

令和5年度
修士学位論文

楽しい対戦テトリス AI における人間らし
い行動の有効性の研究

Research on the Effectiveness of Human-like
Behavior in Fun Competitive Tetris AI

土居 海里
指導教員 竹内 聖悟

2024年2月28日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報学コース

要旨

楽しい対戦テトリス AI における人間らしい行動の有効性の研究

土居 海里

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、その後に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い行動とプレイ中の楽しさの関係について、将棋などのこれまで研究が行われてきたゲームとは異なる新たな知見が得られた。

キーワード 自然な行動、 ゲーム AI、 対戦テトリス

Abstract

Research on the Effectiveness of Human-like Behavior in Fun Competitive Tetris AI

Doi, Kairi

With the development of AI technology in recent years, research has been conducted in the field of competitive game AI to provide values other than strength, such as dynamic strength adjustment in various games. The authors had previously performed dynamic difficulty adjustment of competitive Tetris, but in subsequent games against humans, there was a problem that the adjustment was unnatural and could not be performed well due to the influence of the AI's operation accuracy and high operation speed. In this study, we evaluated the influence of the human-like characteristics of the AI in competitive Tetris by conducting experiments against two types of AI and human players: an AI that introduces human-like characteristics such as biological constraints and a conventional AI that dynamically adjusts the difficulty level. The evaluation of human-likeness and enjoyment was based on a 5-point questionnaire and free-answer responses. In addition, we asked human players to confirm whether the AI's human-like behavior was truly expressed in the AI's actions, and evaluated them. This paper provides new findings on the relationship between human-like behavior and enjoyment during play in competitive Tetris, which are different from those of games such as Shogi that have been studied in the past.

key words Natural Behavior, Game AI, Competitive Tetris

目次

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| 第 1 章 | 序論 | 1 |
| 1.1 | はじめに | 1 |
| 第 2 章 | 関連研究 | 3 |
| 2.1 | 人間らしい行動に関する研究 | 3 |
| 2.2 | 落ちものパズルゲームを対象とした研究 | 4 |
| 第 3 章 | 対戦テトリスとは | 6 |
| 3.1 | 対戦テトリスのルール | 6 |
| 第 4 章 | 提案手法 | 8 |
| 4.1 | 生物学的制約 | 8 |
| 4.2 | 対戦テトリス特有の自然さ | 9 |
| 第 5 章 | 実験方法 | 10 |
| 5.1 | 対戦者視点における評価実験 | 10 |
| 5.2 | 観戦者視点における評価実験 | 12 |
| 第 6 章 | 実験結果と考察 | 13 |
| 6.1 | 対戦者視点における評価実験結果 | 13 |
| 6.2 | 対戦者視点における評価実験結果の考察 | 16 |
| 6.3 | 観戦者視点における評価実験結果 | 19 |
| 6.4 | 観戦者視点における評価実験結果の考察 | 19 |
| 第 7 章 | 結論 | 21 |
| | 謝辞 | 22 |

目次

参考文献 23

付録 A 25

目次

| | |
|--|----|
| 3.1 対戦テトリス | 7 |
| 6.1 勝率と対戦の楽しさについてのアンケート結果 | 16 |
| 6.2 勝率と対戦相手の強さの感じ方についてのアンケート結果 | 17 |
| A.1 グループ分けのための習熟度確認アンケート | 26 |
| A.2 対戦後アンケート | 27 |
| A.3 動画視聴実験アンケート | 28 |

表目次

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | 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 | 6 |
| 6.1 | 動的難度調整 AI と各グループ | 13 |
| 6.2 | 従来 of 動的難易度調整 AI と各グループ of 平均勝利数 | 14 |
| 6.3 | 生物学的制約を追加した AI と各グループ of 平均勝利数 | 14 |
| 6.4 | 従来 of 動的難易度調整 AI のアンケート評価 | 14 |
| 6.5 | 生物学的制約を追加した AI のアンケート評価 | 15 |

第 1 章

序論

1.1 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「意味のないバックステップ」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

1.1 はじめに

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は対戦相手に不自然な印象を与える可能性が考えられる。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な行動等の相手プレイヤー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。

