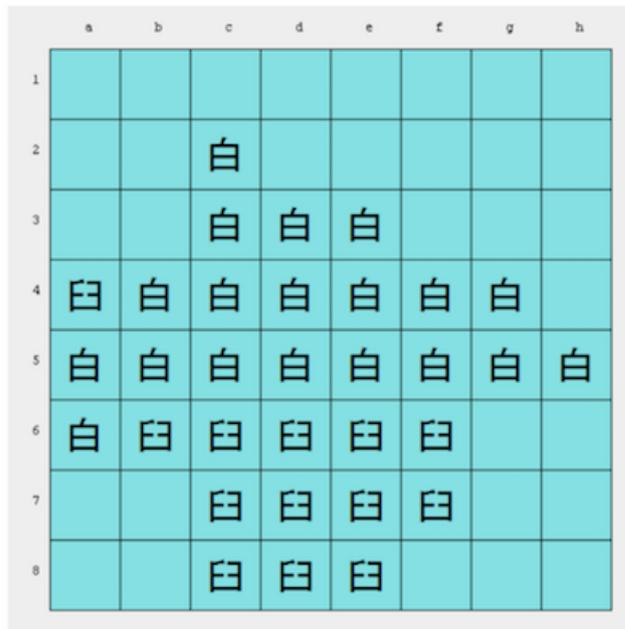


図2 白白盤面の例

図 2.3 (a)Intrinsic 負荷を操作したリバーシ (b)Extraneous 負荷を操作したリバーシ (水野 陽介, 2016)

2.1.3 フロー理論

Chen.J[27] は、Csikszentmihalyi,M[14] の提唱したフロー理論をゲームに応用する事の可能性について述べている。プレイヤーの能力レベルに応じた挑戦レベルになっている事でプレイヤーの能力レベルは上達し、さらに上達した能力レベルに見合った挑戦レベルになっている事で、流れに乗るようにゲームが上手くなり楽しいと感じる。この状態の事を「フロー状態」と呼ぶ。

図 2.3 では、縦軸を挑戦、横軸を能力とした 2 軸でフロー理論を説明している。縦軸であるゲームの挑戦レベルが高くなるに従ってプレイヤーは不安を感じやすくなる。一方横軸であるプレイヤーの能力レベルが高くなるに従ってプレイヤーは退屈を感じやすくなる。ゲームの挑戦レベルとプレイヤーの能力レベルが適切なレベルになっている範囲をフローゾーンとしている。フロー

ゾーン内にプレイヤーを維持している場合、プレイヤーはフロー状態となる。

フローゾーンには以下の 8 つの要素がある。

- スキルを必要とする挑戦
- 意識と行動の融合
- 明確な目的
- 直接的なフィードバック
- タスクへの高度な集中
- 状況や活動を自分で制御している感覚
- 自己意識の低下
- 時間感覚のゆがみ

それぞれのプレイヤーにはそれぞれの能力レベルがあり、それぞれが求める挑戦レベルがある。

図 2.4 では、カジュアルゲーマーとコアゲーマーが求めるゲームの難易度の違いを図解にしたものである。例えば、カジュアルゲーマーが初めて 3D ゲームを遊ぶ時、簡単なステージであっても難しさを感じる。一方コアゲーマーにとっては簡単なステージでは簡単である。

Figure 1. Flow Zone factors.

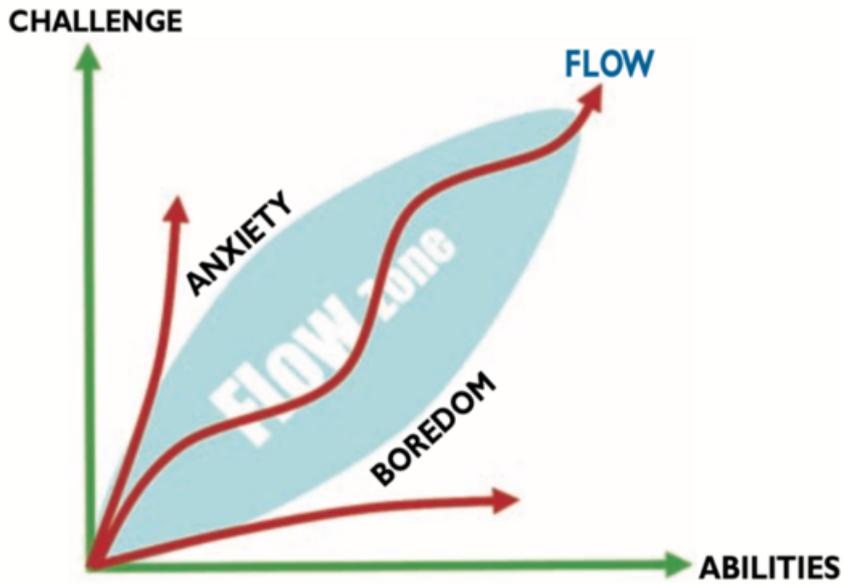


図 2.4 例:フローゾーンの構成要素 (Chen.J 2007)

Figure 2. Different players have different Flow Zones.

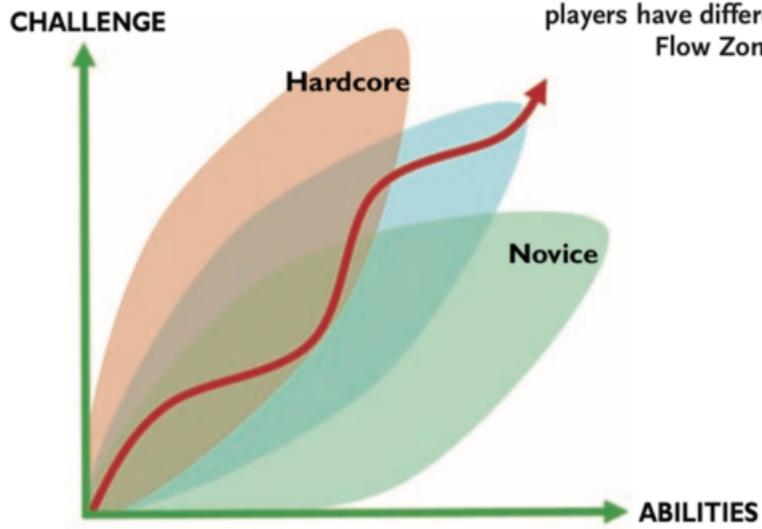


図 2.5 例:プレイヤーの熟練度によるフローゾーンの差異 (Chen.J 2007)

2.1.4 動的難易度調整 (Dynamic Difficult Adjustment:DDA)

従来の多くのゲームはゲーム製作中にゲームデザイナーが難易度を調整し、ゲーム開始時やゲームプレイ中にプレイヤーが難易度を選択出来るようになっている。動的難易度調整 (Dynamic Difficult Adjustment:DDA) では、ゲーム中にプレイヤーそれぞれの能力に合わせた難易度へと変更・調整する仕組みになっている。そのため幅広いプレイヤーのスキルに応じた難易度に合わせる事が可能になる。現在までに提案されているいくつかの DDA の手法 [28][29] では、フロー理論を基にして難易度を調整している。

遠藤ら [28] は DDA を参考に、Dynamic Pressure Cycle Control:DPCC というシステムを提案した。テトリスにおいて、落ちてくるブロックの事をテトリミノと呼ぶ。この手法ではテトリミノの積み上がった段数が高くなるに従って、落ちてくるテトリミノが段階的に簡単になっていく。

DDA における共通の注意点として、ゲーム中のプレイヤーに難易度の変更された事を気付かれないといけないというのがある。これは難易度の変更された事で、フロー状態の要素の一つである『状況や活動を自分で制御している感覚』が損なわれる事に繋がるためだと考えられる。

2.1.5 ゲーム障害 (Internet Gaming Disorder:IGD)

