

プレイヤーの主観的難易度評価に影響を与えない デジタル・ゲームの客観的難易度調整手法

坂上 駿太^{1,a)} 木村 大樹^{1,b)} 西野 裕樹^{1,2,c)}

概要：動的難易度調整は、プレイヤーのスキルに合わせてゲームの難易度を動的に調整することによって、プレイヤーのゲーム体験を高める手法である、しかし、過度に明白な難易度調整は、逆にゲーム体験に悪影響を与える可能性がある。このため、難易度調整は可能な限り目立たないように制御されることが望ましい。本研究では、この問題を「プレイヤーが感じる主観的な難易度に影響を与えることなく、ゲームの客観的な難易度を下げることは可能か」という研究課題と捉え、プレイヤーに気づかれないようにゲームの難易度を動的に調整する2つの手法を提案する。また、両提案手法をシューティングゲームに適用し、ユーザースタディを通じてその効果を検証した。結果からは、両手法とも意図通りの効果があることが強く示唆された。本研究は、前例の少ない「客観的な難易度と主観的な難易度を区別する難易度調整手法」の研究であるだけでなく、既存ゲームへの実装が容易であるため、ゲーム体験への悪影響も回避できる実用的な難易度調整手法としても有益であると考えられる。

1. はじめに

プレイヤーのスキルとゲーム難易度のバランスを適切に調整することは、ゲーム体験をデザインする上で重要な要素である。Csikszentmihalyiのフロー理論 [3][4]によると、プレイヤーはゲームの難易度が高すぎる場合は不安を感じ、逆に簡単すぎると退屈さを感じるとされている (図 1)。したがって、プレイヤーの実際のプレイスキルに基づいてゲーム難易度を調整することが可能な動的難易度調整は、より没入感のあるゲーム体験をデザインする上で有効な手段であると考えられており、現在でもゲーム研究者やゲームデザイナーの間で活発に研究されているテーマである。一方、過度に明白な難易度調整が行われることによって、プレイヤーのゲームに対する主体感や達成感などのゲーム体験に悪影響を与える可能性があることも指摘されている [5][7][8]。

本研究では、この問題を「プレイヤーが認識する主観的な難易度に影響を与えずに、ゲームの客観的な難易度を下げることは可能か」という研究課題と捉え、プレイヤーに気づかれずにゲームの難易度を下げる2つの手法である Collision Detection Area Adjustment(CDAA)と、Time Elapse Manipulation (TEM)を提案する。CDAAは、プ

レイヤの当たり判定領域のサイズを調整し、TEMはゲームタイマの経過速度を変更することによって難易度調整を行う。これらの難易度調整手法は、ゲームの客観的難易度に直接関連するパラメータを暗黙的に変更するものであり、調整の程度が適切な範囲に収まっていれば、プレイヤーはほとんど難易度の違いを認識することはできないことが想定される。

本研究では、両提案手法の効果を評価するために、実験用の単純なシューティングゲームを開発し、各提案手法をそれぞれ適用したバージョンを用いてユーザースタディを行った。実験結果からは、両手法とも、想定通り「プレイヤーが感じる主観的な難易度に影響を与えることなく、ゲームの客観的な難易度を効果的に下げる事が可能である」ことが強く示唆された。

2. 動的難易度調整とゲーム体験

フロー理論 [3][4]によると、スキル=チャレンジ・バランスは、個人がタスクに没頭し、良い体験を得る「フロー状態」を達成するための重要な要因とされている。バランスが適切に保たれておらず、プレイスキルに対して難易度が簡単すぎる場合は退屈さを、難しすぎる場合は不安を、スキルも難易度も低い場合は無関心に感じると考えられている (図 1)。

