

生物学的制約による人間らしい対戦テトリス AI の研究

土居海里^{1,a)} 竹内聖悟²

概要: 近年 AI 技術の発展に伴い対戦ゲーム AI の分野においても強さ以外の価値を与えるため、動的な強さの調整などの研究が様々なゲームで行われていた。著者らは以前に対戦テトリスの動的難易度調整を行ったが、その後行った人間との対戦では、AI の操作精度や操作速度の高さ等の影響により不自然かつうまく調整できないという問題があった。本研究では対戦テトリスにおける対戦 AI の人間らしさの影響について、生物学的制約などの人間らしさを導入した AI と従来の動的難易度調整を行う AI の 2 種類の AI と人間プレイヤーとの対戦実験により評価を行った。人間らしさや楽しさの評価については 5 段階評価のアンケートと自由記述の回答などを基に考察を行った。また人間らしさが AI の動作に本当に表れているか確認するために 2 種の AI の動作を人間プレイヤーに確認してもらい評価を行った。本稿では対戦テトリスにおける人間らしさの影響について対戦者自身には影響が少なく、類似ゲームにおける動的難易度調整において自然さを考慮しない AI でも十分な楽しさを与えられる可能性を示した。

Research on Human-like AI in Competitive Tetris AI Using Biological Constraints

DOI KAIRI^{1,a)} TAKEUCHI SHOGO²

Abstract: With the development of AI technology in recent years, research on dynamic strength adjustment has been conducted in the field of competitive game AI in order to add value other than strength to various games. The authors had previously performed dynamic difficulty adjustment of competitive Tetris, but in subsequent follow-up experiments against humans, the problem was that the adjustment was unnatural and could not be made well due to the AI's manipulation accuracy and high manipulation speed. In this study, we evaluated the influence of the human-like characteristics of the AI in competitive Tetris by conducting experiments with two types of AI: one that introduces human-like characteristics such as biological constraints, and the other that performs conventional dynamic difficulty adjustment, against a human player. The evaluation of humanity and enjoyment was discussed based on the 5-point questionnaire and free response, etc. In addition, to confirm that human-like qualities were truly expressed in the AI's behavior, we asked human players to check and evaluate the behavior of two types of AI. In this paper, we show that the influence of human-ness in competitive Tetris has little effect on the players themselves, and that even AI that does not consider naturalness in dynamic difficulty adjustment in similar games may be able to provide sufficient enjoyment.

1. はじめに

近年 AI 技術の向上などにより、ゲームの分野においても人間を超える強さを得た AI が開発されることが増えてきた。またゲーム AI がある程度の強さを得られたことにより動的難易度調整など人間プレイヤーと対戦することを

前提とした AI の研究も増えている。これらの研究は人間プレイヤーに楽しくゲームをプレイしてもらおうことを目的としている。しかし難易度調整を行う際の不自然な調整や行動の選択はプレイヤーに不信感を募らせゲームへの没入感を削ぎ、楽しくプレイする際に支障をきたすという研究がある [1]。

また格闘ゲームでは石原らが動的難易度調整 AI の課題であった「当たらない攻撃を繰り返す」や「意味のないバツ

¹ 高知工科大学大学院 工学研究科

² 高知工科大学 情報学群

^{a)} 265108n@gs.kochi-tech.ac.jp

クステップ」などの不自然な動作の発生を抑制し、自然に楽しく遊べる格闘ゲーム AI の研究を行っていた [2]。この研究結果でも中級者以外で従来の AI と比較して自然な動作をする AI が楽しいという評価を得られている。このように動的難易度調整の研究では主眼である「楽しい対戦」を実現する為にある程度自然に強さを調整することが求められる。

著者らは対戦テトリスにおいて、相手の選んだ手の評価値に揃えるように AI の手を調整する動的難易度調整の研究を行なった [3]。この研究では AI 同士の対戦で有効な結果を得られたが、発表後に人間プレイヤーと対戦を行わせた際には、AI がほとんど勝利し、動的難易度調整が人間には上手くできていなかった。人間プレイヤーと AI の操作を比較すると、この AI はプレイ中に明確な操作ミスがなく、逆に人間プレイヤーは高速な操作の中で頻繁に操作ミスなどを起こしていた。このようなミスなく高速に操作する技術の高さと調整による選択の拙さとのギャップが対戦相手に不自然な印象を与えることが考えられる。このことからリアルタイム性が高く高速な操作が求められるゲームでは、AI も自然な操作を実現することが必要であると考えられる。

