# タントリックス AI プレイヤーへの中盤の妨害戦略の実装と評価

長江 恭英[1,a)]　丸山 一貴[2]

**概要**：タントリックス・ストラテジーは，六角形のタイルを用いて線をつなげていく対戦型のゲームである．プレイヤーは自分の色の線で最長経路を作成することが目的となる．2016 年には，対戦 AI である Darwin が人間のトッププレイヤーに勝利した．Darwin はモンテカルロ木探索を使用しているが，攻めの手を選びがちで，相手への妨害は考慮していない．そこで Darwin に対して中盤の妨害戦略を重点的に行うような実装を追加した．使用した戦略はコントロールサイドというもので，特定の場所に対するタイルの配置を制限することができる．実装後のプレイヤーはオリジナルに対して勝ち越すことができた．試合のログの分析結果から妨害状態を長く維持することが勝利に繋がることがわかった．妨害を長く続けることで相手の最長経路の延伸を阻止することが有効である．本稿では妨害の実装方法と試合の分析結果について述べる．

**キーワード**：タントリックス，ゲーム AI，モンテカルロ木探索

## 1. 背景

タントリックス [1] は六角形のタイル (図 1) を用いるボードゲームである．タントリックスには様々な遊び方が存在するが，その中のタントリックスストラテジー (以下，ストラテジー) という 2〜4 人で遊ぶルールを本研究の対象とする．ストラテジーで使用するタイルは 56 枚で青・赤・緑・黄のうち 3 色の線が描かれており，同じ柄のタイルは存在しない．プレイヤーは自分の担当の色 (青・赤・緑・黄いずれか) で最長経 路を作成することが目的となる．ストラテジーにはオンラインの対戦環境が存在しており，幾つかの AI プレイヤーとの対戦も行える．Darwin[2] はその環境で最強のレートを有し，人間のトッププレイヤーにも勝利している AI プレイヤーである [3].

Darwin は対戦で自分の色の線を延ばす傾向にある が，人間がプレイする場合には，自分の色の線を延ばすだけでなく相手の妨害を行うことも重要であり，この要素を付加できれば Darwin をより強化できると考えた．我々は，Darwin のソースコードをベースに，ゲームの序盤に注目して相手の色のタイルを浪費させる手法に取り組んだが，強化することができなかった [4].

本研究では，最終的に最長経路となる線が構成されていくゲーム中盤に注目し，コントロールサイドというルールを利用した妨害戦略を Darwin に付加することで，強化することを目的とする．なお，ストラテジーは 2〜4 人でプレイできるが，先行研究 [2][5] に倣って本研究でも 2 人での対戦を前提として研究を行う．以下，第 2 章で関連研究

1　明星大学大学院情報学研究科情報学専攻
2　明星大学情報学部
a)　18mj006@stu.meisei-u.ac.jp

を述べ，第 3 章でストラテジーのルールについて説明する．第 4 章では提案手法について述べ，第 5 章でその実装方法について述べる．第 6 章では 2 つの評価軸から提案手法についての評価を行い，第 7 章でまとめを述べる．

## 2. 関連研究

Baier ら [6] はモンテカルロ木探索（以下，MCTS）とミニマックス法の両方を利用した AI プレイヤーを作成し，複数の実装方法と 2 種類のボードゲームで比較を行った．本研究とは MCTS を用いたプレイヤーの改良という点では同じだが，特定の戦略を用いて改良を行うという点で異なる．

Buhr [2] は MCTS を用いたストラテジーの AI プレイヤー Darwin を開発した．現在稼働中の AI プレイヤーの中で，最もレートの高いものであり，MCTS を利用している．また，MAST(Move Average Sampling Technique) [7] を実装しており，他の MCTS を用いたストラテジーのプレイヤー (Monte[5] など) よりも強化されている．本研究で用いる Darwin のソースコードと対戦環境は Tantrix.com [1] から入手できる RobotKit を利用する．

我々は Darwin に対し序盤の妨害戦略を組み込むことで強化を図った [4]．実装した戦略は小さいループを序盤に作るというものであった．しかし，戦略の単純さと有効な範囲が狭いことからオリジナルよりも勝率は下がってしまった．この戦略については 3.2 節で述べる．