フロー理論は様々な分野で活用されており、ゲーム研究も例外ではない [1][6]。したがって、初心者と熟練者の両

¹ 高知工科大学 情報学群

² 高知工科大学 Creative and Cultural Computing Laboratory

a) 250326a@ugs.kochi-tech.ac.jp

b) 250315g@ugs.kochi-tech.ac.jp

c) hiroki.nishino@acm.org

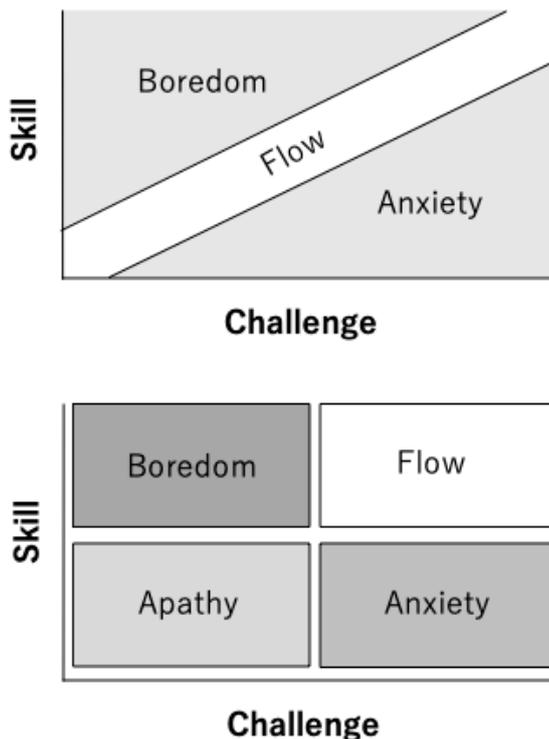


図 1 フローの古典的なモデル (上) とフローの象限モデル (下) (文献 [3][4] に準拠して, 著者が作成)

方に適したスキル=チャレンジ・バランスを適用できる動的難易度調整手法は, 研究者やゲームデザイナーなどの間で活発に議論されている [9].

一方, 過度に明白な難易度調整がゲーム体験を損ねることを示唆している研究も存在している. 文献 [7][8] において Hunicke は, ゲームの動作が意図した動作と異なったり, 明白に自分に有利であったりすると, プレイヤのゲーム体験を逆に損ねることを指摘している. 同様に文献 [5] において遠藤らは, 不適切な動的難易度調整はプレイヤの主体感 (sense of agency) に悪影響を及ぼすことがある述べている. このように, 過度に明白な難易度調整は全体的なゲーム体験に損害を与えると考えられている.

3. 客観的難易度と主観的難易度

明白な難易度調整がゲーム体験に与える影響を考えるためには, 難易度調整を通じて制御されるゲームの実際の難易度と, プレイヤが感じる主観的な難易度の明確な区別を確立することが重要である. Constant らは, この区別のために, 客観的難易度 (例えばスコアや敵弾被弾数・ゲームクリア回数などから直接推定される難易度) と, 主観的難易度 (プレイヤが心理的に認知する難易度) という用語を提案した [2]. このような区別は, ゲーム体験の観点から難易度調整手法を研究する上で有効であるが, この両者の区別を考慮した難易度調整手法に関する既存の研究は数少ない.

客観的難易度と主観的難易度を区別する研究の例として, 日本では築瀬らが主観的難易度に着目した 2 つの難易度調

整手法を提案している. 文献 [12] では, 築瀬は, 実際よりもプレイヤが上手く遊べていると感じさせるために, 「プレイヤキャラクタの近くに向けて発射されるが, 実際には当たらない角度で発射される敵弾」を意図的に導入することで, 客観的な難易度を低く保ちながら主観的な難易度を高めるシューティングゲーム用の技術を提案している. しかし, 同研究では提案手法の有効性を検証するユーザースタディは実施されておらず, 学会のデモセッション中に数人のプレイヤが「より上手くプレイできていると感じた」と報告しているのみである*1.

また, 築瀬らは文献 [13] でジャンプアクションゲーム用の別の難易度調整手法も提案している. 同手法は, プレイヤ・キャラクタのジャンプの軌道を, 予想される理想的な軌道に近づくように自動で暗黙的に調整することによって, よりうまくゲームをプレイできていると錯覚させるものである. 同文献で築瀬らは, 実験によりスキル向上の錯覚をうまく作り出せていることが確認できたと報告している.

