

卒業研究報告書

題目

簡略化した Quoridor の完全解析

指導教員

石水 隆 講師

報告者

16-1-037-0047

西村 佳洋

近畿大学工学部情報学科

令和 2 年 2 月 1 日提出

概要

本研究では、1997年にギガミック社から販売された Quoridor(以下「コリドールとする」)を題材とする。コリドールは、盤上の駒を動かしてゴール地点を目指すゲームである。コリドールの特徴としては、壁を使い相手の進路を妨害することができること挙げられる。プレイヤーは、自分の手番で自駒を1マス動かすか、壁を1枚設置することができる。自身が置いた壁も自分自身は通り抜けられないため、逆に相手に利用されるなど駆け引きがある、非常に戦略に富んだゲームである。

コリドールは二人零和有限確定完全情報ゲームに分類され、理論上はゲーム開始時点で勝敗は確定している。そこで本研究では、コリドールの完全解析を目標とする。解析に先立ち、コリドールの完全解析が可能かを検証するため、盤面を簡略化して局面数を大幅に減らして検証した。

局面を列挙するにあたって、壁の配置に着目し、ルール上認められない壁の配置を数えないようなプログラムを組み、320,232通りの配置があることを結果として得られた。壁の無い1通りを含めた、320,233通りの壁の配置から、ルール上認められる駒の配置パターンを列挙し、後退解析に必要な全局面の列挙を試みた。

目次

1	序論	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	完全解析に関する既知の結果	1
1.3	コリドール	1
1.4	本研究の目的	1
1.5	本報告書の構成	2
2	コリドール	2
2.1	コリドールとは	2
2.2	簡易版コリドール	3
3	簡易盤コリドールの解析	3
3.1	後退解析	4
3.2	局面数の見積もり	4
3.3	壁の配置	4
3.4	駒の配置	5
4	現時点での考察	6
5	結論および今後の課題	8
	謝辞	9
	参考文献	10

1 序論

1.1 本研究の背景

二人零和有限確定完全情報ゲームに分類されるボードゲームは、理論上完全解析が可能であり、連珠やチェッカー等、完全解析されたものもある [2][3]。二人とは対戦する人数を示し、零和はプレイヤー間の利害が一致することを示し、有限とは必ず有限の手番で終了することを示し、完全情報は全ての情報が互いのプレイヤーに公開されていることを示す。一方、将棋や囲碁は、簡易版であるどうぶつしょうぎや五路盤囲碁では完全解析されているものの、局面の総数が膨大すぎるため完全解析は不可能とされている [5][8]。

1.2 完全解析に関する既知の結果

二人零和有限確定完全情報ゲームは双方最善手を打った場合、先手勝ち、後手勝ち、引き分けのどれになるかはゲーム開始時点で決定しており、理論上、全ての可能な局面を解析することができれば最善の手を打つことができる。しかし多くのボードゲームでは、可能な局面の総数が極めて大きいため、完全解析を行うことは不可能である。例を挙げれば、可能な局面数はリバーシが 10^{28} 通り、チェスが 10^{50} 通り、将棋が 10^{69} 通り、囲碁が 10^{170} 通り程度であるとされており、現在の計算機の性能を越えている。一方、可能な局面数が少ないゲームでは完全解析されているものもある。連珠は双方最善手を打った場合、47 手で先手が勝つ [2]。チェッカーは双方最善手を指すと引き分けとなる [3]。

局面数が大きいゲームについては、ゲーム盤をより小さいサイズに限定した場合の解析も行われている。サイズ 6×6 のリバーシでは、双方最善手を打つと 16 対 20 で後手勝ちとなる [6]。また、サイズ 4×4 の囲碁は双方最善手を打つと持碁 (引き分け) [7]、 5×5 の囲碁は黒の 25 目勝ちとなる [8]。将棋については、盤面のサイズや使用する駒の種類を減らしたどうぶつしょうぎやアンパンマンはじめてしょうぎでは完全解析されており、どうぶつしょうぎは双方最善手を指すと 78 手で後手勝ち [5]、アンパンマンはじめてしょうぎは双方最善手を指すと引き分けとなる [4]。