一般的なゲームプレイは健康的かつ有益な活動であり、ゲームプレイによって一定期間は認知能力が向上するという実験結果もある [7]。しかし少数のプレイヤーによる過度なゲームプレイでは様々な負の影響が報告されており [8]、プレイヤーの健康と生活の質に重大な問題をもたらす。近年のレビューによれば 1.2%-8.5% の有病率が報告されている [9]。過度なゲームプレイに対しては Internet Gaming Disorder (IGD) と名付けられ、調査が進められている。

IGD は、2013 年にアメリカ精神医学会 (APA) が精神障害診断・統計マニュアル (DSM) の最新版 (第 5 版) において判断基準を「今後の研究のための病態」という項目として新たに設けている。

加えて、世界保健機関 (WHO) は、第 11 回国際疾病分類 (ICD-11) において「Gaming disorder」を登録した [10]。APA や WHO により正式に疾病と認定された事で、IGD と判定される過度なゲームプレイへの対策がより一層必要になり、今後さらに調査および研究が進んでいく可能性がある [11]。

2.2 各研究の関係

2.2.1 EEG → 認知負荷理論

認知負荷の計測手法には瞳孔経 [30][31]、質問紙 [26][25]、EEG[32] などがある。本研究では EEG による認知負荷の計測に着目した。

C.Sheikholeslami ら [33] はアクションゲームを被験者に遊んでもらい EEG によって脳波を計測する実験を行った。実験では、最初に 3 分間脳波を測定することでベースラインを測定し、その後 10 分間のゲームプレイと 3 分間の脳波計測を交互に 5 回行った。実験の結果、図 2.6 に示すように回数を重ねていく毎に前頭部の theta 波がベースラインより上昇し、図 2.7 に示すように alpha 波がベースラインに向かって上昇するという結果となった。

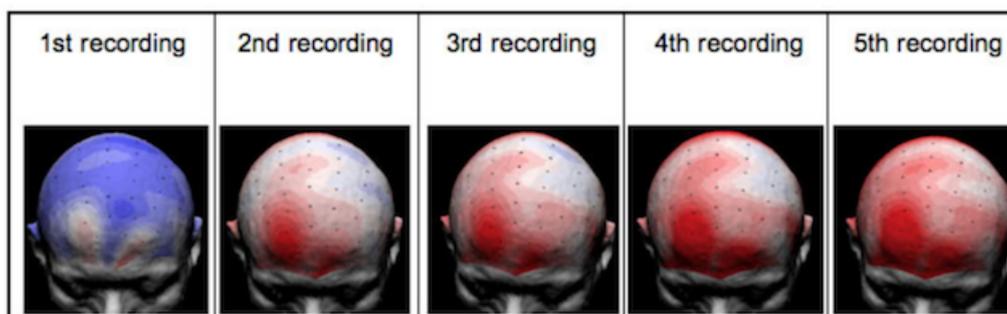


図 2.6 ゲームプレイ毎の theta 波の平均。ゲームプレイ前の脳波と比較し、赤色が増加を、青色が減少を示している。(E.J.He 2008)

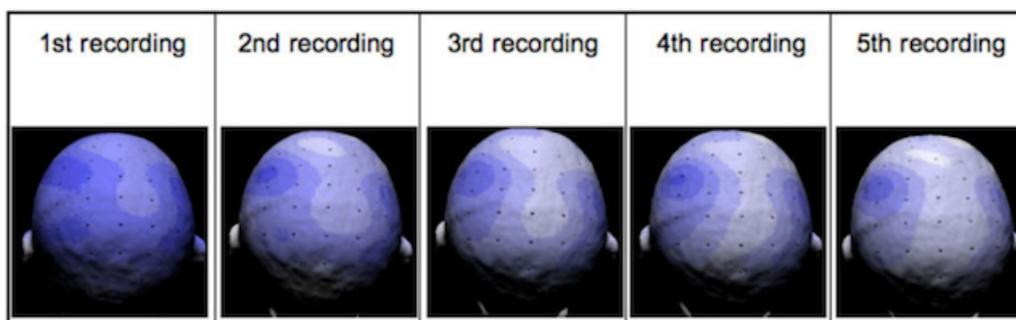


図 2.7 ゲームプレイ毎の alpha 波の平均。ゲームプレイ前の脳波と比較し、赤色が増加を、青色が減少を示している。(E.J.He 2008)

E.J.He ら [34] はアクションゲームと戦略ゲームを被験者に遊んでもらい EEG によって脳波を計測する実験を行った。実験では、最初に 3 分間脳波を測定することでベースラインを測定し、その後 10 分間のゲームプレイと 3 分間の脳波計測を交互に 5 回行った。実験の結果、図 2.8 に示すように回数を重ねていく毎に、アクションゲームと比べて戦略ゲームの方が前頭部の theta 波が増加し頭頂部の theta 波が減少した。坂井ら [35] によれば、ワーキングメモリの機能を主に担当しているのは前頭連合野である。そのため、アクションゲームに比べて戦略ゲームの方が前頭部の theta 波の頻度が高かったのは、認知負荷が増加する事で前頭連合野が活性化した事によるものだと考えられる。

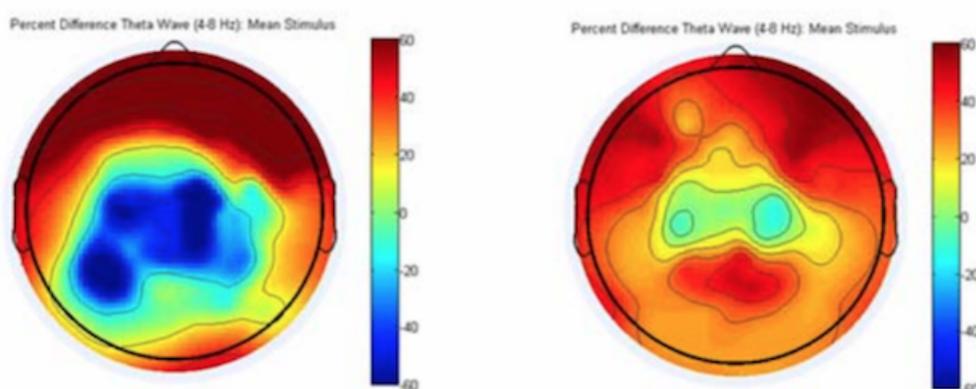


図 2.8 ゲームプレイ毎に前回の theta 波と比較した平均差。赤色が増加を、青色が減少を示している。(E.J.He 2008)

また Berka, C ら [36] の研究では、ワーキングメモリテストと警戒テストを学習データ (Alpha, Theta) とした認知負荷量判定機を作成した。この判定機は音声情報および視覚情報の認知負荷を 85-89% の精度で判定する事が出来る。

このように、theta 波の違いに着目する事で認知負荷を計測する事が出来る。これらの実験結果より、EEG の測定により認知負荷をおおよそ推測する事は可能であると考えられる。

2.2.2 認知負荷理論 → フロー理論

Chang[17] らはウェブページの学習教材とゲームの学習教材における認知負荷とフロー状態の比較を行った。実験では、学習教材を体験した後に Germane/Intrinsic/Extraneous それぞれの認知負荷に関する質問紙とフロー状態を推定する質問紙を被験者に回答してもらった。

実験の結果、フロー状態については、ウェブページの学習教材と比べて、ゲームの学習教材の方がフロー状態が有意 ($p<0.01$) に高かった。認知負荷については、ウェブページの学習教材と比べて、ゲームの学習教材の方が Extraneous 負荷が有意 ($p<0.05$) に低く、Germane 負荷が有意 ($p<0.05$) に高かった。2つの学習教材では Intrinsic 負荷において有意な差が見られなかった。それぞれの認知負荷とフロー状態の相関関係については、フロー状態と Germane 負荷には正の相関 ($r=0.202, p<0.05$) があり、フロー状態と Intrinsic 負荷 ($r=-0.239, p<0.05$)、フロー状態と Extraneous 負荷 ($r=-0.337, p<0.01$) には負の相関があった。この実験結果は、ゲームの本質的な難しさ (Intrinsic 負荷) が同じであっても、Germane 負荷が高い場合は高いフロー状態となり、Extraneous 負荷が高い場合は低いフロー状態となる可能性を示している。