**図 1**　タントリックスで用いるタイル

## 3. ストラテジーのルール

この章ではストラテジーのルールと有効な戦略の一部について説明する．

### 3.1 ルール

まず，ゲーム全体の流れについて説明する．全プレイヤーが色を決めた後，全てのタイルをシャッフルし，6 枚ずつ手札としてタイルが配られる．残りは山札となる．手札の内容は全てのプレイヤーに公開されている．ゲーム中の例として図 2 にオンライン対戦の画面を示す．中央にあるのが盤面で，左右にあるのは各プレイヤーの手札である．背景色がそのプレイヤーの担当の色を示している．

それぞれのプレイヤーは自分のターンに 1 枚以上のタイルを配置する．配置の仕方については後述する．タイルを置くことによって手札が 6 枚から減った場合は，その度に山札からランダムに 1 枚補充する．

全てのタイルが盤面に置かれた時点でゲーム終了となる．その後，各プレイヤーの最長経路の長さを求め，最も長かったものが勝者となる．経路の長さは経由したタイル 1 枚につき 1 として数え

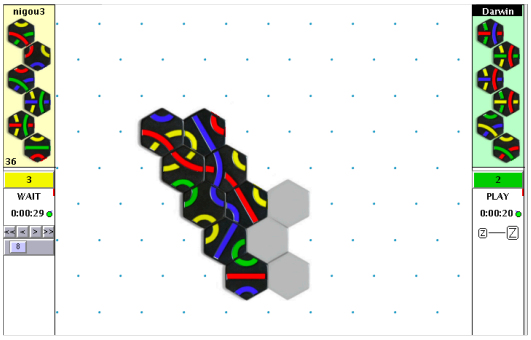


**図 2**　オンライン対戦の画面 (抜粋)

るが，ループしていた場合は 2 として数える．

次に 1 ターンの流れを示す．

(1) タイルを配置可能なゴブル (後述) があればそれらを全て配置する．

(2) 配置可能なゴブルがなくなったら任意の場所にタイルを 1 枚配置する．

(3) タイルを配置可能なゴブルがあればそれらを全て配置する．

(1) と (3) は配置可能なタイルを持っている限り繰り返し実行する．(2) で置けるタイルは 1 枚だけである．(3) で配置可能な場所がなくなった時点で次のプレイヤーのターンへ移る．本論文ではタイルを 1 枚置くことを「1 手」，(1)〜(3) までを「1 ターン」と呼称する．

ゴブルとは，タイル 3 枚に囲まれた空きスペース (図 3 の赤丸部分) のことである．例として，図 3 のゴブルは，時計回りに「青→黄→赤」というパターンのタイルが自分の手札にあれば必ず置かなければならない．ゴブルが複数ある場合や，ゴブルにタイルが置かれることによってゴブルが生まれる場合は 1 ターンに何枚もタイルを置くことになる．

タイルを置く際には禁止ルールと呼ばれるいくつかの制限が存在する．禁止ルールの一覧を次に示す．

**A**　1 つの空きスペースに 3 本同じ色の線を接続してはいけない

**B**　タイル 4 枚で囲まれたスペースを作ってはいけない

**C**　コントロールサイドにタイルを置いてはいけない

禁止ルールの **A** は，3 辺に同じ色を持つタイルが存在しないためのものである．同様に，**B** は該当するタイルが極端に少なくなってしまうためである．

**C** は **B** と関連している．図 3 はコントロールサイドの例である．コントロールサイドとは図 3 のようにゴブルから直線的に伸びた領域のことで，必ずゴブルから埋めなければならない．逆側から埋めると必ずどこかで 4 枚囲みができてしまう．図では灰色で示された部分がコントロールサイド

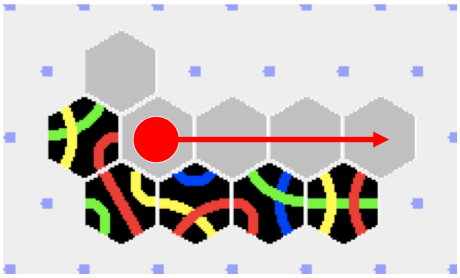

**図 3**　ゴブルとコントロールサイドの例

にあたり，赤丸の部分から矢印の方向に向かって順番にタイルを置いていく必要がある．これを利用して相手が最長経路の線を延ばせないよう妨害を行うのが今回実装した戦術である．