1.3 コリドール

コリドールは、1997 年にギガミック社から販売され、同年にメンサゲームアワードに選ばれた 2 人から 4 人でプレイするボードゲームである [1]。壁を使った駆け引きで、先に目的地に辿り着いた方の勝ちとなる、戦略的なボードゲームである。2 人でプレイする場合、コリドールは二人零和有限確定完全情報ゲームであり、理論上完全な先読みが可能である。コリドールは、将棋や囲碁と比べて可能な局面数が少ないため、完全解析を行うことは可能であると考えられる。そこで、本研究ではコリドールの完全解析を試み、その結果を考察する。

1.4 本研究の目的

コリドールは二人零和有限確定完全情報ゲームに分類され、理論上はゲーム開始時点で勝敗は確定している。コリドールは将棋や囲碁と比べて可能な局面数が小さく、完全解析が可能であると考えられる。そこで本研究では、未だ解明されていない必勝パターンを導出するため、コリドールの完全解析を目指す。まずはリバーシの例に従い、簡易的な盤面でコリドールの後退解析が可能かを検証する。

1.5 本報告書の構成

本報告書の構成を以下に示す。2 節ではコリドールのルールについて述べ、また本研究で扱う簡易版コリドールについて述べる。3 節では研究した内容、成果について述べ、4 節で研究結果の考察、5 節で今後の課題について述べる。

2 コリドール

本章では、本研究の対象であるコリドールについて述べる。

2.1 コリドールとは

コリドールは、1997 年にギガミック社から販売され、同年にメンサゲームアワードに選ばれた 2 人から 4 人でプレイするボードゲームである [1]。図 1 に 2 人でプレイする場合のコリドールのゲーム盤を示す。

図 1 に示された 9*9 マスの盤面上の一番手前中央に置かれた自分の駒を、一番奥に到達させた方が勝ちとなる。

2 人でプレイする場合、プレイヤーはお互い 10 枚ずつ壁を所持しており、自分の番に駒を前後左右に 1 マス進めるか壁を設置するかを選択する。設置した壁はお互いその壁を通り抜けて移動できなくなる。壁は以下のルールに従って配置する必要がある。

1. 壁は 2 マス分の幅があり、マスとマスの間に壁の橋がマスの角になるように置く。
2. 壁同士は重ならず、交差もしてはならない。
3. 壁は、両者のゴールまでの道筋を完全に絶ってはいけない。
4. 壁は、盤面をはみ出さない。

また、駒の進め方は基本的に前後左右に 1 マスずつだが、図 2 のように隣に相手の駒があれば飛び越えた先に移動でき、飛び越えた先に壁がある場合は図 3 のような移動をする。