2.2.3 フロー理論 → 自発的中断

Choi ら [37] はオンラインゲームユーザ 1993 人を対象にアンケートを実施した。このアンケートでは、顧客満足度/フロー状態/個人的相互作用/社会的相互作用の項目で構成されている。アン

ケートの結果、フロー状態はゲーム体験を通して顧客満足度に作用し、個人的相互作用および社会的相互作用はフロー状態に作用する事が示された。

Choi らの研究結果より、フロー状態からゲームの満足度を測ることが出来る。フロー状態の離脱とは満足度が低いことを示し、フロー状態の没入とは満足度が高いことを示す。

2.2.4 フロー理論 → IGD

Hull DC ら [15] の実験で、110 人のゲームプレイヤーを対象に、最近プレイしたゲームについてのアンケートを実施した。その結果、総合的な幸福度の低下はゲーム中毒の予測において強い役割がある事が分かり、フロー体験の要素のうち時間感覚の歪みが重要なゲーム中毒の予測要因である事が明らかになった。

第 3 章

本研究の提案

3.1 提案手法

本節では、本研究における提案理論および提案手法について記述する。

第2章において紹介した研究より、以下のような関係性が有ることが分かる。Chang[17]らの研究より、認知負荷理論における Intrinsic 負荷と Extraneous 負荷は低いフロー状態と相関があり、Germane 負荷は高いフロー状態と相関がある。また、Choiら [37]の研究より、低いフロー状態は中断へと繋がり、高いフロー状態は継続へと繋がる。図3.1は、Intrinsic 負荷と Extraneous 負荷によって低いフロー状態となり結果的に中断へと繋がり、Germane 負荷によって高いフロー状態へと繋がり結果的に継続へと繋がる事を示している。

これらの関係性を基に、本研究は以下のような理論を提案する。

- Intrinsic 負荷および Extraneous 負荷は、結果的にゲームの中断へと繋がる。
- Germane 負荷は、結果的にゲームの継続へと繋がる。

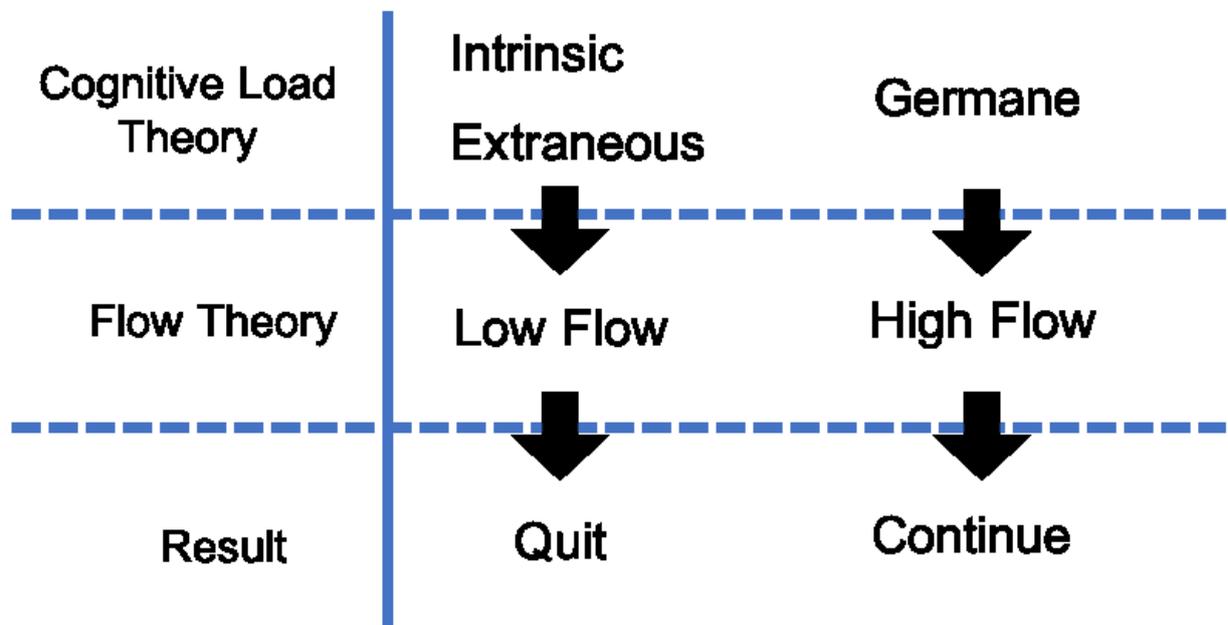


図 3.1 例:認知負荷の種類の違いが継続または中断へと影響を与える

本研究の目的は、ゲームに対して悪い印象を与えずに自発的中断を促す事である。そのため本研究では、図 3.2 に示すように提案理論を基に Extraneous 負荷を増加させる事で中断へと導く手法を提案する。

Extraneous 負荷の増加の具体例として、三輪 [25] らの研究では、図 3.3 のようにリバーシの石の見た目の複雑さを高くするために「白い石」「黒い石」という盤面表示から「回転する L」「回転する左右反転の L」という盤面表示に変更した。この研究を参考に、本実験ではゲームのオブジェクトの見た目を変更する事で Extraneous 負荷を増加した。

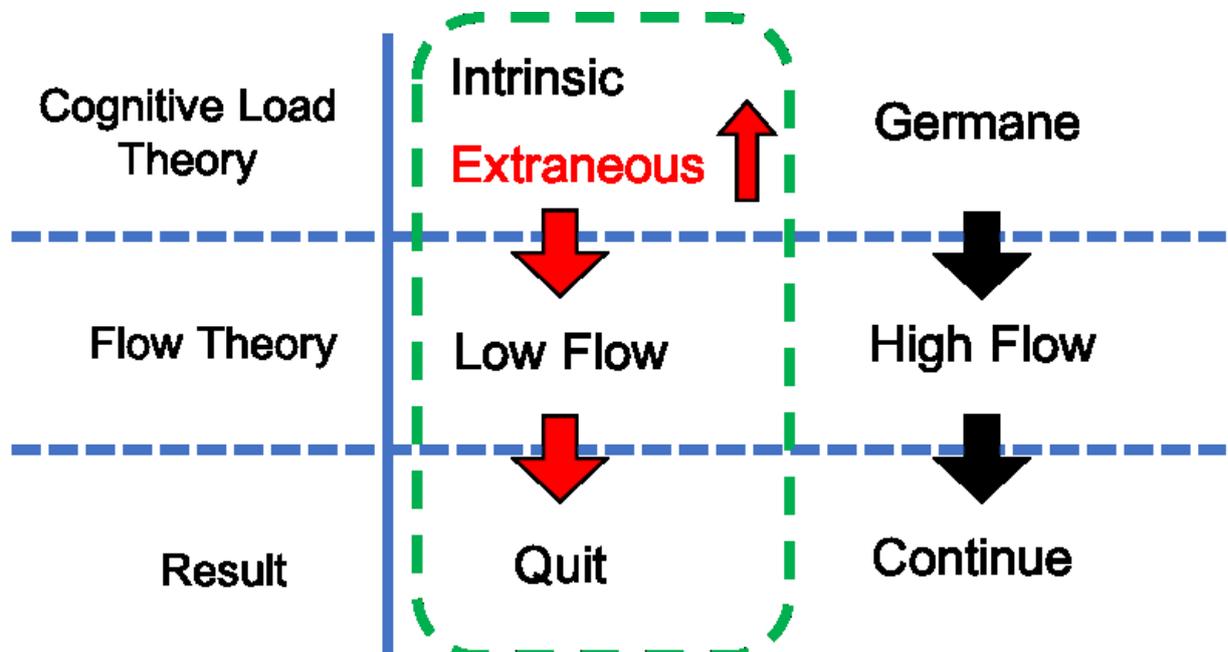
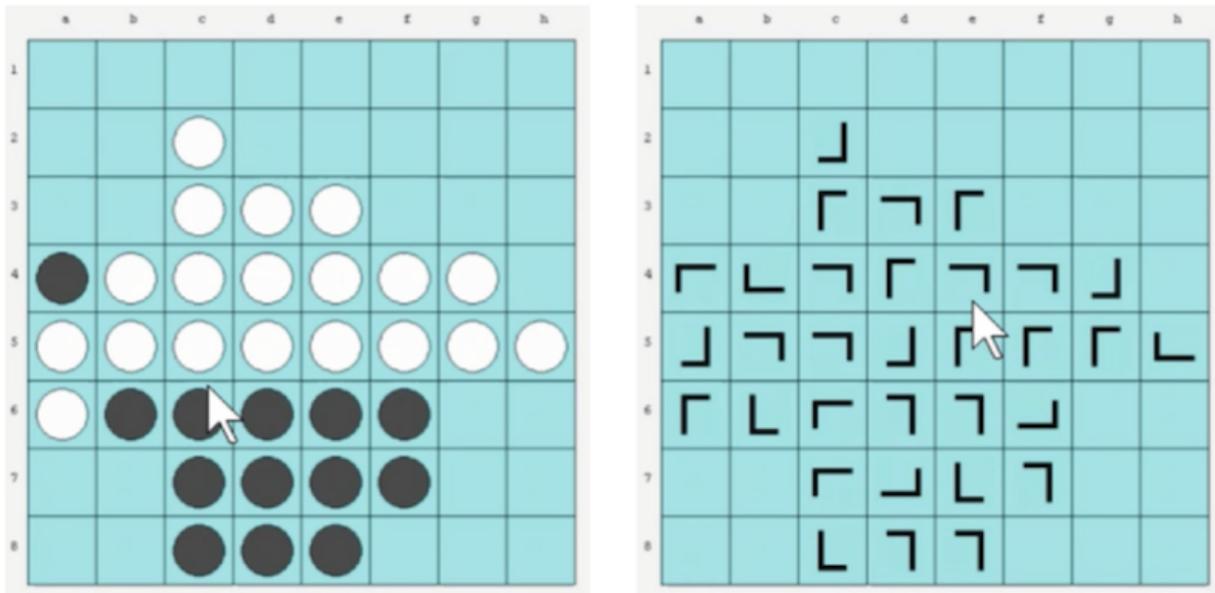