そこで本稿ではこの自然な操作ミスの実現のために認識の遅れや勘違いなどの生物学的制約と対戦テトリス特有の自然な動作を導入し、人間プレイヤーに対して自然な調整を行うテトリス AI を開発する。

また自然さの先行研究で用いられていた将棋などのボードゲームや格闘ゲームは自分プレイヤー側から相手の行動や状況が把握しやすいゲームであり、自然な動作と楽しさが評価として繋がりがやすいと考えられる。しかし、今回実験を行う対戦テトリスは自分プレイヤーが注視する画面と相手の操作する画面が異なっているという特色を持っており、このようなゲームにおいてはそもそも自然さ等の行動を自分プレイヤー側で確認しておらず、楽しさの評価に繋がらないことも考えられる。そこでこの提案手法を実装した自然なテトリス AI とオンライン上で募集した人間プレイヤーと対戦実験とアンケートを行い、対戦テトリスにおける自然さの有効性を検討する。

2. 関連研究

近年様々な対戦ゲーム AI において人間らしい行動を持つ AI が研究されている。杵渕らは将棋において AI とプロ棋士の対局中に行っている思考の傾向が異なっているという着眼点から人間らしい行動を持つ AI の実現を目指した [4]。伊藤らはプロ棋士が過去の棋譜データなどの経験知識を用いて流れに沿った手を選択しているという思考傾向を用いて、コンピュータの棋譜と人間の棋譜を統計的に比較し、人間の棋譜に有意に現れる手順を抽出することで

AI に人間らしさを与えようとした。この研究では提案 AI の選択する手を将棋の熟達者が評価を行い、既存 AI との比較を行っており、既存 AI より提案 AI が自然な手を生成している可能性を示唆することができた。

また池田は人間の上手プレイヤーが人間の下手プレイヤーを接待する際に楽しませる要因となる要素をまとめ、その内の不自然な着手の排除と多様な戦略を持った AI を開発し、人間プレイヤーとの対戦にて評価を行っている [5]。この研究は AI が人間プレイヤーよりうわ手となることが増えてきた現在の様々なゲーム AI において、強さ以外の更なる付加価値を与えるためのアプローチの仕方を提案した。

また将棋などのボードゲーム以外でも人間らしい行動を持つ AI は研究されている。藤井らはビデオゲームにおける人間らしさについて既存研究のようなヒューリスティックに依存しない汎用的な振る舞い獲得を行うために、生物学的制約と呼ばれる人間の身体的制約を AI に導入し、AI の人間らしさの獲得を目指した [6]。この研究では提案 AI の動作を人間が確認し、その動作をアンケートなどで評価し、多数の実験参加者に人間らしいと思われる AI の人間らしさの自動構築ができることが示された。格闘ゲームでは、石原らが AI のゲーム中の意味の無い不自然な行動を抑制し、自然に調整を行う格闘ゲーム AI の開発を目指した [2]。石原らはこの不自然な行動の発生タイミングが HP の差が 0 に近い場合に発生していることを調べ、AI の攻撃性を調整する評価式を実装し、人間と対戦実験を行った。この対戦後のアンケート結果では中級者に高く自然と評価される AI の開発に成功した。

3. 対戦テトリス

今回用いた対戦テトリスとは従来の広く知られているテトリスと同様にミノと呼ばれる様々な形をしたブロックを積み上げていき、「行」(以下ラインと言う)を揃えて消していくゲームである。従来のテトリスと異なる点は自分の盤面で消去したラインの数に応じて相手の盤面にお邪魔ミノと呼ばれるラインを下から追加していくことである。この時送られてくるお邪魔ミノのラインはランダムな場所に 1 つだけ穴を持っており、送られた対戦相手はこの穴はミノを用いて埋めることでお邪魔ミノを消す。勝利条件は相手のミノの出現位置を他のミノで埋めることである。