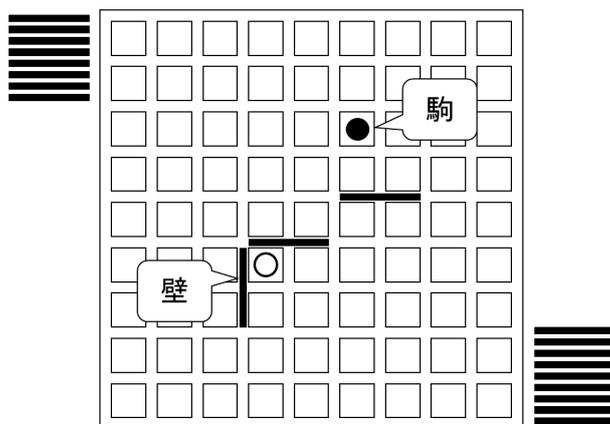


図 1 コリドールのゲーム盤

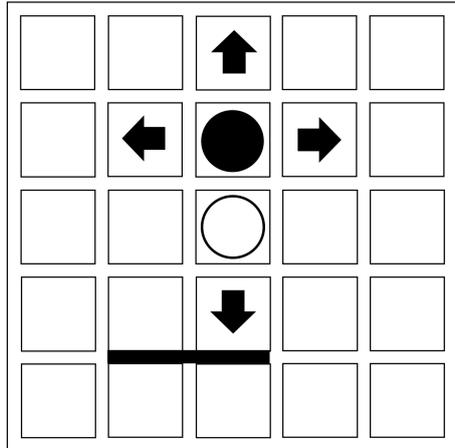


図2 駒を飛び越える場合

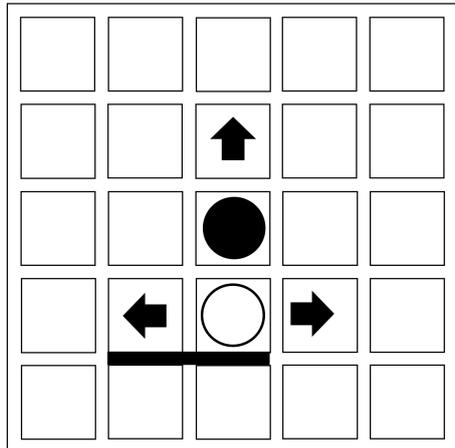


図3 飛び越えた先に壁がある場合

2.2 簡易版コリドール

本研究では 9*9 マスでの局面数が膨大になると予想し、まずは図 4 のように、盤面を 5*5 マスにして、壁を 3 枚ずつ所持する簡易的な盤面で後退解析が可能かを試みる。駒や壁の配置に関しては、本来のコリドールと変わらないルールで行う。

3 簡易盤コリドールの解析

本章では、簡易盤コリドールの解析を行う。

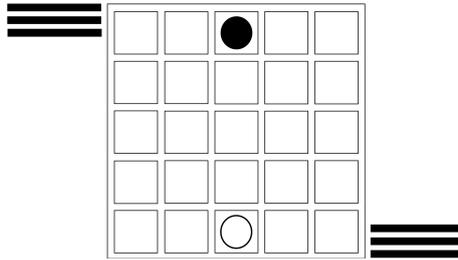


図4 簡略化したゲーム盤

3.1 後退解析

後退解析は、以下の手順で行う [2].

1. 全ての局面を数え上げる.
2. 勝負のついた局面の集合から開始する.
3. 勝負のついた局面の 1 手前の局面を求める.
 - (手番のプレイヤーの) 負け局面から 1 手前の局面は (手番のプレイヤーの) 勝ち局面.
 - 勝ち局面から 1 手前の局面の勝敗が未確定の時は、そこから可能な手がすべて勝ち局面に移行する時は、負け局面とする.
4. 操作を繰り返して、勝ち局面の集合も負け局面の集合がそれ以上増えなくなったら終了する.

3.2 局面数の見積もり

簡易版コリドールでは駒を置ける場所は 25 カ所、壁を置ける場所は 32 カ所であり、ルールを考慮しなければ駒の設置箇所は 600 通り、壁の設置箇所は 906,192 通り、全ての局面は到達不能な局面を含めた状態でも 543,715,200 通りと見積もることができる。これは、完全解析されているどうぶつしょうぎの 1,567,925,964 通りよりも遥かに少ないため、完全解析が可能であると考えられる [5].

効率的な後退解析を行うために、理論上到達可能な局面のみを列挙することにする。ルール上お互いの駒はゴールまでの道を完全に塞ぐことはできない。また、どちらかの駒がゴールに到達した時点で対局が終了するため、お互いがゴールに到達してる局面は存在しない。これらの到達不能局面を除いた局面を列挙するプログラムを作成し、理論上可能な局面を数えることを試みた。

3.3 壁の配置

理論上可能な局面を数える上で、まず壁の配置から考えることにした。お互いの駒の位置は関係なく、理論上不可能とされる場合は図5や図6のように、壁が重なっている配置である。このような配置を数えないようにプログラムを組み、壁の組み合わせを列挙した。