図 3.2 例:Extraneous 負荷を増加させる事で中断へと導く



(a) Black and White condition (b) L and reversal L condition (

図 3.3 (a) 通常リバーシ (b) Extraneous 負荷の高いリバーシ (Kazuhisa Miwa. 2018)

3.2 実験用ゲーム

3.2.1 ゲーム説明

3.1 章において提案した理論を検証するために実験を行った。本研究の理論では Intrinsic 負荷および Extraneous 負荷を増加させる事で中断へと導く事が出来るとしている。実験では Intrinsic 負荷の要素であるゲームの本質的難易度を増加させずに、Extraneous 負荷の要素のみを増加させる事でプレイヤーの認知負荷が増加するかを検証する。この実験により、ゲームの本質的難易度を変化させずにゲームの中断へと導ける事を示すことが出来る。

本研究は認知心理学の関連研究とゲームの関連研究を組み合わせた研究である。実験用のゲームは認知負荷量を計測するための「タスク」でもあり、楽しくて時間を忘れるような「ゲーム」でもある必要がある。そのため被験者には作業的にプレイするのではなく楽しんでプレイをしてもらう必要がある。認知心理学の関連研究例として、丹下ら [31] の実験では認知負荷を測定するタ

スクにイライラ棒タスクを採用した。本研究でもイライラ棒タスクの採用を検討したが、そのままではゲームとして楽しむのは難しいと判断した。そのため、実験用ゲームではイライラ棒における認知負荷の増加要因である隙間移動のアイデアを応用して設計した。

本研究では Unity を使用して実験用のゲームを作成した。実験用ゲームではカーソルを移動させて、障害物を避ける、いわゆる「避けゲー」を作成した。実験において、認知負荷の違いが出るように認知負荷の高いモードと低いモードの2つのゲームモードを用意した。

本ゲームのプレイヤーは、赤い障害物に衝突することなく青いアイテムの獲得を目指す。プレイヤーはマウスカーソルを移動させる事でゲーム内を移動し、青いアイテムをクリックする事で獲得出来る。赤い障害物に衝突することなく2つの青いアイテムを獲得した場合、プレイヤーは1コンボを獲得出来る。本ゲームの目標は最大コンボを獲得する事である。プレイヤーが赤い障害物に衝突した場合、コンボ数は0に戻る。赤い障害物と青いアイテムは壁と衝突した際に跳ね返る。赤い障害物が壁に衝突する速度が一定速度以下の場合、速度と角度がランダムに変化して跳ね返る。1ゲームの所要時間は2分である。プレイヤーが一定数の青いアイテムを獲得した場合、ステージのレベルが増加する。レベルが増加した場合、赤い障害物の数が1つ増加し、レベルアップに必要な青いアイテムの数が4つ増加する。レベルの増加に従って赤い障害物の数が増え、マップ上で安全に移動できる隙間が減少していく仕組みになっている。

3.2.2 フローゾーン

本研究はゲームの自発的中断を促す研究であるため、ゲームに夢中になっているプレイヤーが対象者として望ましい。本研究では、フローゾーン内に維持していないプレイヤーはゲームを長時間遊ぶことなく中断し、フローゾーン内に維持されたままのプレイヤーはゲームを夢中になってプレイするという事を前提にする。そのため本研究では、フローゾーン内に維持されているプレイヤーを対象者とする。実験用のゲームでは、Csikszentmihalyi らのフロー理論 [14] を考慮

し、プレイヤーがフローゾーン内に維持されるように設計した。

3.2.3 動的難易度調整

本研究はプレイヤーをフローゾーン内に維持するための仕組みとして、動的難易度調整の仕組みをゲームに組み入れた。青いアイテムは発生してから7秒後に自然消滅する。青いアイテムが発生してから獲得もしくは自然消滅するまでの時間を、青いアイテムの生存時間と定義した。青いアイテムが自然消滅する時間を100%として青いアイテムの生存時間のパーセンテージを計算する。ゲーム中は過去20個分までのパーセンテージを記録しておき、それらの平均を計算する。本ゲームに使用したBGMのBPMは155である。本ゲームでは、次のようにリズム計算をした。

$$\text{実時間上のリズム間隔} = 60 - BPM \quad (3.1)$$

本ゲームでは、上記で計算したリズム間隔が経過する毎に4つの処理を行う。

- リズムカウンターの数値を1加算する
- リズムカウン터를4で割った余りが0の場合、青いアイテムを出現する
- 青いアイテムの生存時間の平均が40%以上かつ、リズムカウン터를4で割った余りが1の場合、青いアイテムを出現する
- 青いアイテムの生存時間の平均が80%以上かつ、リズムカウン터를4で割った余りが2の場合、青いアイテムを出現する

赤い障害物の数はステージのレベルアップに伴って増加する。本研究では、プレイヤースキルおよびステージレベルの違いによって青いアイテムを獲得する時間は増減すると想定した。これらの処理により、青いアイテムを獲得する時間が長くなると青いアイテムの出現頻度が低下し、青いアイテムを獲得する時間が短くなると青いアイテムの出現頻度が増加する。つまり、ステー

ジレベルの難易度よりプレイヤースキルが高い場合は青いアイテムの出現頻度は増加するが、ステージレベルの難易度よりプレイヤースキルが低い場合は青いアイテムの出現頻度は減少する。