以下に対戦テトリスにおける消したライン数と相手に送るお邪魔ミノの関係を表 1 として以下に示す。

表 1 対戦テトリスの基本的な消したミノとお邪魔ミノの関係

消したライン数	お邪魔ミノのライン数	BTB
2 ライン	1 ライン	無し
3 ライン	2 ライン	無し
4 ライン	4 ライン	1 ライン

上記の表の BTB は「Back to Back」の略称で、同じラ

イン数を連続して消した際にボーナスとして相手に送るお邪魔ミノのラインである。また対戦テトリス固有の消し方も存在し、その方法で消した際にはその種類に応じた追加のお邪魔ミノを相手に送ることができる。勝利条件は相手のミノの出現位置を他のミノで埋めることである。

以下に対戦テトリスの実際の画面を図1として示す。これは実験にも用いた『PuyoPuyoTetris』の対戦中のスクリーンショットである。



図1 対戦テトリス

4. 提案手法

対戦テトリスの既存の難易度調整 AI は、AI 同士では強さの調整ができていたが、人間プレイヤーに対して適切に難易度を調整することができなかった。プレイ中の AI とプレイヤーの操作を比較すると、AI とプレイヤーで誤操作の頻度が大きく異なることが分かった。そこで AI に自然なプレイをさせるために、生物学的制約やゲームの特有の仕様を扱い、自然な操作を実現する AI の開発を目指す。

4.1 生物学的制約

具体的に実装する制約として、自然なマリオ AI の研究で用いられた2つの生物学的制約として「遅れ」「揺らぎ」[6]と対戦テトリス特有の自然な動作を AI に実装し、自然な対戦テトリス AI の開発を目指す。

まず「遅れ」とは人間が物や画面を認識し、操作処理を行い始めるまでのタイムラグを示している。格闘ゲームの FightingICE ではこの状態認知の遅れをシステムに組み込むために約 0.25 秒前の局面を AI に与えることで遅れを実装している [7]。そこで本論文でも画面を認識し、操作に反映させるまでのタイムラグとして 0.25 秒、操作を遅らせる機能を実装する。

次に「揺らぎ」とは人間が物や画面を認識した際に発生する勘違いなどによるずれのことである。今回の実装では、このずれを発生させるために現在操作しているブロックの位置にノイズを加え、実際の位置とのずれを発生させる。これにより結果として画面全体にノイズをかけた結果と同じ効果が得られると考えられる。この画面認識のずれ

を実現する為に今回はガウスノイズと操作速度を用いる。実装の手順としては以下のような流れになる。

- (1) ガウスノイズを発生
- (2) 得られたノイズ値が操作速度基準で定められた閾値以上ならば(3)に進む、閾値以下ならば(4)に進む
- (3) 現在のブロックの位置をずらす。ノイズの値が正の値ならば右に1ブロック、逆に負の値ならば左に1ブロックずらす
- (4) 次に行う操作について探索を始める。次の探索を始める際には(1)に戻る

4.2 対戦テトリス特有の自然さ

最後に自然な手の選択として対戦テトリス特有の仕様である相殺を実装する。相殺とは、相手からお邪魔ミノが送られた際に自分もラインを消すことにより AI 側に送られてくるお邪魔ミノの数を減らす、または打ち消す行為である。これは相手の状態を確認することがなかった従来の対戦テトリス AI にはない戦術であり、上位の人間プレイヤーに対して人間らしく感じさせることができると考える。また生物学的制約による自然な操作の実現と相殺のような自然な手選択の両方を実装することでどちらからのアプローチが効果的に働くか比較することも可能であると考えられる。相殺の具体的な実装は以下のような流れで行われる。

- (1) 相手がお邪魔ミノを送ってきたか判定
- (2) 送ってきた場合、相殺できる分消せるラインがあるか判定し、ある場合それを優先して消し、(1)へ戻る。送られていない場合は(3)へ進む
- (3) 通常の探索で選ばれた手を選択し、(1)へ戻る

5. 実験方法

5.1 対戦者視点における評価実験

今回は人間とテトリス AI との対戦実験を行い、その後のアンケートで自然さや面白さへの影響を確認する。対戦テトリスの環境として利用するゲームは SEGA 開発の steam 版 PuyoPuyoTetris である。ゲーム内の「オンライン」モードの「クラブ」モード内、「VS」ルールを利用して被験者との対戦実験を行う。この対戦に用いる対戦テトリス AI は比較のため2種類用意した。1つ目が人間の対戦相手となるよう操作速度などを調整した従来の動的難易度調整を行う対戦テトリス AI で2つ目が、それに加えて生物学的制約を導入した対戦テトリス AI である。従来の動的難易度調整を行う AI は最高速度で操作を行っていたが、これでは人間プレイヤーの相手ができない。今回は