プログラムの方針としては、壁の配置箇所を 16 個の配列で表現し、壁がない場合は 0、横向きなら 1、縦向きなら 2 を格納するようにする。16 桁の 3 進数を列挙し、壁の個数、配置の条件を満たすものを数えるようにした。このプログラムの出力結果で、 ${}_{32}C_6 = 906,192$ 通り から、320,233 通りまで削減できた。内訳は表

表 1 壁の配置可能箇所の数

壁の数	理論上可能な配置
1	32
2	456
3	3,834
4	21,016
5	79,800
6	215,104
計	320,232

1 の通りである。

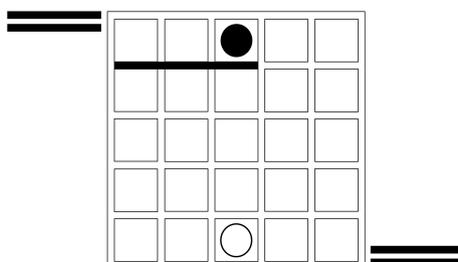


図 5 壁が横に重なる場合

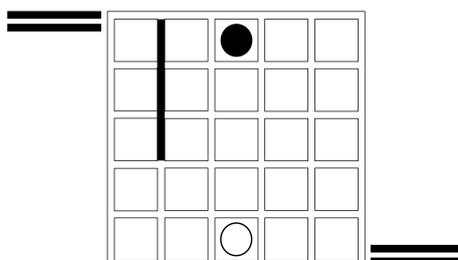


図 6 壁が縦に重なる場合

3.4 駒の配置

前項の出力結果から、お互いの駒が配置できる位置を数える。ルール上、図 8 や図 9 のように、ゴールまでの道筋を完全に防ぐことができないため、対象のマスがゴールまで到達できるかを判定する。

駒の配置を調べるプログラムが未完なため、プログラムの方針のみ記述する。まず前項で出力した壁の配置から、各マスの遷移先を判定し、壁がある場合は、壁の向こうに設定されていた遷移先を削除する。図 10 を例に挙げると、中心の 22 で示された位置に駒がある場合、壁を考慮しなければ 12, 21, 23, 32 に移動ができるが、壁があるため、23, 32 には移動できない。このように判定していくことで、各マスの遷移先を設定する。

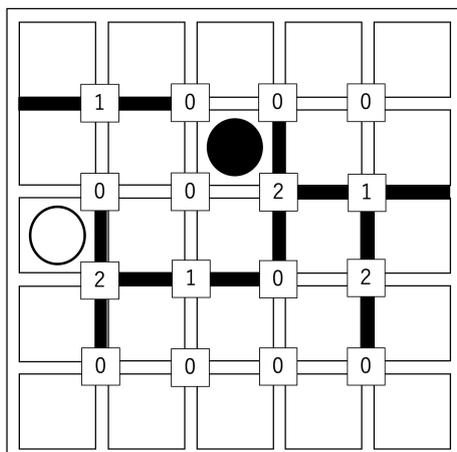


図 7 壁の設置例

この遷移先をもとに、各マスがゴールに到達するかを判定し、各壁の配置ごとにお互いの駒の組み合わせを配列として格納する。

どちらか一方がゴールに到達すればゲームが終わるため、図 11 のように、互いにゴールをする局面は存在しない。そのため駒の配置は、ゴールに到達不能なマスも含めると ${}_{25}P_2 - 5^2 = 575$ 通りでありこの時点で局面数を、184,133,975 通りまで絞ることができた。

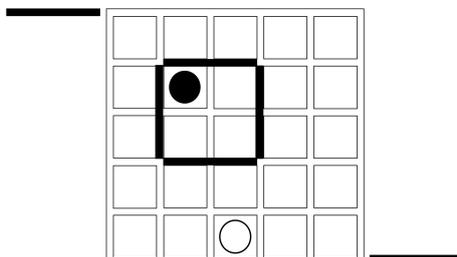


図 8 道筋が塞がれる場合 1

4 現時点での考察

段階を踏むことにより到達不可な局面を省いた結果、途中ではあるが大幅な局面数の削減に成功した。駒の配置と壁の関係も考慮すれば、更に 100,000,000 通り前後まで局面数を削減できることを期待する。