3.2.4 BusyMode

BusyMode(以降 BM) は視覚情報の多いゲームモードである。このモードは、3.1 章において提案した理論を基に、視覚情報に関する Extraneous 要素の増加によって実際にゲームプレイ時にプレイヤーの認知負荷が増加するかを検証するためのゲームモードである。図 3.4 は BM のゲーム画面である。赤い障害物は回転する立方体として画面に表示する。赤い障害物の速度が一定の閾値を下回ると、障害物の色は黄色に変化し、壁と衝突する際にランダムな角度と速度で反射する。この速度が再び一定の閾値を上回ると、障害物の色は赤色に戻る。

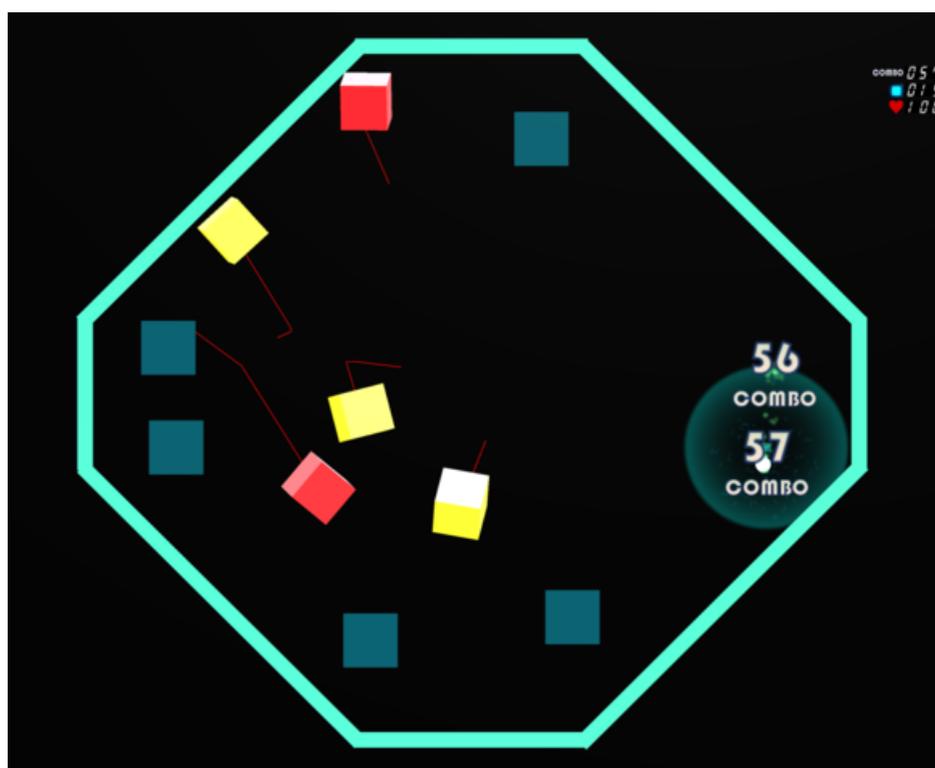


図 3.4 BusyMode のスクリーンショット

3.2.5 FreeMode

FreeMode(以降 FM) は視覚情報の少ないゲームモードである。このモードは BM と対照的に視覚情報が少ないゲームモードであり、BM との視覚情報の違いを比較するためのゲームモードである。図 3.5 は FM のゲーム画面である。赤い障害物は回転する球体として画面に表示する。しかし、赤い障害物はゲーム上では立方体形状として扱われており、赤い障害物の動きそのものは BM と変化がない。一方 BM とは違い、このモードでは赤い障害物の速度が一定の閾値を下回っても、障害物の色は変化しない。しかし、BM 同様、赤い障害物が壁に衝突する速度が一定速度以下の場合、速度と角度がランダムに変化して跳ね返る。

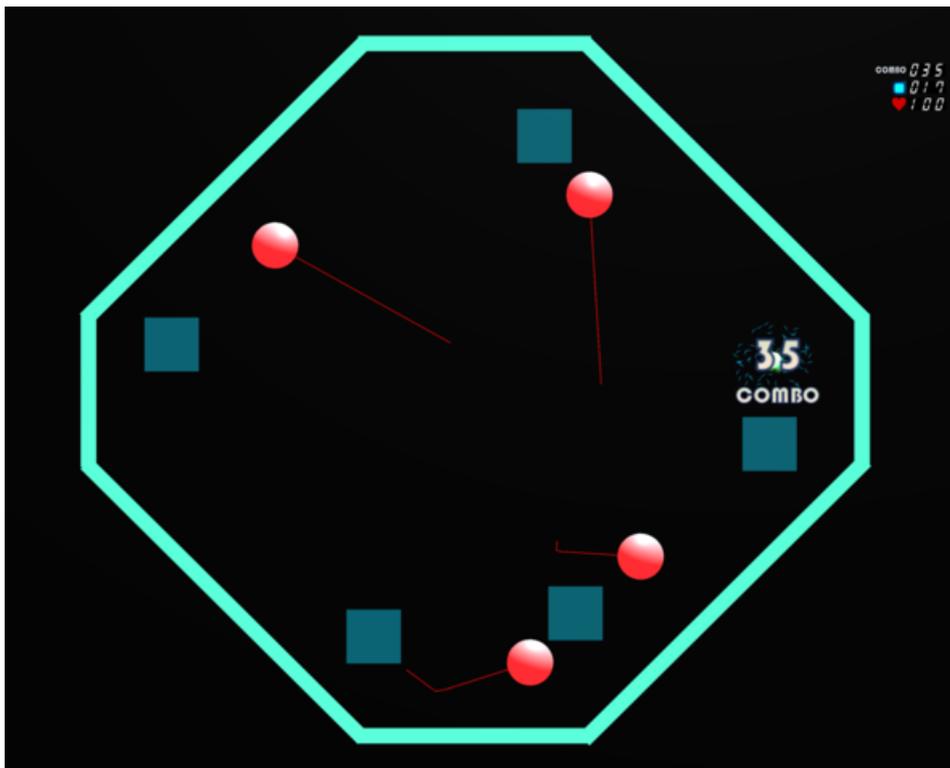


図 3.5 FreeMode のスクリーンショット

3.2.6 認知負荷の違い

BM は FM に比べて視覚情報が多い。赤い障害物は回転する立方体として画面に表示される。障害物の速度が一定の閾値を下回ると、障害物の色は黄色に変化する。結果として、変化する色と立方体の回転により、プレイヤーがゲームから受ける情報量は増加する。本研究は、これらの増加した情報によって、認知負荷理論におけるワーキングメモリである視空間スケッチパッドにおいて、プレイヤーの認知負荷が増加するという仮説を立てた。

加えて、BM における障害物の回転情報および色の変化は、2つのゲームモードの動作に変化が無い事から、認知負荷理論における Extraneous 負荷に該当する。そのため、前述した Chang[17]らの実験結果ではフロー状態と Extraneous 負荷が負の相関 ($r=-0.337$, $p<0.01$) があった事から、BM は FM と比べてフロー状態から離脱しやすい可能性がある。

3.3 テストユーザー

3.3.1 被験者情報

女性が 24 名、男性が 16 名、合計で 40 名の被験者を対象に実験を行った。被験者の年齢については、平均年齢が 27.1 歳、最低年齢が 18 歳、最高年齢が 33 歳、標準偏差が 3.62 歳。

3.3.2 グループ

実験では被験者を 2 グループに分けた。最初のグループであるグループ A の被験者は、FM をプレイしてから BM をプレイした。次のグループであるグループ B の被験者は、BM をプレイしてから FM をプレイした。各被験者はゲームプレイの度に 1 分間の休憩を取った。

3.3.3 プレイ順番

実験は以下の手順で進めた。図 3.6 は実験手順を示している。

1. まず初めにグループ分けを行う事で、グループ別で用意したゲーム説明内容を選択する。
2. EEG ヘッドセットを被験者に渡して装着方法を説明し、装着後に脳波を計測出来るようになるまで装着具合を微調整する。
3. 最初に遊ぶゲームモードがグループ毎に異なるため、ゲームモードに応じた説明をする。
4. これまでの最高スコアを被験者に説明することで、ゲームへの集中を促す。
5. グループ A は FM を、グループ B は BM を 2 分間プレイする。
6. 疲労によって結果に差が発生しないよう、1 分間の休憩を取る。
7. 次のゲームの説明をする。
8. グループ A は BM を、グループ B は FM を 2 分間プレイする。