Zhang は, 文献 [14] において, 自機に対する当たり判定の無い「偽の弾」を追加することによって, シューティングゲームの主観的難易度をコントロールする手法を提案した. この「偽の弾」は, プレイヤキャラクタに当たってもダメージを受けないため, 客観的な難易度には影響を与えないが, 通常の弾と区別がつかないため, プレイヤが感じる主観的な難易度を高められることが想定できる. 同文献において Zhang は, ユーザスタディにおいて, 「偽の弾」の有無により, 客観的な難易度は影響を与えないにもかかわらず, 一方で主観的な難易度においては統計的に有意な差があったことを報告している. また文献 [11] においては, 本稿に直接関係する, プレイヤ・キャラクタの衝突領域サイズ調整を行う, 我々の研究グループでの予備実験について述べられている.

4. 提案手法

本研究では, 前節のような客観的難易度と主観的難易度の区別を明確にした難易度調整手法として, プレイヤに気づかれずにゲームの難易度を下げる 2 つの手法: (1) Collision Detection Area Adjustment (CDAA), (2) Time Elapse Manipulation (TEM) を提案する. CDAA は, プレイヤの当たり判定領域サイズの調整, TEM はゲームタイマの経過速度の調整によって難易度調整を行う. これらの難易度調整手法は, 客観的難易度に直接関連するパラメータを暗黙的に変更するものであり, 調整の程度が適切な範囲に収まっていれば, プレイヤはほとんど難易度の違いを認識することはできないことが想定される. したがって, 「プレイヤの主観的難易度に影響を与えずに客観的難

*1 文献 [14] において, Zhang は築瀬のこの手法に対してユーザースタディを行なったが, 統計的に有意な違いは示されなかったと報告している.

易度のみを下げ、ゲーム体験に影響を与えない難易度調整を可能とする」ことが期待できる。

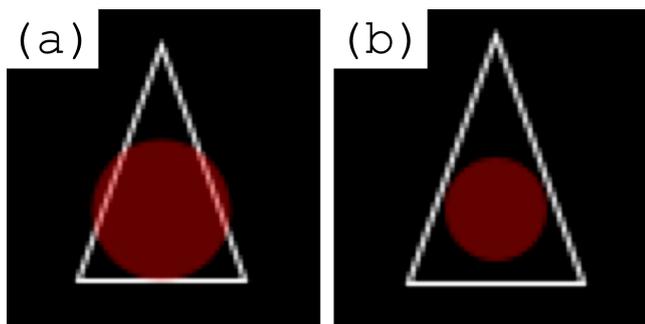


図 2 Collision Detection Area Adjustment 手法

CDAA は、プレイヤーキャラクタの当たり判定領域の直径を調整することによって、客観的難易度を下げることが目的としている。図 2 の、赤い円形の領域は（実際にはゲーム画面に表示されない）自機の当たり判定領域を示している。CDAA では当たり判定のサイズを図 2(a) から、図 2(b) のように縮小することにより客観的難易度を下げる（ゲームのデフォルトの難易度設定が逆であれば、図 2(b) から図 2(a) のように客観的難易度を上げているともいえる）。このように当たり判定領域を縮小すると、必然的にプレイヤーキャラクタが敵弾に当たりづらくなり、客観的難易度を低下させることが期待される。一方で、実際の当たり判定サイズはプレイヤーからは見えないため、減少の程度が適切に設定されていれば、主観的難易度は維持できると考えられる。

TEM は、ゲームタイマの進行速度を調整することにより、客観的難易度を下げることが目的としている。タイマの経過速度を遅くすることにより、プレイヤーはゲーム内のタスクや課題を完了するための時間が増え、実質的に客観的難易度が低下する。通常、プレイヤーはゲームプレイ中にゲームタイマは散発的に確認するだけで、プレイヤーの認知リソースは主にゲームのタスクや課題に使用される。したがって、タイマの進行速度の減少が合理的な範囲内に保たれていれば、プレイヤーに課された時間制限を気付かれることなく事実上延長することができ、主観的難易度に影響を与えずに客観的難易度を効果的に減少させることができると考えられる。