山札にタイルがなくなると，エンドゲームと呼ばれる状態になり前述の禁止ルールが全て解除される．

### 3.2　有効な戦略

ストラテジーで有効な戦略をいくつか紹介する．

まずは，本研究で実装したコントロールサイドによる妨害である．これは相手の最長経路の端点をコントロールサイドによってタイルを置けないようにして成長を妨害するというものである．この時，注意しなくてはいけないのはコントロールサイドは一気に解消されてしまう危険性があるということである．図 3 の赤丸の部分にタイルが置かれたと仮定すると，その右隣の場所が新たにゴブルになる．もしここで，その新たなゴブルにも置けるタイルが手札にあればそれらが連続して置かれてしまうので妨害していた場所まで到達してしまう可能性がある．そこで，コントロールサイドによる妨害を行う際には，それが長く続くようにすることが重要である．そのためにはタイルを置かれにくいような配置にするか，ゴブルから止めておきたい場所までの距離が長くなるようにすることが重要となる．また，コントロールサイドを有効に活用するためには最終的に最長経路となる線が構成されていく中盤に行う必要がある．序盤では特定の経路に対する妨害はそこまで効果的ではない．最長経路の候補が複数存在するので，1 つが妨害されたとしても他を延ばせば良いからで

図 4　小さいループの例

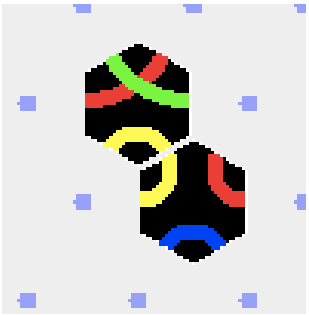

図 5　ループになることが確定した例

ある．終盤 (エンドゲーム) では禁止ルールが解除され，コントロールサイドの場所にもタイルを配置できてしまうため，妨害が無効になる．

次に，小さいループを作るというものがある．これは序盤に有効な戦略で，相手の色の線で小さいループ (図 4) を作ることにより線を無駄に消費させるというものである．線の数は限られており，ループにすることにより他の線と接続することはなくなるため活用できる線を限定できる．また，完全なループにならなくても図 5 のようにループになることが確定すれば戦略としては十分である．

他にも，カウンティングを用いた戦略もある．カウンティングとは，山札の残りカードを把握することでゲームを有利に進めるというものである．ストラテジーにおいては，特定の色や 3 辺のパターンに着目してカウントすることが有効となる．例えば，山札のタイルでは埋められないパターンのゴブルを作ることで，そこにタイルを置けないようにすることができる．これをコントロールサイドにと組み合わせることで，より効果的な妨害を実現できる．

## 4.　提案手法

今回実装する戦略はコントロールサイドを重点的に作成する，というものである．これを利用して相手が伸ばそうとしている線の末端を塞ぐことで，相手の加点を防ぐことができる．しかし，コントロールサイドの始点の 3 枚囲みの部分 (ゴブル) はルール上優先的に埋められてしまう場合があるので，妨害がすぐに終わってしまう可能性がある．そのため有効な妨害を行うためにはより長くコントロールサイドを維持する必要がある．

妨害戦略を実施するタイミングは，盤面にある程度のタイルが並ぶ中盤 (20〜40 手) が良いと考える．中盤は最長経路になりそうな線とそれに繋がりそうな線が定まっていくため，相手はそれらを延ばそうとするはずである．また，妨害をする側としてもそういった線を狙えば良いことがわかる．よって中盤以降に妨害を行うことが重要となる．

エンドゲームでは禁止ルールが解除される．つまり，エンドゲーム中はコントロールサイドは無効になってしまう．そのため終盤にはコントロールサイドを用いた戦略は意味を持たない．よって本研究では妨害を行う範囲は中盤のみとする．