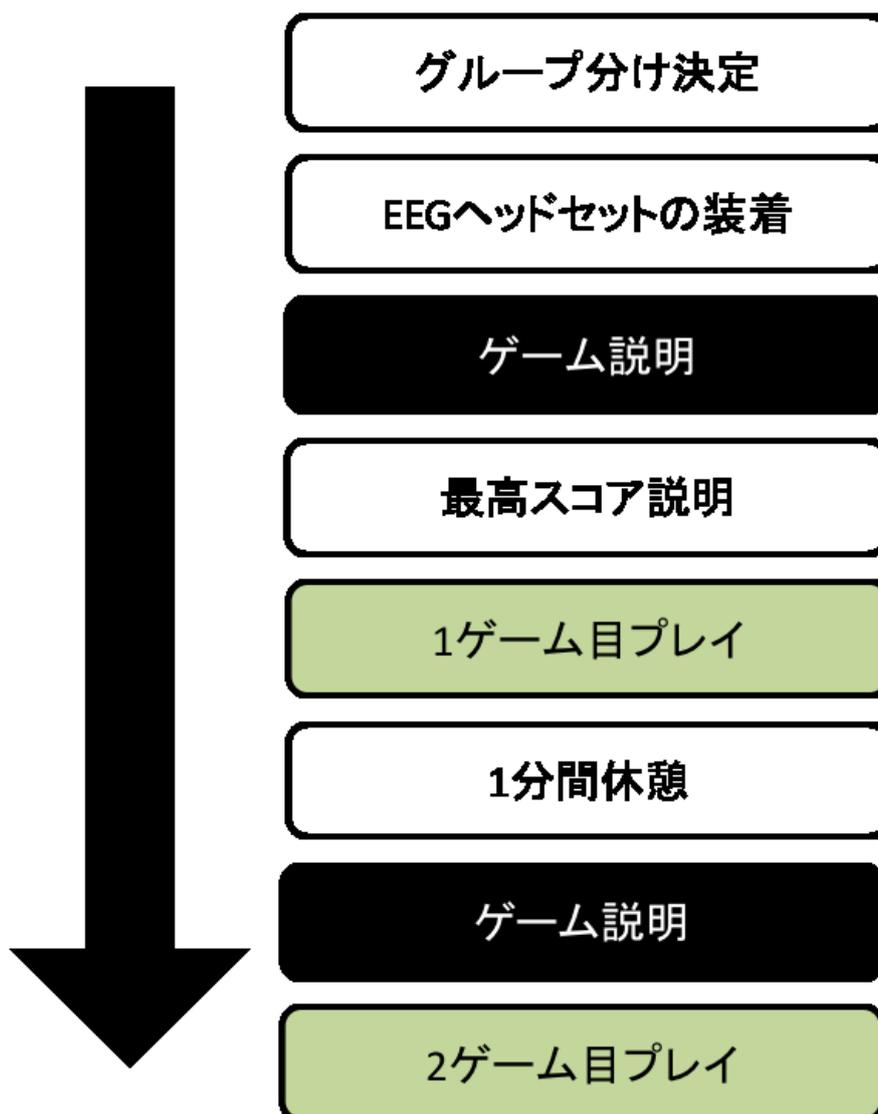


図 3.6 例:実験手順

3.4 EEG ヘッドセット

認知負荷量の比較方法として脳波を計測に使用した。脳波の計測器には InteraXon 社の Muse[38] を使用し、データの記録には Muse Monitor[39] を使用した。Muse では表 3.1 のように 4 箇所各電極から Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma の 5 種類の脳波帯域の頻度を計測する事が出来る。Muse Monitor では Muse が提供している各電極からの各脳波帯域のパワースペクトル密度 (PSD) の対数値を取得する事が出来る。

表 3.1 電極の配置

Electrode	Place
TP9	Left ear
TP10	Right ear
AF7	Left forehead
AF8	Right forehead

第 4 章

評価

4.1 着目した脳波

本研究の仮説は、FM と BM でプレイヤーに与えられた情報の違いが、脳波の観測においても違いが発生すると予想した。そのため本研究は EEG から取得した脳波を分析対象とした。E.J.He ら [34] の実験では前頭部のシータ波を認知負荷の指標として観測した。その結果、長時間のゲームプレイではシータ波の頻度が増加し、認知負荷が高まる事を示した。本研究では、E.J.He ら [34] の研究を参考に前頭部の Theta 波に絞って分析を行った。Muse では左前方と右前方の脳波を取得出来る。本分析ではそれら両方のデータを合算した。

実験中の EEG デバイスとの接触不良によって EEG デバイスより取得した前頭部の Theta 波には非数が含まれており、それらは外れ値として分析対象外とした。

4.2 回帰分析

説明変数 X を時間 (秒)、従属変数 Y をパワースペクトル密度の対数 (Db) として回帰分析を行った。前頭部の Theta 波のベースラインが年齢や睡眠不足の影響で変化する事を考慮し、各被験者の回帰係数の平均を算出した。表 4.1 はその結果である。グループ A(FM->BM の順でプレイ)、グループ B(BM->FM の順でプレイ)、グループ AB 合算の全てで BM の方が回帰係数が高いという結果となった。

表 4.1 各被験者の Theta 波の回帰係数の平均

Group	WaveBand	FM	BM	(BM - FM)
A	Theta	-9.71×10^{-5}	2.57×10^{-2}	2.58×10^{-2}
B	Theta	2.25×10^{-4}	7.66×10^{-4}	5.41×10^{-4}
AB	Theta	7.03×10^{-5}	1.29×10^{-2}	1.28×10^{-2}

4.3 平均

パワースペクトル密度の対数の平均を算出した。表 4.2 はその結果である。グループ A、グループ B、グループ AB 合算の全てで BM の方が平均が高いという結果となった。この結果は回帰分析と同じ傾向を示している。

表 4.2 各被験者の Theta 波の平均

Group	WaveBand	FM	BM	(BM - FM)
A	Theta	0.25	0.25	0.0029
B	Theta	0.30	0.32	0.0182
AB	Theta	0.27	0.28	0.0104

4.4 t 検定

この検定では FM と BM のゲーム中に取得した脳波のパワースペクトル密度の対数の平均が同じかどうかを検証した。t 検定を行う前に F 検定によって等分散の検定を行ったところ、等分散でない事が分かった。また実験中の EEG デバイスとの接触不良によってデータに外れ値が発生したことにより、検定対象となる FM と BM の両群のサンプルサイズは等しくなかった。青木 [40] によれば Welch の t 検定は、検定対象の両群が等分散かどうか、サンプルサイズが等しいかどうかに関わらず検定時の誤差を低く抑える。そのため本分析の t 検定では全ての t 検定において Welch の t 検定を採用した。

検定の結果、グループ A およびグループ B の両方のグループにおいて、FM ゲーム中の脳波と BM ゲーム中の脳波で有意な差 ($p < 0.01$) があった。しかしグループ A とグループ B のデータを合算してから検定を行った場合では、FM ゲーム中の脳波と BM ゲーム中の脳波では有意な差が見られなかった ($p = 0.52$)。

表 4.3 FM と BM の theta 波を t 検定比較した結果

Group	WaveBand	t	p	FM-len	BM-len
A	Theta	3.72	1.94×10^{-4}	4100	4111
B	Theta	-4.62	3.81×10^{-6}	4075	4223
AB	Theta	-0.63	5.26×10^{-1}	8175	8334

次に、各グループごと各被験者ごとに Welch の t 検定を行った。表 4.2 はその結果を示している、グループ A の被験者では 20 人中 12 人、グループ B の被験者では 20 人中 17 人となり、被験者全体では 40 人中 29 人で有意な差 ($p < 0.05$) があつた。