図 3 は TEM 手法の適用例である。どちらも実時間では全く同じ経過時間の瞬間でのスクリーンショットであるが、画面下部に示されている残り時間バーは、図 3(a) の方が図 3(b) より短い。つまり、図 3(b) では、ゲームタイマの経過速度が遅く設定されているため、実質的な残り時間が長くなり、客観的難易度が下げられていることになる。

5. 実験用ゲームの開発

前章で述べた二つの提案手法が実際に「プレイヤーが感じ

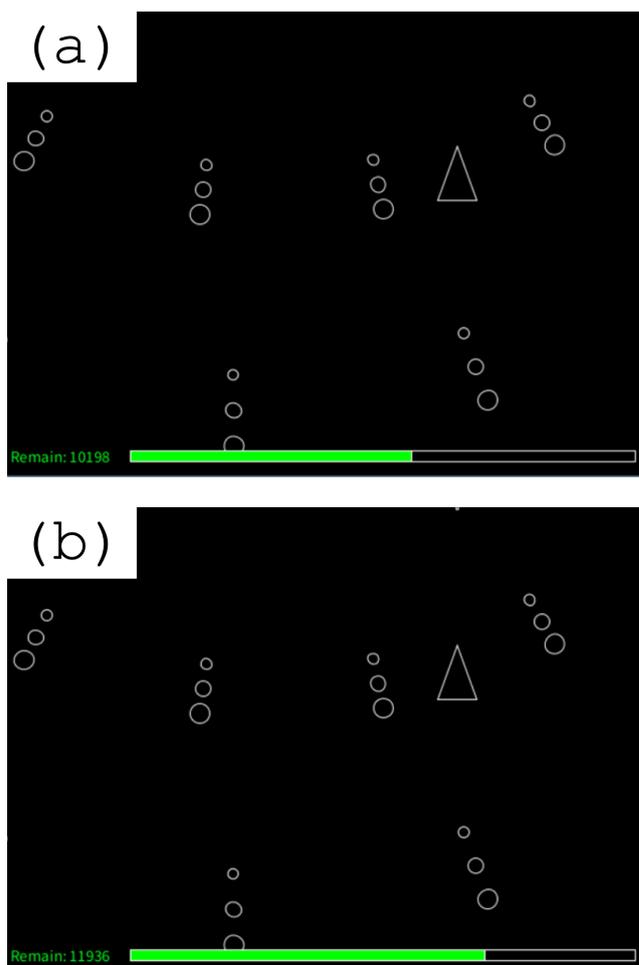


図 3 Time Elapse Manipulation 手法

る主観的難易度に影響を与えずに客観的難易度を下げる」ことができるかを検証するために、ユーザスタディ用の簡易なシューティングゲームを開発した。同ゲームは、大量の敵弾を避けながらタスクに取り組む「弹幕シューティング」と呼ばれるゲーム・ジャンルの一つとして設計されている。このゲームにはボスが登場するステージが 1 つだけあり、プレイヤーは与えられた時間制限（90 秒）内にボスを倒さなければならない。図 4 は実験用ゲームのスクリーンショットである。

ユーザスタディで使用するために、実験用ゲームに両提案手法を適用した 2 つのバージョンを用意した。両手法で客観的難易度に関連するゲーム内パラメータは次のようである。CDAA では、Normal モードから Easy モードに客観的難易度を変更する際、自機の当たり判定サイズの直径を 70 % に縮小した。このバージョンでは、自機に HP が設定されており、残り時間に関係なく 15 回被弾するとゲームが終了する。図 2 (a) と (b) はそれぞれのモードの当たり判定領域のサイズを示したものである（ゲーム画面には表示されない）。TEM では、Normal モードから Slow モードに客観的難易度を変更する際、ゲーム時間タイマの進行速度を 80 % に減少させた。このバージョンでは、自機