第 2 章

関連研究

2.1 人間らしい行動に関する研究

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。

また池田は人間のうわ手プレイヤーが人間のした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。多様な戦略については対戦テトリスにも存在し、プレイヤーの好みによって用いる戦略は異なる。

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

2.2 落ちものパズルゲームを対象とした研究

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。今回研究に用いた対戦テトリスのような落ちものパズルゲームにおいては、格闘ゲームの HP に相当するものは存在せず、そのままこの調整手法を用いることはできない。しかし、積み上げたブロックの高さが格闘ゲームの HP に相当すると考えることができ、石原らの提案手法でも調整が可能であると考えられる。ただし、対戦テトリスには格闘ゲームのような必殺技など試合に大きな影響を及ぼすような効果的な技が無く、HP の差ができた際にそれを埋めるためにより高度な手や高速な操作などを行う必要があり、このような急激な変化は自然さを損なう可能性があるという課題があると考ええる。

2.2 落ちものパズルゲームを対象とした研究

テトリスのゲーム AI に関する研究の一つとして、最適化手法の比較のため平均消去ライン数を最大にするテトリス AI の研究が行われていた。竹内らの研究ではミツバチの群れからヒントを得た最適化アルゴリズムの一つである ABC アルゴリズムを改良したアルゴリズムを用いてテトリス AI の開発を行なった [7]。実験の結果から既存のニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを用いて最適化を行なった手法よりも平均消去ライン数が上回る事となった。また対戦テトリス以外では、通常の一人用テトリスにおいて、ランダムに発生するテトリスブロックをプレイヤーの能力によって動的に変化させ、成績の向上を目指した研究もある [8]。この研究では、異なる実力を持ったプレイヤー 15 名からゲームプレイ中の操作特徴を抽出し、動的にプレイヤーのクラス分けを行

2.2 落ちものパズルゲームを対象とした研究

い、その後グループ毎に適切なブロックを発生させるという手法を用いて動的な調整を試みた。その結果として、プレイ中のブロックを調整した方が調整しなかったものと比較して、アンケート評価でスコアとゲームの満足度共に向上させることに成功した。

また、テトリス以外の落ちものパズルゲームとしてぷよぷよのゲーム AI についても研究されている。隅山らは人間を楽しませるぷよぷよ AI として、人間の行動を模倣させた AI について研究していた [9]。この研究では、ぷよぷよで連鎖を多く発生させるために人間が用いている定石を AI に学習させ、より人間らしい AI の開発を行っていた。結果として 50 個の学習データから 220 種弱の定石形を抽出することができ、人間プレイの基礎的な定石の抽出ができた。しかし、この研究では定石を局所的に抽出しており、大きい連鎖を発生させる際に必要な離れた位置の同色ブロックを用いた定石の抽出が出来ていないという課題もあった。他にも福地らはぷよぷよにおける幅広い強さの AI 生成を行う前段階として、深層教科学習を用いて一定の強さを持つ AI の生成を行った [10]。この研究では Soft Actor Critic と Self-Play を用いて、ぷよぷよにおける戦略の学習を行い、一人用ぷよぷよと対戦ぷよぷよでの AI の生成を行った。結果として、当初の目的である一定の強さを持つ AI の生成ができたが、この研究では学習の効率化の為、ぷよぷよのランダム性を排除しており、今後の課題としてランダム性を含めた学習を行う必要もある。

第 3 章

対戦テトリスとは

3.1 対戦テトリスのルール

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 3.1 として以下に示す。

表 3.1 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

3.1 対戦テトリスのルール

とができる。

以下に対戦テトリスの実際の画面を図 3.1 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 3.1 対戦テトリス

第 4 章

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 と人間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 [11]。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、操作を遅れさ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

4.2 対戦テトリス特有の自然さ

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。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

第 5 章

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。今回の実験は集まりにくいと予想される被験者 (特に上級者) を一定数集める都合上、オンラインで実験を行う被験者とオフラインで実験を行う被験者に分けて実験を進める。オンラインで実験する際には、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。オフラインで実験をする際には、ゲーム内の「みんなで」モードの「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な行動の有効性について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る。実験は以下のような流れで行われる。