## 5.　実装

より積極的に妨害を行うために，コントロールサイドの存在しない盤面の評価値を下げるよう，Darwin に変更を加えた．探索時のノードの評価の際に，相手の最長経路をコントロールサイドで妨害できていないものについては評価を下げるように変更を加える．Darwin が用いているノードの評価値を式 (1) に示す．評価値 $val$ は自分の得点 $p1$ と相手の得点 $p2$ によって定まる．

$$val = 0.5 + \arctan((p1 - p2) \times 0.1)/\pi \qquad (1)$$

妨害ができない場合に評価値を下げる方法を検討するために複数の計算式を用いて予備実験を行い，勝率の最も高いものを採用した．評価値の計算式を切り替えるタイミングは中盤である 20〜40 手目で，相手の最長経路がコントロールサイドによって妨害されていない場合である．採用した式

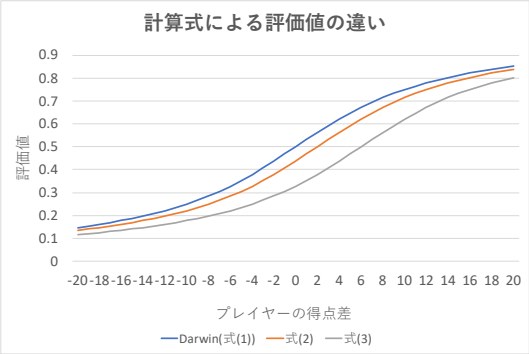


**図 6**　計算式による評価値の違い

を式 (2) と式 (3) に示す．

(20〜29 手目まで)

$$val = 0.5 + \arctan((p1 - p2 - 2) \times 0.1)/\pi \quad (2)$$

(30〜40 手目まで)

$$val = 0.5 + \arctan((p1 - p2 - 6) \times 0.1)/\pi \quad (3)$$

これらの計算式を用いた場合の盤面評価の違いを図 6 に示す．横軸が得点差で縦軸が評価値の値である．

オリジナルの評価値は青い線で得点差が 0 点前後 (拮抗している場合) は変化が大きいのに対して，5 点以上になると変化が緩やかになる．

それに対して我々が実装した計算式 (オレンジとグレー) ではカーブの形状は同様であるが，傾きの大きい部分がずれている．これは得点差のついた盤面であっても妨害ができていなければそれほど有利とは判断しない，ということである．

提案手法と Darwin との対戦における，100 試合ごとの両プレイヤーの勝利数の累積を図 7 に示す．対戦回数は 2100 回，勝敗は 1012 勝 913 敗 175 分である．勝率は 48%となった．グラフから，勝利数は初めは拮抗しているものの 200 回程度から実装後のプレイヤーの方が上回っていることがわかる．

## 6.　評価

提案手法を用いたプレイヤーについて，棋譜でより詳細な分析をするために追加で対戦を行った．「コントロールサイドの維持」と「最長経路の成長」

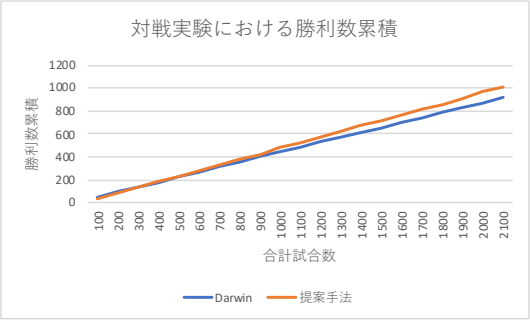


**図 7**　対戦実験における勝利数累積

という 2 点に着目して，それぞれログを出力させた．分析に使用したログの試合数は 134 試合，勝敗は 72 勝 53 敗 9 分であった．

試合の際に出力させたログの内容は以下の通りである．

- ターンプレイヤーの手札
- 手番の状況 (制約の種類)
- 合法手の情報 (座標・タイル番号・向き)
- 選択した手の情報 (同上)
- それぞれのプレイヤーの全ての線の経路長