有意差のあつた人数 ($p < 0.05$)

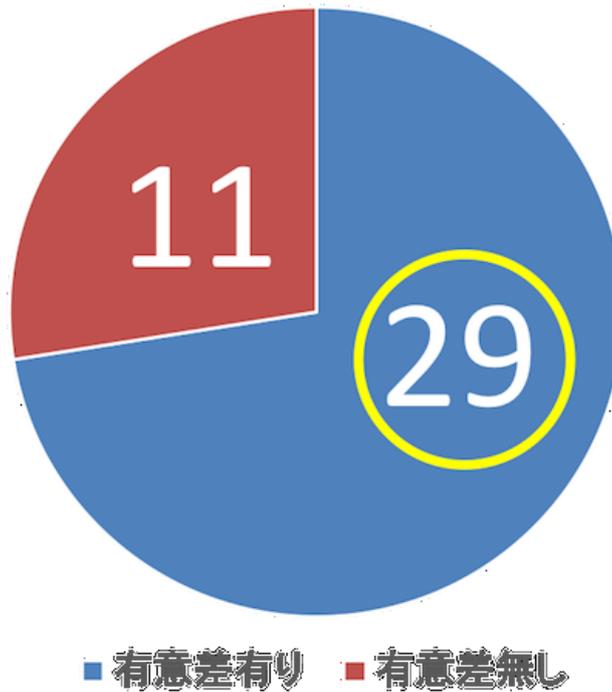


図 4.1 各グループごと各被験者ごとに t 検定を行った結果

4.5 考察

本研究では認知負荷理論における Extraneous 負荷の増加がゲームプレイの中断に繋がるといふ仮説を立てた。実験用ゲームには、Extraneous 負荷の要素としてオブジェクトの見た目のみが違う 2 つのゲームモードを作成した。2 つのゲームモードとは、認知負荷が高いと仮定した BusyMode と、認知負荷が低いと仮定した FreeMode である。この 2 つのゲームモードにおける認知負荷の比較には、E.J.He ら [34] の研究を参考にしてゲーム中の被験者の前頭部の theta 波の違いに着目した。実験結果では、全被験者のデータにおいて前頭部の theta 波の回帰係数および平均が BM の方が高いという事が分かった。また、t 検定では 40 名中 29 名において 2 つのゲームモードにおける前頭部の theta 波に有意な差 ($p < 0.05$) があった。この結果は BM の方が Extraneous 負荷の要素の違いによって認知負荷が高い事を示しており、本研究の提案理論から BM の方がゲームを中断しやすい事を意味する。

回帰係数および平均の差が小さい事や全被験者のデータで有意差が出なかった点においては改善の余地が残る。この点を改善するには、Extraneous 負荷の要素をより増やす必要がある。例として、水野 [24] と三輪 [25] の研究では、リバーシを用いて 3 種類の認知負荷それぞれの増加要素の特定を行った。水野らの実験では Extraneous 負荷の増加要素として、リバーシのチップの見た目を「白」と「白」にすることで盤面の知覚を難しくした。しかし彼らの実験では、Extraneous の負荷量を調べる質問紙の結果に有意差が見られなかった。そのため、研究を引き継いだ三輪らはリバーシの石の見た目の複雑さを高くするために、「回転する L」と「回転する左右反転の L」に変更して再実験を行った。その結果、Extraneous の負荷量を調べる質問紙の結果において有意差が見られた。これらの結果より、見た目の複雑さを増やす事で Extraneous 負荷が増加する事が分かる。

第 5 章

まとめと今後の展望

5.1 まとめ

本研究では、ゲーム中の時間損失体験およびゲームプレイの中断に関する調査から、ユーザーの自発的な中断を促す事で再プレイ欲求の損失を防止するシステムを提案し、システムの有用性を示すための評価実験を行った。研究の第一段階として、システムによる認知負荷の上昇によって中断を促す事が出来るか、分析するための予備実験を行った。その結果から、ゲームオブジェクトの見た目を変える事によるゲームバランスの変更では、認知負荷の違いが確認できた。

5.2 今後の展望

本研究の目的はユーザーの自発的な中断を促す事である。しかし現時点では、Extraneous 負荷の増加とフローに負の相関がある事を基にオブジェクトの見た目を変更する事で前頭部の theta に違いが起こる事を分かっただけである。そのため、Extraneous 負荷が増加する事で自発的な中断に繋がるという本研究の提案手法が仮説通りの結果を得られるのかどうかを検証する必要がある。自発的な中断を促す事が出来るかどうかを検証する方法として、大塚ら [13] は自発的な中断を促すシステムの効果検証のために App Store と Google Play で実験用ゲームを配信して一般ユーザーのプレイログを分析した。この研究を参考に、本研究でも実験用ゲームを配信して一般ユーザーのプレイログを分析する事で、システムの効果検証が期待出来る。

本研究では実験時に最高スコアを被験者に伝える事で、被験者がフローゾーンに入るように促した。本研究は認知心理学の関連研究とゲームの関連研究を組み合わせた研究である。実験用のゲームは認知負荷量を計測するための「タスク」でもあり、楽しくて時間を忘れるような「ゲーム」でもある必要がある。被験者に集中して楽しくゲームをプレイしてもらうため、本研究ではフロー理論を参考にして実験デザインを設計した。フロー理論におけるフロー要素の一つは「明確な目的」である。本実験では、ゲームの目的となり得る情報として過去の被験者の実際の最高

スコアを被験者に提示して最高スコアを挑戦するように促す実験デザインにした。実際の実験で最高スコア情報を実験中の被験者に提示した際の反応は、やる気や集中を促せたと考えられるものであった。しかし、この実験デザインにはまだ改善の余地がある。フロー理論においてゲームの挑戦レベルをプレイヤーの能力レベルよりも過剰に高く設定した場合、プレイヤーは不安を感じてゲームを辞めやすくなるとしている。従って、フロー理論を最高スコアの提示に応用した場合、被験者の能力レベルでは達成不可能なスコアを被験者へ伝えた際に被験者は最高スコアの更新を諦めてやる気や集中が低下する事が考えられる。そのため、実際の最高スコアを提示するのではなく、各被験者の能力レベルに合わせた偽の最高スコアを被験者に伝えるという実験デザインにする事で、より被験者をフローゾーンに入るように促せる可能性がある。

本研究では認知負荷を前頭部の theta 波により計測した。Berka, C ら [36] は EEG と Mental Workload および Task Engagement の相関を示した。この研究では認知負荷測定に認知負荷判定機が用いられた。この認知負荷判定機は、ワーキングメモリテストおよび寝不足テストを学習データとしたロジスティック分析である。Berka, C らは下記 [36] のように記した。”For example, Gevins and Smith repeated their flight simulator experiment after sleep depriving participants and reported that the subjective mental effort was negatively correlated with frontal activation after sleep deprivation in contrast to the positive correlation between frontal activation and subjective mental effort in the fully rested condition (19,44)” (Berka, C). Berka, C らはこの現象を考慮し、認知負荷判定機に寝不足データを加えている。Vigilance test では画面に表示された画像の判別の反応時間を計測する事で、睡眠不足の度合いを測定する。寝不足データを加える事で、寝不足プレイヤーとそうでないプレイヤーにおいて、主観的集中時の前頭部の脳波の活動が異なる現象を考慮して測定出来る。上記の現象により、単純な theta 波の上昇では正確に認知負荷を測定する事が難しい。従って今後は、Berka, C ら [36] の研究を基にした認知負荷判別分析機を使用して認知負荷を計測する事で、正確に自発的中断を促せる事が期待出来る。

謝辭

本研究を締めくくるにあたり、ご指導ならびに適切なお助言を下さいました先生方に心より感謝致します。大学院で学ぶ機会を下さった家族への感謝の念に堪えません、ありがとうございます。本研究の実験にご参加頂いた被験者の皆様、並びに助言を下さった方々に感謝します。最後に、研究日々の中に癒やしの時間を提供して下さいました全ての音楽に感謝致します。