5.1 対戦者視点における評価実験

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、AI の対戦の順番については被験者毎にランダムで実施)
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。詳細は付録の図 A.1 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。詳細は付録の図 A.2 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う内容となっており、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 5)
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性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 (動画は 5 戦、AI の順番は被験者毎にランダムで実施)
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。詳細は付録の図 A.3 に示す。

1. 1P 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

第 6 章

実験結果と考察

被験者とオンラインでの対戦実験を行う前に対戦相手のグループ毎に操作速度を変更し、動的難易度調整を行う対戦テトリス AI(従来 AI) の性能を評価する。性能評価の為に初級者、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 と対戦実験を行った結果を以下の表 6.1 に示す。

表 6.1 動的難易度調整 AI と各グループ

| 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 |

表 6.1 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と学内で募集を行い 14 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 5 名、中級者 2 名、上級者 7 名である。この中でオンライン上で対戦実験を行った被験者は中級者 1 名、上級者 7 名である。対戦実験で得られ

6.1 対戦者視点における評価実験結果

たそれぞれのグループの平均勝利数を以下の表 6.2、に示す。

表 6.2 従来の動的難易度調整 AI と各グループの平均勝利数

| 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 | 3.4 |
| 中級者相当 | 10 | 4.5 |
| 上級者相当 | 10 | 4.7 |

表 6.3 生物学的制約を追加した AI と各グループの平均勝利数

| 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 | 4.6 |
| 中級者相当 | 10 | 5 |
| 上級者相当 | 10 | 5.5 |

表 6.2, 6.3 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。またこの表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 6.4, 6.5 に示す。表 6.4, 6.5 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。

表 6.4 従来の動的難易度調整 AI のアンケート評価

| 設問 | 平均の回答結果 | 最良値 |
|------------|---------|-----|
| 自身と同程度の実力か | 3.6 | 5 |
| 人間らしいと感じたか | 2.8 | 5 |
| 楽しかったか | 4.3 | 5 |

6.1 対戦者視点における評価実験結果

表 6.5 生物学的制約を追加した AI のアンケート評価

| 設問 | 平均の回答結果 | 最良値 |
|------------|---------|-----|
| 自身と同程度の実力か | 3.9 | 5 |
| 人間らしいと感じたか | 3.2 | 5 |
| 楽しかったか | 4.5 | 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 6.2、6.3 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提案 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多くのプレイヤーが自由記述にて「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。だが最終的には初級者グループで、提案 AI の方が勝ちやすいことが影響し、提案 AI をわずかに高く評価したことが今回の結果につながった。

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、最終的には提案 AI の方が高く評価された。特に上級者と初級者ではそれぞれ大きく異なる評価となっており、上級者は従来 AI を高く評価し、初級者は提案 AI を高く評価していた。この理由として上級者は自由記述にて従来 AI の方が「緊迫した対戦ができた」などの回答をしており、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となった。逆に初心者に対しては少し従来 AI が勝ちすぎた傾向があり、その影響により提案 AI を高く評価したと考えられる。

6.2 対戦者視点における評価実験結果の考察

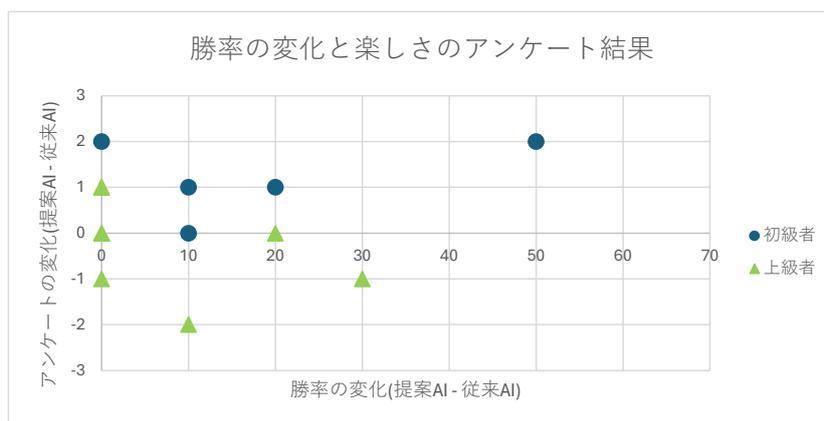


図 6.1 勝率と対戦の楽しさについてのアンケート結果

これは初級者グループと上級者グループの対戦時の勝率とアンケート結果を示したものである。この図 6.1 のグラフから、複数の初級者の楽しさの評価の向上と勝率の向上は関連しており、初級者ほど単純に勝率を調整することで楽しさを感じさせやすくすることがわかる。逆に上級者は勝率以外の要素も重要視しており、対戦内容もある程度考慮する必要があることがわかった。