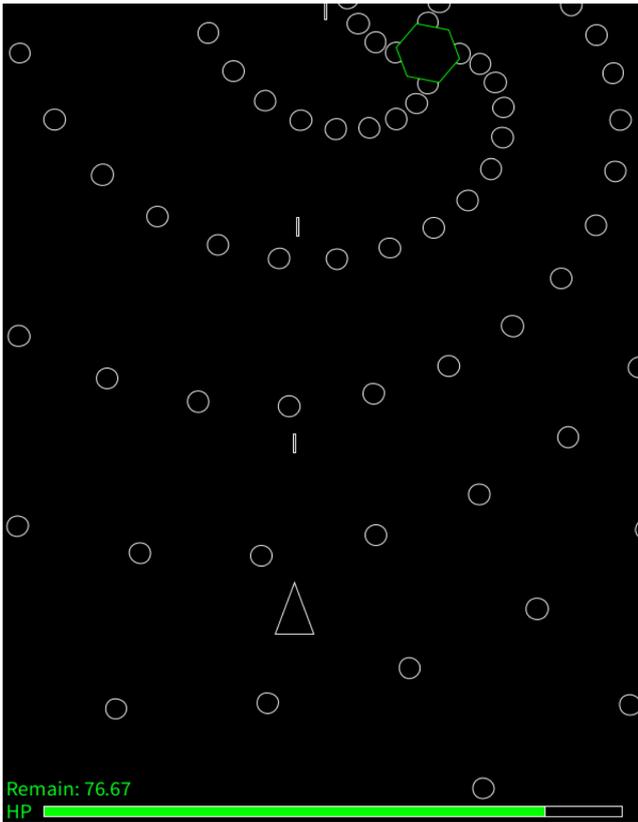


図 4 ユーザスタディ用に開発したゲームのスクリーンショット

の HP 設定がない代わりに、被弾すると一時的に動けなくなり、3 秒間操作不能になる。

また、被験者のプレイスキルには個人差があり、客観的難易度が被験者にとって難しすぎる（あるいは簡単すぎる場合）、難易度調整手法を適用してもスキル=チャレンジ・バランスを保てなく可能性がある。この場合、提案手法の適用による効果の測定が困難となるため、ユーザスタディでは可能な限り客観的難易度を各被験者のプレイスキルに合わせる必要がある。そのため「ベース難易度」を3種類（base-hard/base-normal/base-easy）用意し、被験者のプレイスキルに最も近いものを各々の実験セッションでプレイすることとした。これらのバリエーションは、敵弾の密度によって区別され、「base-hard」が最も高い密度を、「base-easy」が最も低い密度を提示する（つまり客観的難易度に関するパラメータ調整である）。

6. 実験設計

本実験では、2つの提案手法が実際に「プレイヤーの主観的難易度評価に影響を与えずに、ゲームの客観的難易度を下げる」ことができるか、有効性を検証するために、まず以下の8つの帰無仮説を立てた。

● 主観的難易度に関する帰無仮説

H₀₁: Normal モードから Easy モードへの移行は、プレイヤーの認知する主観的難易度において統計的に有意な差をも

たらさない。

H₀₂: Normal モードから Slow モードへの移行は、プレイヤーの認知する主観的難易度において統計的に有意な差をもたらさない。

H₀₃: 全体的に見て Normal モードと Easy モードの間で、プレイヤーの認知する主観的難易度における統計的に有意な差はない。

H₀₄: 全体的に見て Normal モードと Slow モードの間で、プレイヤーの認知する主観的難易度における統計的に有意な差はない。

● 客観的難易度に関する帰無仮説

H₀₅: Normal モードから Easy モードへの移行は、敵弾被弾回数に統計的に有意な差をもたらさない。

H₀₆: 全体的に見て Normal モードと Easy モードの間で、敵弾被弾回数に統計的に有意な差はない。

H₀₇: 全体的に見て Normal モードと Easy モードの間で、ゲームクリア回数に統計的に有意な差はない。

H₀₈: 全体的に見て Normal モードと Slow モードの間で、ゲームクリア回数に統計的に有意な差はない。

H₀₁ から **H₀₄** までは、プレイヤーの主観的難易度評価に関する帰無仮説であり、これらが棄却されなかった場合、「主観的難易度評価に影響があった」とは言えず、提案手法の有効性の「プレイヤーの主観的難易度評価に影響を与えない」という主張も棄却されない。たいして、**H₀₅** から **H₀₈** までは、ゲームの客観的難易度に関する帰無仮説である。これらが棄却された場合、「ゲームの客観的難易度が変わらない」という仮説の対立仮説「ゲームの客観的難易度が変わる」が採用される。特に、ゲームの難易度が下がる方向への有意差が観察された場合、提案手法の有効性の「ゲームの客観的難易度を下げる」という主張を支持する結果であると解釈しうる。