対戦テトリスにおける自然さの検証が主目的の為、対戦相手の強さグループ毎に操作速度を調整し対戦を行う。この調整は操作速度に対して行ったが、操作ミスなどがなく従来の AI と比べても自然さの評価への影響は少ないと考えられる。実験は以下のような流れで行われる。

- (1) 対戦テトリスの経験に関する簡単に質問を行う
- (2) 得られた回答を基にプレイヤーを初級者、中級者、上級者の 3 グループに分類する
- (3) その後それぞれのプレイヤーのグループに応じて操作速度などを調整した 2 種類のテトリス AI との対戦を行う (各 10 戦程度)
- (4) 最後にプレイした感想についてアンケートを基に回答する

対戦実験を行う前に実施した習熟度における分類のためのアンケートの内容を以下に示す。

- (1) これまで対戦テトリスをプレイしたことがありますか? あれば (2) へ進む。なければ (3) へ進む
- (2) これまでの対戦テトリスでの戦績 (レートなど) があれば記述
- (3) 対戦テトリスの定石に関する質問を 3 種類行う

上記の質問の結果を元にプレイヤーの実力を推定し、適切な操作速度となるように調整した AI との対戦実験を行う。次に対戦実験終了後に被験者が回答したアンケートの内容を以下に示す。アンケートの 1~3 番は 5 段階評価で回答してもらい内容となっており、対戦した 2 種類の AI それぞれをこれにより評価する。

- (1) 対戦相手の強さが自信と同程度であったか?(同程度の場合 3)
- (2) 対戦相手が人間らしいと感じたか?(人間らしい場合 5)
- (3) 対戦して楽しいと感じたか?(楽しい場合 5)
- (4) 自由記述

5.2 観戦者視点における評価実験

最後に、今回用いた対戦テトリスはそのリアルタイム制から対戦相手の状況をうまく確認できず、提案 AI の人間らしさが対戦ではわからない可能性がある。そこで対戦実験とは別に 2 種類の AI と人間プレイヤーとの対戦動画を視聴してもらいどちらの方が人間らしいか評価する実験も行う。対戦映像では 1P が人間プレイヤー、2P がそれぞれの AI となっている。実験は以下のような流れで行われる。

- (1) 2 種類の AI の対戦中の映像を視聴する (5 戦)
- (2) それぞれの AI についてアンケート評価を行う

アンケート評価の内容を以下に示す。

- (1) 2P のプレイヤーが AI もしくは人間のどちらと感じたか
- (2) その考えた理由の自由記述

6. 実験結果と考察

被験者とのオンラインでの対戦実験を行う前に実施した対戦相手のグループ毎に操作速度を変更した上で動的難易度調整を行う対戦テトリス AI と初級者、中級者、上級者相当に強さを制限した他の対戦テトリス AI との対戦実験の結果を以下の表 2 に示す。

強さ	対戦数	動的難易度調整 AI の勝利数
初級者相当	200	108
中級者相当	200	126
上級者相当	200	123

この結果からそれぞれの強さのグループ相当にも 6 割程度の勝率を維持することができ、ある程度動的に調整できる AI を用意できた。この AI と更に生物学的制約を導入した提案 AI を用いて対戦実験を行う。

6.1 対戦者視点における評価実験結果

今回の対戦実験における対戦相手となる被験者についてはインターネット上の対戦テトリスコミュニティのサイトにて募集を行い 6 名と対戦実験を行った。集まった被験者のグループ内訳は初心者 1 名、中級者 2 名、上級者 3 名である。その際に得られたそれぞれのグループの平均勝利数を以下の表 3、4 に示す。

強さグループ	対戦数	人間プレイヤーの平均勝利数
初級者相当	10	3
中級者相当	10	4.5
上級者相当	10	4.75

強さグループ	対戦数	人間プレイヤーの平均勝利数
初級者相当	10	4
中級者相当	10	5
上級者相当	10	5.5

これらの表の勝利数から従来の AI と提案 AI は同程度

の勝利数を得られており、それぞれの AI と被験者の間に大きな実力の乖離は無いことがわかる。またこの結果から勝利数による影響によってアンケート評価の楽しさの項目などへの悪影響は少ないと考える。またこの対戦実験後に行った 5 段階評価アンケートの回答結果を以下の表 5、6 に示す。表 5、6 中の最良値とは回答で得られた際に最も高く評価される値のことである。