表 6.4 と 6.5 のアンケート結果についてウィルコクソンの順位和検定を行った所全てのアンケート項目で有意差は認められなかった。この結果についてはアンケートの人間らしさの評価が難しかった理由と同じく、リアルタイムでの対戦中に相手の行動を把握することが難しく、従来 AI と提案 AI の評価に差を付けることが難しかったことが影響したと考えられる。

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

6.2 対戦者視点における評価実験結果の考察

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があり、逆に提案 AIは勝ちやすいと評価されていた。

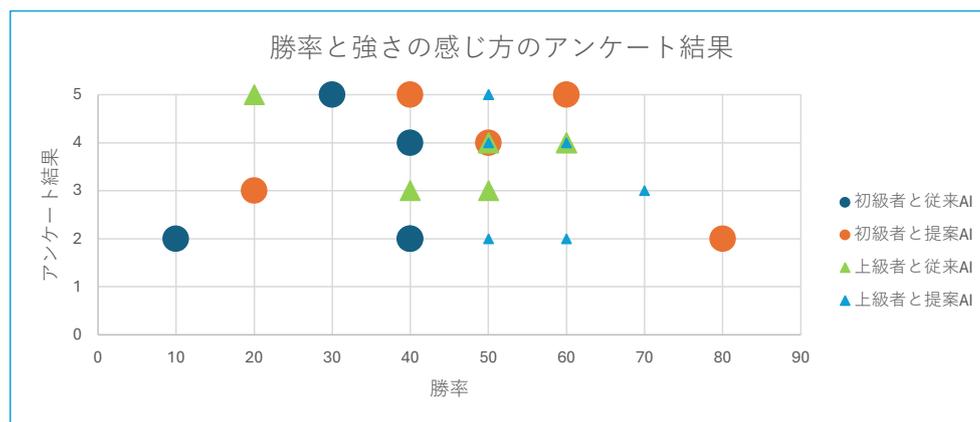


図 6.2 勝率と対戦相手の強さの感じ方についてのアンケート結果

この図 6.2 のグラフは初心者グループと上級者グループの対戦時の勝率と強さの感じ方のアンケート結果をまとめたものである。このグラフでは初級者グループのプレイヤーは特に勝率 5 割付近で自身と同程度と評価している。逆に上級者は勝率 5 割付近のプレイヤーであってもその評価はプレイヤーにより異なるという傾向が見られた。これは上記の考察のように上級者ほど高度な対戦の内容を求めており、単純に勝率だけで対戦相手进行评估していない可能性があることを示唆すると考えた。

次に人間らしさに関するアンケートについては提案 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。この理由としては、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

6.2 対戦者視点における評価実験結果の考察

らしさの評価ができなかったと考えられる。これにより一部のプレイヤーのアンケート結果が直接全体の評価に影響した。2つ目は初級者と上級者の自然さの評価基準の異なりである。今回のアンケート結果を各グループ別で並べた際に初級者は提案 AI を高く評価し、上級者は従来 AI を高く評価あるいは分からないと回答していた。

初級者が提案 AI を高く評価した理由は、提案 AI の勝ちやすさが影響したと考察している。初級者は自由記述のアンケート欄にて、その多くが強さに関する記述を行っていた。このことから初級者の評価基準として最も重要なのは試合に勝てるかでありその結果、提案 AI が従来 AI に比べ少しだけ勝ちやすいことが様々な評価項目に影響を与えたと考察した。