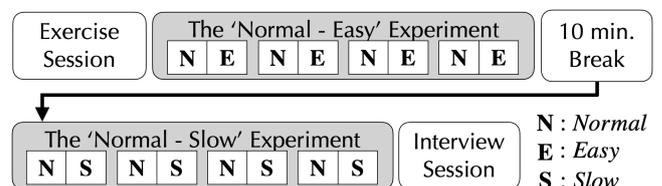


図 5 ユーザスタディの実験設計概要

上記の8つの帰無仮説に検証するため、図5に示した手順での実験設計を行なった。まず初めにユーザスタディに先行して、被験者は3つの「ベース難易度」のバリエーションを数回プレイし、自分のプレイスキルに最も適した「ベース難易度」を選択した(図5:Exercise Session)。このフェーズではデータは収集せず、ユーザスタディで各被験者が行うセッションで使用するために、被験者のプレイス

キルと最もバランスの取れた難易度を選択するだけである。

被験者は、ゲームに難易度調整技術が適用されていることは知らされない状態で、ユーザスタディに参加する。最初のセッションは、CDAA の効果を検証する実験である (図 5: The Normal-Easy Experiment)。被験者はまず、提案手法が適用されていない Normal モードをプレイし、その後、CDAA 手法が適用された Easy モードをプレイする。これを 1 セットとし、合計 4 回繰り返す。各ゲームプレイの直後 (Normal モード直後/Easy モードプレイ直後) に、被験者は「とても難しい」から「とても簡単」までの 7 段階のリッカート尺度でプレイ中に感じた主観的な難易度レベルを評価するよう求められた。また、客観的な難易度に関連するデータ (プレイヤーキャラクタが敵弾に当たった回数とゲームのクリア回数) も収集した。

10 分間の休憩後 (図 5: 10 min. break)、TEM の効果を検証するための実験を行った (図 5: The Normal-Slow Experiment)。先ほどの実験と同様に、被験者は Normal と Slow モードのセットを計 4 セット分プレイした。CDAA と同様主観的な難易度に関するアンケートに回答した。

これらの試行が終わった後、被験者に対してゲームプレイに関する簡単なインタビューを実施した (図 5: Interview Session)。このインタビューは、参加者の中に難易度調整技術を通じてゲームの客観的な難易度が操作されていたことに気づいた人がいるかどうかを確認するために行なった。

7. 実験結果

ユーザスタディには、20 名の学部生 (18~23 歳; 男性 16 人/女性 4 人) が時給 1,000 円の報酬付きで参加した。表 1 および 2 に実験結果を示す。

主観的な難易度 (paired) は、Normal モードと Easy モード/Slow モードの 1 セットをペアとし、被験者の主観的な難易度評価 (7 段階リッカート尺度) にウィルコクソンの符号順位検定に適用した結果である。ただし、各実験初回の Normal-Easy および Normal-Slow セットは検定から除外している。これは、初回の Normal モードのプレイは、が直前に Easy または Slow モードがプレイされていないため、他のペアとプレイ条件が異なるという理由による。

主観的な難易度 (overall) は、Normal モードと Easy モード/Slow モードのプレイ全てから得られた被験者の主観的な難易度評価を、ペアとせずにウィルコクソンの符号順位検定に適用した結果である。ただし、各実験の最初の Normal モードのプレイは検定から除外している。これは前述の主観的な難易度 (paired) の理由と同様、最初の Normal モードのプレイは、Easy (または Slow) モードが直前にプレイされておらず、プレイ条件が他の Normal モードのプレイと異なるためである。