### 6.1　コントロールサイドの維持

コントロールサイドが維持できているかどうかを調査するために，ログ分析を行った．

分析の結果，勝利した試合ほど相手の最長経路の端点がコントロールサイドになっている場面が多いことがわかった．勝利した試合のうち，コントロールサイドによる妨害が効果的に機能したケースの，25 手目 (図 8) と終局 (図 9) を示す．相手 (Darwin) の伸ばす色は青である．どちらも白破線内に青の最長経路が存在する．図 8 は 25 手目の盤面で，最長経路の両端がコントロールサイドによって伸ばせなくなっている．この試合ではコントロールサイドが終盤まで維持されており，終局 (図 9) まで最長経路が延びることはなかった．

この試合について，最長経路の端点がコントロールサイドになっているかどうかを記録したところ，図 10 のようになった．記録した期間は 10〜45 手目である．図中ではコントロールサイドになっているのが端点のうち片方であれば青，両方であれば赤で示されている．図から，この試合において

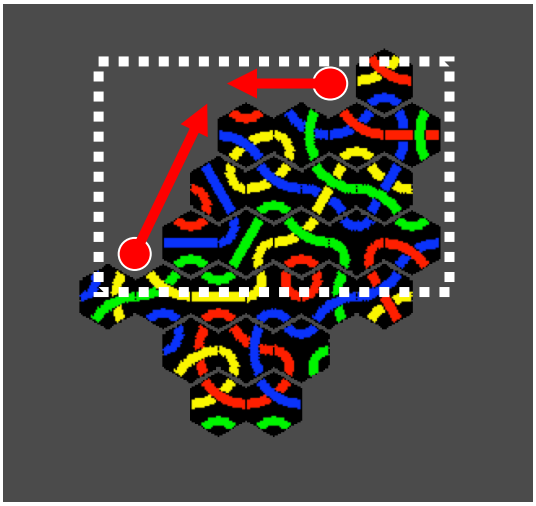

図 8　25 手目の最長経路とコントロールサイド

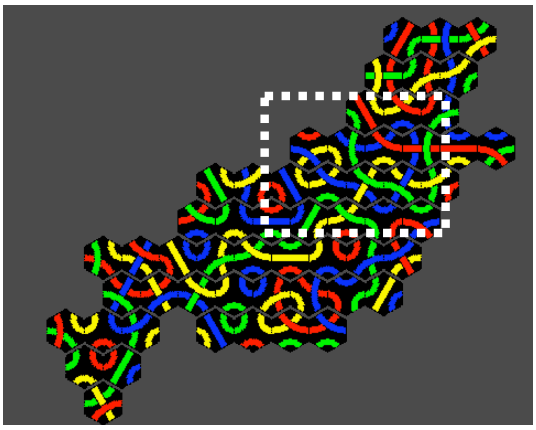

図 9　56 手目の最長経路

中盤を通して継続的にコントロールサイドによる妨害が行えていたと言える．

このように相手の最長経路を長期間塞げている場合は，相手の得点が延びることはないため勝利することができる．一方，敗北した試合はコントロールサイドで妨害できている場面が少なく，相手の最長経路が成長して負けてしまう場合があった．どちらの結果でも得点差が大きいほどそれぞれの傾向が強く見られた．

### 6.2　最長経路の成長

次に，最長経路の成長についても分析を行った．それぞれプレイヤーの各経路長のうち，最大のものが更新された場合に最長経路が成長したとみなす．

いずれかのプレイヤーの最長経路が成長した手番についてグラフにしたものが図 11 と図 12 である．グラフはそれぞれの手番で最長経路が延びたプレイヤー (青:ターンプレイヤー，オレンジ:非ターンプレイヤー，グレー:両プレイヤー) を表している．

提案手法が勝った試合 (図 11) について，Darwin が自分の最長経路を伸ばした割合は試合全体 (51.4%) に比べて中盤 (48.2%) の方が下がっている．よって，Darwin が中盤に自分の最長経路を伸ばしにくくなっていることがわかる．一方で提案手法が負けた試合 (図 12) では試合全体では 56.9%，中盤が 56.7%と自分の最長経路を伸ばせた割合は同程度である．

よって，提案手法が有効に作用した場合に，Darwin は自身の最長経路を伸ばしにくくなっていることがわかる．

## 7.　まとめ

MCTS を用いたタントリックスのプレイヤーに対して妨害戦略を実装した．中盤に相手の線が延びないようにする戦略を実装したことで，実装前のプレイヤーとの対戦の結果勝率に差が見られた．棋譜を分析したところ，実装後のプレイヤーが勝利した試合について戦略が有効に作用している傾向が見られた．