参考文献

- [1] 株式会社三菱総合研究所. スマホゲームに関するアンケート結果. http://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_policy/policy_coordination/internet_committee/pdf/160324shiryo1-1.pdf. 参照:2018.09.06.
- [2] 文部科学省 国立教育政策研究所. 平成 29 年度全国学力・学習状況調査報告書【質問紙調査】. <http://www.nier.go.jp/17chousakekkahoukoku/report/data/17qn.pdf>. 参照:2018.09.06.
- [3] Yostar Inc. アズールレーン. <https://www.azurlane.jp/>. 参照:2019.01.08.
- [4] Ltd. Nintendo Co. どうぶつの森 ポケットキャンプ. <https://ac-pocketcamp.com/>. 参照:2019.01.08.
- [5] スタミナ制のスマホゲームが減ってるという話（背景への補足）. <https://together.com/li/998095>. 参照:2019.01.08.
- [6] Richard T.A. Wood., M. D. Griffiths, and A Parke. Experiences of time loss among videogame players: an empirical study. *CyberPsychol Behav*, Vol. 10, pp. 45–56, 2007.
- [7] J. A. Anguera, J. Bocanfuso, J. L. Rintoul, O. Al-Hashimi, F. Faraji, J. Janowich, E. Kong, Y. Larrburo, C. Rolle, E. Johnston, and A Gazzaley. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, Vol. 501, No. 7465, pp. 97–101, 2013.
- [8] AH. Barger and JM. Hormes. Psychosocial correlates of internet gaming disorder: Psychopathology, life satisfaction, and impulsivity. *Computers in Human Behavior*, Vol. 68, pp. 388–194, 2017.
- [9] M. D. Griffiths, D. J. Kuss, and H. M. Pontes. A brief overview of internet gaming disorder and its treatment. *Australian Clinical Psychologist*, Vol. 2, pp. 1–12, 2016.
- [10] World Health Organization. Icd-11 for mortality and morbidity statistics. <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2f>

2fentity%2f1448597234. 参照:2018.09.06.

- [11] 樋口進. 「ゲーム依存の実態と課題」(視点・論点). <http://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/400/289702.html>. 参照:2018.11.17.
- [12] 遠藤雅伸, 三上浩司, 近藤邦雄. ひとはなぜゲームを途中でやめるのか -ゲームデザイン由来の理由-. 日本デジタルゲーム学会 2014 夏季大会, 2014.
- [13] 大塚義弥, 中村陽介, 遠藤雅伸, 三上浩司, 近藤邦雄. 自発的なプレイ時間制御を促すゲームシステムに関する研究. 日本デジタルゲーム学会 2014 年次大会, 2014.
- [14] M Csikszentmihalyi. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper & Row, New York, 1990.
- [15] DC Hull, GA Williams, and MD Griffiths. Video game characteristics, happiness and flow as predictors of addiction among video game players: a pilot study. *J Behav Addict*, Vol. 2, No. 3, pp. 145–152, 2013.
- [16] J. Sweller, J. van Merriënboer, and F & Paas. Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, Vol. 10, pp. 251–296, 1998.
- [17] C. C. Chang, C. Liang, P. N. Chou, and G. Y. Lin. Is game-based learning better in flow experience and various types of cognitive load than non-game-based learning? perspective from multimedia and media richness. *Computers in Human Behavior*, Vol. 71, pp. 218–227, 2017.
- [18] M. Ambinder. Biofeedback in gameplay: How valve measures physiology to enhance gaming experience. *In Game Developers Conference*, 2011.
- [19] Valve Corporation. Left 4 dead. <http://www.l4d.com/>. 参照:2019.01.08.
- [20] Adam Lobel, Marientina Gotsis, Erin Reynolds, Michael Annetta, Rutger C.M.E. Engels, and Isabela Granic. Designing and utilizing biofeedback games for emotion regulation:

The case of nevermind. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '16*, pp. 1945–1951, New York, NY, USA, 2016. ACM.

- [21] Flying Mollusk. Nevermind. <http://www.nevermindgame.com/>. 参照:2019.01.08.
- [22] S. M. Anwar, S. M. Saeed, and M. Majid. Classification of expert-novice level of mobile game players using electroencephalography. In *2016 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*, Vol. 00, pp. 315–318, Dec. 2016.
- [23] T. P. アロウェイ, R. G. アロウェイ, 湯澤正通, 湯澤美紀. ワーキングメモリと日常: 人生を切り拓く新しい知性 (認知心理学のフロンティア). 北大路書房, 2015.
- [24] 水野陽介, 三輪和久, 小島一晃, 寺井仁. 問題解決型学習における認知負荷と認知処理の関係についての実験的検討. 人工知能学会, Vol. B5, No. 3, pp. 7–11, 2016.
- [25] Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai, and Kazuaki Kojima. Empirical investigation of cognitive load theory in problem solving domain. In Roger Nkambou, Roger Azevedo, and Julita Vassileva, editors, *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 120–129, Cham, 2018. Springer International Publishing.
- [26] Yang Chen, Jian Ou, and David M. Whittinghill. Cognitive load in real-time strategy gaming: Human opponent versus ai opponent. *The Computer Games Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 19–30, Jun 2015.
- [27] J Chen. Flow in games (and everything else). *Communications of the ACM*, Vol. 50, No. 4, pp. 31–34, 2007.
- [28] Masanobu Endoh, Henry Fernández, and Koji Mikami. Dynamic pressure cycle control: Dynamic difficulty adjustment beyond the flow zone. *Nicograph International 2017*, pp. 9–16, 2017.

- [29] Henry D. Fernandez B, K. Mikami, and K. Kondo. Adaptable game experience based on player's performance and eeg. In *2017 Nicograph International (NicoInt)*, pp. 1–8, June 2017.
- [30] R. Mallick, D. Slayback, J. Touryan, A. J. Ries, and B. J. Lance. The use of eye metrics to index cognitive workload in video games. In *2016 IEEE Second Workshop on Eye Tracking and Visualization (ETVIS)*, pp. 60–64, Oct 2016.
- [31] 丹下雄太, 中澤篤志, 西田豊明. 人の内部状態と瞳孔径の定量的関係. 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 77, No. 4, pp. 4413–4414, 2015.
- [32] Pavlo Antonenko, Fred Paas, Roland Grabner, and Tamara van Gog. Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, Vol. 22, No. 4, pp. 425–438, Dec 2010.
- [33] C. Sheikholeslami, H. Yuan, E. J. He, X. Bai, L. Yang, and B. He. A high resolution eeg study of dynamic brain activity during video game play. In *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2489–2491, Aug 2007.
- [34] E. J. He, H. Yuan, L. Yang, C. Sheikholeslami, and B. & He. Eeg spatio-spectral mapping during video game play. *Proceedings of ITAB*, pp. 346–348, 2008.
- [35] 坂井建男, 久光正. ぜんぶわかる脳の事典. 成美堂出版, 2011.
- [36] C. Berka, D.J. Levendowsky, M.N. Lumicao, A. Yau, G. Davis, V.T. Zivkovic, R.E. Olmstead, P.D. Tremoulet, and P.L. Craven. Eeg correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 78, No. 5, pp. 231–244, 2007.
- [37] D. Choi and J. Kim. Why people continue to play online games: in search of criti-

cal design factors to increase customer loyalty to online contents. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 7, pp. 11–24, 2004.

[38] InteraXon Inc. Muse io — available data. http://developer.choosemuse.com/tools/available-data#Absolute_Band_Powers. 参照:2018.09.06.

[39] clutterbuck James. Technical manual. http://www.musemonitor.com/Technical_Manual.php#help_graph_absolute. 参照:2018.09.06.

[40] 二群の平均値(代表値)の差を検定するとき. <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/BF/index.html>. 参照:2019.02.12.