なお、上記の 2 つの検定では同じデータセットを利用しているため、多重比較のためにボンフェローニ補正を適用

し、有意水準を $p = 0.025$ ($p = 0.05/2$) に設定した。

表 1 の CDAA 手法の結果も、表 2 の TEM 手法の結果も、主観的な難易度には統計的な有意差が見られなかった。これらの p 値はかなり大きく、信頼区間は 0 を含んでいる。したがって帰無仮説 H_0 から H_0 は棄却できず、Normal モードから Easy モードに変更された場合でも、Normal モードから Slow モードに変更された場合でも、プレイヤーが認識する主観的な難易度には影響を与えないという事が強く示唆された。

表 1 実験結果: CDAA (Normal-Easy)

項目	p 値/平均値	信頼区間
主観的な難易度に関する検定		
主観的な難易度 (paired)	$p = 0.198$	-1.50 ~ 0.50
主観的な難易度 (overall)	$p = 0.697$	-4.84e-07 ~ 1.00
客観的な難易度に関する検定		
被弾回数 (paired)	$p < 0.001^{***}$	1.86 ~ 4.31
被弾回数 (overall)	$p < 0.001^{***}$	1.64 ~ 4.54
被弾回数平均	N 11.74: E 8.65	
ゲームクリア回数	$p = 0.009^{**}$	-1.73 ~ -0.27
ゲームクリア回数平均	N 1.95: E 2.95	

表 2 実験結果: TEM (Normal-Slow)

項目	p 値/平均値	信頼区間
主観的な難易度に関する検定		
主観的な難易度 (paired)	$p = 0.289$	-1.50 ~ 0.50
主観的な難易度 (overall)	$p = 0.864$	-1.00 ~ 1.00
客観的な難易度に関する検定		
被弾回数 (paired)	$p = 0.509$	-0.67 ~ 1.22
被弾回数 (overall)	$p = 0.560$	-0.79 ~ 1.34
被弾回数平均	N 5.73: S 5.45	
ゲームクリア回数	$p < 0.001^{***}$	-1.90 ~ -0.60
ゲームクリア回数平均	N 2.50: S 3.75	

次に CDAA 手法における客観的な難易度の結果を見る。被弾回数 (paired) に関しては、Normal モードと Easy モードの 1 セットをペアとし、対応のある t 検定を適用している。被弾回数 (overall) では、ウェルチの t 検定を適用して、Normal モードプレイと Easy モードの全体での敵弾被弾回数を比較した (前のテストとは異なりペアではない)。敵弾ヒット数は客観的な数値であり参加者の主観的な認識に影響されないため、この 2 つの検定では全ての Normal モードと Easy モードのセット全てのデータを除外せず利用した。これらの 2 つの検定も多重比較をおこなっているため、ボンフェローニ補正を適用し、有意水準を $p = 0.025$ ($p = 0.05/2$) に設定した。表 2 に示した結果では、どちらの p 値も 0.001 未満であり、信頼区間は 0 を含んでいない。よって、Normal モードと Easy モードの間には統計的に有意な差がみられた。これらの結果は、提案手法が、

ゲームの客観的難易度を敵弾被弾回数の面で減らしたことを示唆している。表2はCDAAs手法におけるゲームクリア回数でも、NormalモードとEasyモード間のゲームクリア回数にWelchのt検定を適用した結果も示している。この検定は多重比較をとまわらないため、通常の $p = 0.05$ の有意水準を利用した。 $p = 0.009$ であり、信頼区間には0を含まないため、統計的に有意な差が見られる。この結果により帰無仮説 H_{05} から H_{07} は棄却され、客観的難易度の変更されていることが窺える。また被弾回数平均も低い方向へ変化しておりゲームクリア回数平均は高い方向へ変化しているため、客観的難易度が下がったことが窺える。