今後の課題としては他のプレイヤーとの対戦，他戦略との組み合わせが挙げられる．今回の実験では Darwin との対戦しか行っておらず，Darwin に対してのみ有効なプレイヤーになっている可能性もある．そこで，Darwin 以外の既存プレイヤーとの対戦実験も行うことで，提案手法を評価する必要がある．

また，実装した戦略は中盤に作用する戦略であったため，序盤と終盤の動きについては Darwin と同じはずである．序盤や終盤にも有効な戦略は存在するため，それらの実装や組み合わせについての実験も行いたい．特に，カウンティングとコントロールサイドの組み合わせは効果的に作用すると考える．

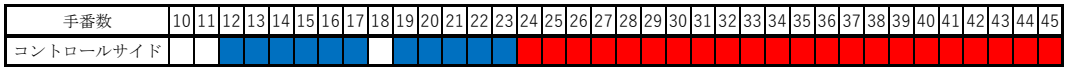


**図 10**　コントロールサイドによる妨害が続いた手番数の記録

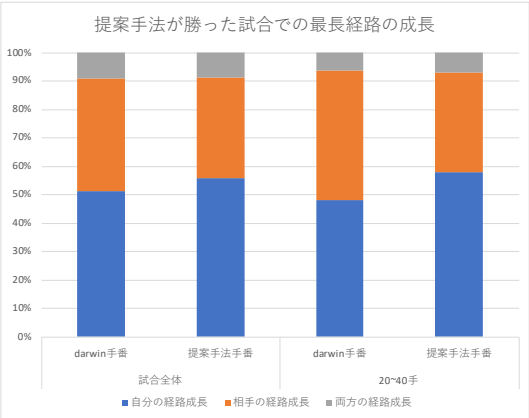


**図 11**　提案手法が勝った試合での最長経路の成長

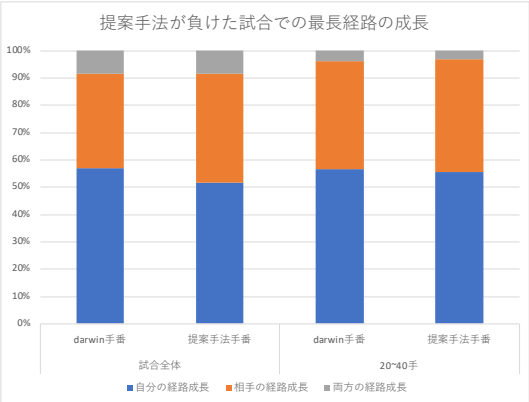


**図 12**　提案手法が負けた試合での最長経路の成長

## 参考文献


[1] Tantrix.com, `<https://www.tantrix.com/index.html>` (参照 2019/11/29).

[2] Simon Buhr, ”Techniques to improve the performance of Monte Carlo Tree Search for a Tantrix playing robot”, `<http://tantrix.com/english/downloads/Darwin.pdf>`, (参照 2019/07/15).

[3] Tantrix.com - Battle of the Bots, `http://tantrix.com/english/TantrixBattle.html`(参照 2019/11/29).

[4] 長江恭英, 丸山一貴, ”タントリックスストラテジーにおける序盤の妨害要素を追加した AI の実装”, 情報処理学会第 59 回プログラミング・シンポジウム, pp. 69–72, 2018.

[5] Peter Bruns, ”Monte-Carlo Tree Search in the game of Tantrix”,University of Otago.

[6] Hendrik Baier and Mark HM Winands, ”Monte-Carlo tree search and minimax hybrids”, 2013 IEEE Conference on Computational Inteligence in Games (CIG), 2013.

[7] Tristan Cazenave, ”Advances in Computer Games: 14th International Conference”, ACG 2015, Leiden, The Netherlands, July 1-3, 2015, Revised Selected Papers, chapter Playout Policy Adaptation for Games, pp.20–28, Springer International Publishing, 2015.

[8] Tantrix.com, ”Strategy Advice”, `<http://www.tantrix.com/english/TantrixStrategy.html>`(参照 2019/07/11).