逆に上級者が従来 AI を高く評価していた理由としては、オンラインで実施したことによるラグの存在が影響したと考察している。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 盘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最終的には提案 AI の方が高い評価になった。この原因としては、初級者プレイヤーの多くが提案 AI を従来 AI より高く評価しており、初級者プレイヤー間において従来 AI が勝ちにくかったことが影響したと考えられる。初級者プレイヤーが従来 AI に勝ちにくかった原因としては、強さの項目で挙げた攻撃行動と防御行動のバランスが影響したと考察している。対戦テトリスにおいては防御行動の際にも多少のお邪魔ミノを相手に送ることになる。このような多少のお邪魔ミノは中級者以上のプレイヤーにおいては試合に大きく影響しない。しかし今回被験者となった初級者プレイヤーでは、この防御行動の際に送られるお邪魔ミ

6.3 観戦者視点における評価実験結果

ノが試合に大きく影響しており、それに更に攻撃行動の加わる従来 AI は提案 AI に比べ勝ちにくく、最終的な楽しさの評価に影響したと考える。

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 13 名にアンケートを行い追加評価を行った。被験者の内訳は初級者 6 名、中級者が 2 名、上級者が 5 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 13 名共が「AI である」という評価を行っており、提案 AI は 5 名が「AI である」、もう 8 名が「人間である」という評価を得られた。

この結果について二つの比率の差の検定を行ったところ有意水準 1% で有意差があることが認められた。これらの結果から対戦テトリスのようなリアルタイム性と 2 画面性を組み合わせた様な性質のゲームの場合、従来の動的難易度調整より自然さの効果が薄く、勝率の調整が最も有効であると考えられる。

6.4 観戦者視点における評価実験結果の考察

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」、「迷いが無い」などの評価が得られた。初級者の多くは迷いのない操作や操作精度の高さを評価理由としており、上級者は操作の入力仕方での評価をしていた。特に上級者の「操作手法が AI」である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

6.4 観戦者視点における評価実験結果の考察

形)を乱している」または「ミスをしている」、「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」、「ミスをしている」という評価は多くの被験者から挙がっており、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、初級者、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られる。逆に提案 AI の人間らしくないという評価では、「操作入力の仕方」と「ミスとそのミスに対しての修正能力の高さのギャップ」が気になったという自由記述の結果があった。特にミスとその修正能力の差については、生物学的制約の誤操作を自然さとして導入する際には考慮する必要がある。生物学的制約を用いた際の誤操作はその多くが、勘違いあるいは操作ミスとなるような誤操作であり、そのような誤操作は分かりやすいミスとなる。そのミスに対する修正力が高すぎる際には、プレイヤーに不信感を与えるきっかけになりかねない。そのためミス後の操作は通常の処理に戻るのではなく、緩やかに通常の処理に戻るように変化させることでより人間らしく見せることできるのではないかと考察している。

第7章

結論

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、評価実験を行った。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。また対戦実験における人間らしさでも僅差ではあるが提案 AI の方が高く評価された。ただし、アンケートの内容としては初級者が勝ちやすくことを理由に提案 AI を高く評価した可能性があり、また上級者プレイヤーを含む多くのプレイヤーが対戦中の AI の挙動について判断できないという評価を行った。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、特に中級者の被験者が少ないという課題もあった。また今回の実験では初級者に対して従来 AI が少し勝ちすぎたことが最終的なアンケート結果に影響した可能性があるため、再度初級者に動的に調整する AI を用意し、勝率の差を少なくした際の実験を行う必要があるのではないかと考える

謝辞

最後に、実験について適切なアドバイスや指導を賜った指導教官の竹内聖悟先生に感謝いたします。

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, Vol. 58, No. 3, pp. 167–173, 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] 杵渕哲彦, 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. ゲームプログラミングワークショップ 2012 論文集, Vol. 2012, No. 6, pp. 47–54, 11 2012.
- [6] 藤井叙人, 佐藤祐一, 若間弘典, 風井浩志, 片寄晴弘. 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] 竹内広樹, 天野祐樹, 荒川正幹. ニューラルネットワークと artificial bee colony algorithm を用いたテトリスコントローラの開発. 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 12, No. 2, pp. 381–382, 2013.
- [8] Diana Lora, Antonio A Sánchez-Ruiz, Pedro A González-Calero, and Marco A Gómez-Martín. Dynamic difficulty adjustment in tetris. *The Twenty-Ninth International Flairs Conference*, 2016.
- [9] 隅山淳一郎, 橋山智訓, 田野俊一. ぷよぷよにおける人間のプレイデータの特徴量抽

参考文献

- 出. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集 第 31 回ファジィシステムシンポジウム, pp. 1 – 4, 2015.
- [10] 福地昂大, 三宅陽一郎. 『ぷよぷよ』 における深層強化学習による自己対戦の適応. 人工知能学会全国大会論文集 第 37 回 (2023), pp. 2M5GS1001–2M5GS1001, 2023.
- [11] 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.