次に表3のTEM手法の実験結果をみる。被弾回数には統計的有意差は見られなかったが、これはTEMは被弾回数に関する難易度を制御する手法ではないため、関係のない検定といえるが、有意差がないことはゲームタイムの速度変更が敵弾に関する客観的難易度に影響を与えなかったことを示唆しており、望ましい結果と言える。一方、ゲームクリア回数には統計的有意差が見られる($p < 0.001$ かつ信頼区間が0を含まない)。つまり、帰無仮説 H_{08} は棄却される。ゲームクリア回数平均は高い方向へ変化しているため、客観的難易度が下がったことが示唆される。

よって、主観的難易度に関する帰無仮説： H_{01} から H_{04} は棄却されなかったのに対し、客観的難易度に関する帰無仮説： H_{05} から H_{08} は棄却されたため、提案した両提案手法どちらも「被験者が認識する主観的難易度に影響を与えることなく、ゲームの客観的難易度を減った」ことが示唆され、提案手法の有効性が確認された。

8. おわりに

本研究では、「プレイヤーが感じる主観的難易度に影響を与えることなく、ゲームの客観的難易度を下げる」ことを目的とした、2つの難易度調整手法を提案した。両提案手法の効果を検証するためのユーザスタディの結果、両手法とも非常に強く有効性が示唆された。本研究は、客観的難易度と主観的難易度の区別を考慮した難易度調整手法の数少ない研究例であるだけでなく、実用的な動的難易度調整手法としても有益であると考えられる。本研究は既にACM Multimedia Asia 2023のショート・ペーパー部門に採択され発表されているが[10]、今後の研究では更に、提案手法を効果的な適用方法など、更なる応用を探る予定である。

参考文献

[1] Chen, J.. Flow in games (and everything else). Commun. ACM Vol.50 (4). ACM, 2007, pp.31-34.
 [2] Constant, T., Levieux, G., Buendia, A., and Natkin, Stéphane.. From objective to subjective difficulty evaluation in video games. In Proceedings of Human-Computer

Interaction-INTERACT. Springer, 2017, pp.107-127.
 [3] Csikszentmihalyi, M. and Csikszentmihalyi, I.S.. Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness. Cambridge university press, 1992.
 [4] Csikszentmihalyi, M.. Beyond boredom and anxiety. Jossey-bass, 2000.
 [5] Endoh, M., Fernández B., H.D., and Mikami, K.. 2017. Dynamic Pressure Cycle Control: Dynamic Difficulty Adjustment beyond the Flow Zone. In Proceedings of the 2017 Nicograph International. NICOGRAPH, 2017.
 [6] Hodent, C.. Chapter 12.4. Game Flow, The Gamer's Brain: How neuroscience and UX can impact video game design. Crc Press, 2017.
 [7] Hunnicke, R. and Chapman, V.. AI for Dynamic Difficulty Adjustment in Games. The AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2004.
 [8] Hunnicke, R.. The case for dynamic difficulty adjustment in games. In Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology, 2005, pp.429-433.
 [9] Paraschos, P.D. and Koulouriotis, D. E.. Game Difficulty Adaptation and Experience Personalization: A Literature Review. International Journal of Human-Computer Interaction Vol.39(1), 2023, pp.1-22.
 [10] Sakaue, S., Kimura, T., and Nishino, H.. Reducing Objective Difficulty Without Influencing Subjective Difficulty in a Video Game. In Proceeding of ACM Multimedia Asia, 2023.
 [11] 宇藤克, 西野裕樹: プレイヤの主観的な難易度評価に注目した難易度調整手法, インタラクシオン 2023 予稿集, 情報処理学会, 2023.
 [12] 築瀬洋平. 誰でも神プレイできるシューティングゲーム. In Proceedings of the Workshop on Interactive Systems and Software. ソフトウェア科学会, 2013, pp.147-148.
 [13] Yanase, Y. and Narumi, T.. 誰でも神プレイできるジャンプアクションゲーム. Transactions of the Virtual Reality Society of Japan Vol. 21(3), 日本ヴァーチャルリアリティ学会, 2016, pp.415-422.
 [14] Zhang, J.. Directly Controlling the Perceived Difficulty of a Shooting Game by the Addition of Fake Enemy Bullets. In Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2021.