設問	平均の回答結果	最良値
自身と同程度の実力か	3.8	3
人間らしいと感じたか	3.75	5
楽しかったか	4.6	5

設問	平均の回答結果	最良値
自身と同程度の実力か	2.5	3
人間らしいと感じたか	2.9	5
楽しかったか	4.3	5

強さに関するアンケートではどちらの AI も少し弱いまたは少し強いという結果となった。これは生物学的制約により発生した操作ミスなどが影響した事が原因であると考えられる。しかし表 3、4 の通り勝利数としては初心者以外のそれぞれのグループで五分に近い結果が得られているため同程度の実力に近づけられたと考えられる。次に人間らしさの項目では従来の動的難易度調整 AI の方が人間らしいという評価となった。この評価理由について初心者、中級者プレイヤー間では自由記述にて「相手の画面を見る余裕がない」として 3 のどちらでもない評価を行っていた。逆に上級者間では自由記述にて「相手から送られるお邪魔ミノの数が多い時と少ない時で差が激しい」として人間らしくないという評価を行っていた。最後の楽しさの項目についてのアンケートではどちらもある程度以上の評価を得られたが、最終的には従来の動的難易度調整 AI の方が高く評価された。この理由については自由記述にて「緊迫した対戦ができた」などの回答が得られており、特に上級者ほど少し強い相手の方が楽しく対戦を行えるという結果になった。

6.2 対戦者視点における評価実験結果の考察

強さに関するアンケート結果では勝利数が同程度にも関わらず AI によって少し強いまたは少し弱いという評価になった。この原因として攻撃行動と生存のための防御行動のバランスが影響したと考える。従来の動的難易度調整 AI は相手が有利な状況において攻撃行動を多く取り、AI もしくは人間プレイヤーが敗北しそうな場合には攻撃行動を控え、生存の為の行動を優先するという性質があった。し

かし今回の提案 AI では生物学的制約の誤操作の影響により、人間プレイヤーが有利な状況で対戦が進行し、AI が敗北を防ぐために生存行動を多く取るようになったことで、人間プレイヤーがゲームの主導権を握り、自身の方が強いと感じた事がこのような評価につながったのではないかと考える。実際に自由記述においても従来の動的難易度調整 AI の方が緊迫した対戦ができたとの評価も得られている。

次に人間らしさに関するアンケートについては従来の動的難易度調整 AI の方が高い評価を受けるという結果となった。この原因として 2 つの理由が影響したと考える。一つ目は上級者プレイヤーであっても対戦相手の状況を把握する事が困難であり、そもそもほとんどのプレイヤーが人間らしさについて評価できてなかったことである。特に中級者以下のプレイヤーでは、ゲーム特有の 2 画面性とリアルタイム性により、自身が制御可能な限界の操作速度で操作をするために自身の画面のみに集中しており、相手の行動を確認できず、結果として人間らしさの評価ができなかったと考えられる。これにより上級者が少し高く評価したことが直接全体の評価に影響した。2 つ目はオンラインで実施したことによるラグの存在である。今回の提案 AI では「遅れ」の実装にあたり、0.25 秒の操作の遅延を発生させている。しかし、今回実験で行った実際のオンラインの対戦では操作入力が可能になるまでに若干のタイムラグが存在し、結果としてそのタイムラグと遅れを合わせた分だけ操作の反映が遅くなってしまった。これにより本来実装予定であった生物学的制約の遅れ以上に操作の反映が遅れ、上級者においてその AI の手選択の能力の高さと操作を行う遅さのギャップが発生し、不自然であると感じさせた可能性がある。これらの結果から少なくとも 2 画面性のリアルタイム性の激しいゲームにおいては、多少の不自然な行動は基本的に気づかれないという事がわかった。

最後に楽しさに関するアンケートでは両方高い評価を得たが従来の動的難易度調整 AI の方が高い評価になった。この原因としては強さの原因でも述べた攻撃行動と生存行動のバランスが崩れた事により従来の AI の方が攻撃行動を行うことができ、ゲームの主導権の奪い合いができたことが影響したと考える。