付録 A

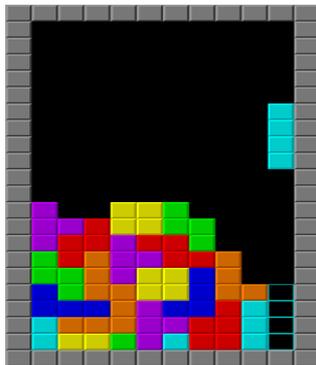
習熟度確認アンケート

1. 対戦テトリスをプレイしたことがありますか？ (はい, いいえ) プレイしたことがある場合はどの程度の期間プレイしたか記述してください

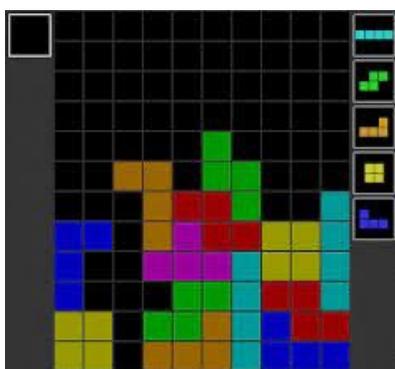
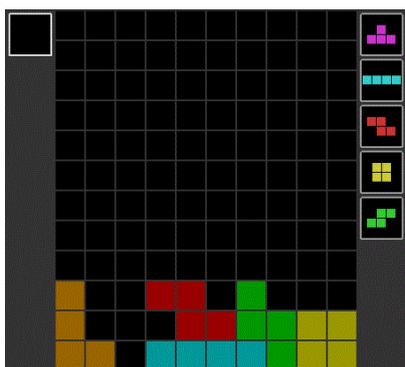
2. 1で「はい」と回答した方に質問です。あなたのプレイした対戦テトリスでのレートや戦績などあれば自由に記述してください。

例：ぷよぷよテトリス レート 20000

3. あなたは以下の画像のような4列を消す形を時間をかければ作ることはできますか？ (はい, いいえ)



4. あなたは以下の2つの画像のような形を知っていますか？ (はい, いいえ)



5. 4で「はい」と答えた方に質問です。あなたは上記の画像のようなテンプレを組むことができますか？

図 A.1 グループ分けのための習熟度確認アンケート

実験後アンケート

1. 3種類の各種 AI について自分と拮抗したと感じたものを 5 段階評価で評価してください。「とてもそう思う」 = 5, 「ややそう思う」 = 4, 「どちらとも言えない」 = 3, 「ややそう思わない」 = 2, 「そう思わない」 = 1

1 種類目 : 2 種類目 : 3 種類目 :

2. 3種類の各種 AI について人間らしいと感じたものを 5 段階評価で評価してください。「とてもそう思う」 = 5, 「ややそう思う」 = 4, 「どちらとも言えない」 = 3, 「ややそう思わない」 = 2, 「そう思わない」 = 1

1 種類目 : 2 種類目 : 3 種類目 :

3. 3種類の各種 AI について対戦して楽しかったものを 5 段階評価で評価してください。「とてもそう思う」 = 5, 「ややそう思う」 = 4, 「どちらとも言えない」 = 3, 「ややそう思わない」 = 2, 「そう思わない」 = 1

1 種類目 : 2 種類目 : 3 種類目 :

4. 最初に対戦した AI とその後 2 回対戦した AI を比べ、何か気になった点があれば自由に記述してください。(例: AI が強すぎた等)

図 A.2 対戦後アンケート

動画視聴アンケート

1. 1P のプレイヤーが AI と人間どっちと感じたか?
2. そう感じた理由

図 A.3 動画視聴実験アンケート