6.3 観戦者視点における評価実験結果

観戦者視点における評価実験については対戦実験を実施した被験者のうち 4 名にアンケートを行い追加評価を行った。被験者の内訳は中級者が 2 名、上級者が 2 名となっている。このアンケートの結果では従来の動的難易度調整 AI は 4 名共が「AI である」という評価を行っており、提案 AI は 2 名が「AI である」、もう 2 名が「人間である」という評価を得られた。

6.4 観戦者視点における評価実験結果考察

従来の動的難易度調整 AI の評価では自由記述にて「先読み行動や操作が正確」、「選択する手の高度さと操作技術の不一致」、「操作手法が AI」などの評価が得られた。特に「操作手法が AI」という評価については、AI の入力手法が影響していると考えられる。今回用いているテトリス AI や他のテトリス AI においてもブロックは最短のルートを通り、設置される。しかし人間プレイヤーは長時間プレイを行うため、最短ルートである操作よりも最小入力となる操作手法を多く行う。このような操作の反映の実施方法の違いが上級者プレイヤーから人間らしくないあるいは他の AI と類似していると評価を受けたと考える。次に生物学的制約を導入した提案 AI の評価では自由記述にて「自分から地形(盤面の形)を乱している」、「操作速度が遅い」などの評価が得られた。特に「自分から地形を乱している」という評価は 2 名共から挙がっており、生物学的制約の「揺らぎ」の効果がある程度得られていることが分かった。ただし、この「自分から地形を乱す」という行動はグループ毎に異なった評価をしており、中級者グループでは人間らしいと評価しているが、上級者グループでは不自然であるという評価が得られた。この評価の違いについては被験者の能力によって自然な操作のレベルの基準が異なることが原因であると考える。

7. おわりに

本稿では生物学的制約と対戦テトリス特有の自然さを追加し人間らしく対戦するテトリス AI を開発した。更に被験者との対戦実験や映像視聴による評価実験を行い、対戦テトリスにおける自然さについて考察した。また 2 盤面性と激しいリアルタイム性を持つ対戦ゲームにおける人間らしさの必要性についても検討した。映像視聴による評価実験では従来の動的難易度調整のみを行った AI よりも人間らしいという評価を得ることができた。しかし対戦実験における人間らしさは従来の動的難易度調整 AI の方が高い評価を受けており、これらの結果から少なくとも対戦テトリスに類似した対戦ゲームにおいて動的難易度調整 AI はあまり自然な動作を意識しなくても十分に「プレイヤーを楽しませる」という主眼を達成できるのではないかという可能性が示唆された。ただし、今回行った実験は被験者の募集が効率的に行えておらず、被験者も他の類似研究に比べ半分以下の数となっているという課題もある。これらのことから今後更なる追加実験を実施し、アンケート評価の正確性の向上が必要であると考えられる。

参考文献

- [1] 池田心. 楽しませる囲碁・将棋プログラミング. オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, 2013.
- [2] Makoto Ishihara, Suguru Ito, Ryota Ishii, Tomohiro

Harada, and Ruck Thawonmas. Monte-carlo tree search for implementation of dynamic difficulty adjustment fighting game ais having believable behaviors. *2018 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pp. 1–8, 2018.

- [3] 土居海里, 竹内聖悟. 対戦テトリスにおける評価値を利用した動的難易度調整. ゲームプログラミングワークショップ 2022 論文集, Vol. 2022, pp. 144–150, 2022.
- [4] 杵淵哲彦, 伊藤毅志. 手の流れを考慮して自然な手を選ぶ将棋 ai の試作. 研究報告ゲーム情報学 (GI), Vol. 2015, No. 12, pp. 1–8, 2015.
- [5] 池田心. モンテカルロ碁における多様な戦略の演出と形勢の制御: 接待碁 ai に向けて. 情報処理学会, 2012.
- [6] 藤井叙人, 佐藤祐一, 若間弘典, 風井浩志, 片寄晴弘ほか. 生物学的制約の導入によるビデオゲームエージェントの「人間らしい」振舞いの自動獲得. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 7, pp. 1655–1664, 2014.
- [7] 石原誠, 宮崎泰地, 原田智広ほか. 対戦格闘ゲームにおけるゲーム ai や操作法の違いがプレイヤーの感じる面白さに与える影響の分析. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 11, pp. 2414–2425, 2016.