到達可能な局面の列挙ができた後は完全解析を行う。まず全ての 215,104 通りの、全ての壁を置いているパターンの局面全てでは、駒の位置から、駒の飛び越えを考慮しつつゴールまでの最短ルートをお互い順に迎らせることで勝敗が決定する。その後は、1 手前の壁が 1 枚残っている局面との関連付けをして後退解析を進め、最終的な勝敗を決定していく。

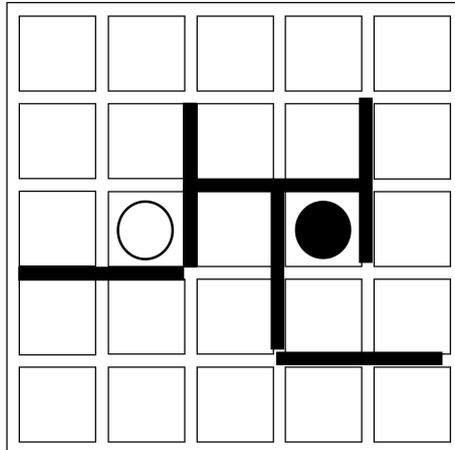


図9 道筋が塞がれる場合2

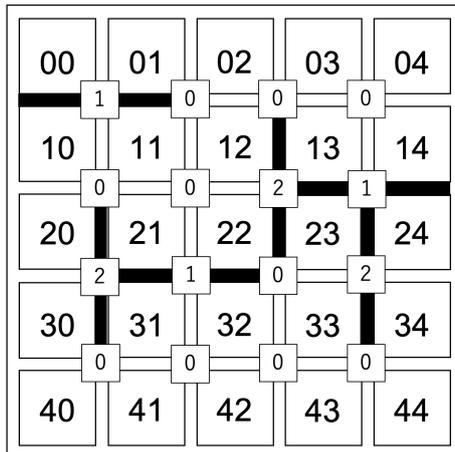


図10 局面データの図示

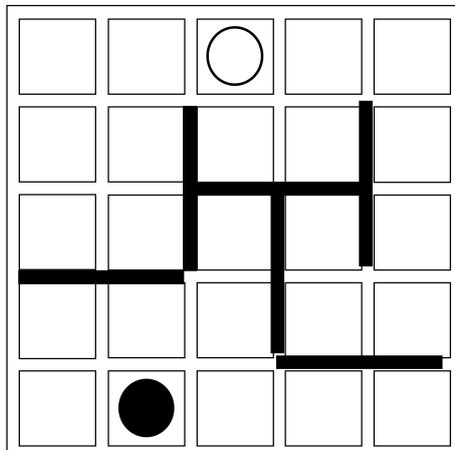


図11 お互いの駒がゴールしている場合

5 結論および今後の課題

本研究では，コリドールが最終的に先手後手どちらが必勝かの検証を行った．5*5の盤面で約100,000,000通りの局面が確認できた．9*9の盤面ではより膨大な局面数になることが予想でき，人力では全ての局面を暗記することは困難だと予想する．従って，完全解析がされた場合でも競技性を著しく低下することはないと予想する．

現在のところまだ解析までには至っていないが，局面数を絞った上で，効率的に解析を行えるよう準備を整えていきたい．そして，9*9の正式な盤面においても同様の手法で完全解析を行うことにより，コリドールでの先手後手の勝敗及びその必勝手を最終的に出したい．

謝辞

本研究をするにあたり，終始適切な助言を賜り，丁寧に指導して下さった石水隆講師に感謝します．

また，研究室のメンバーには刺激的な議論を頂き，精神的な支えになったことを感謝します．

最後に，これまで私の進路に対し，暖かく見守り 4 年間の大学生活を支えてくださった両親に対して深い感謝の意を表して謝辞といたします．

参考文献

- [1] 日本コリドール協会：今すぐ脱出られるコリドール，オレンジ工房 (2017)
- [2] Janos Wagner and Istvan Virag：Solving renju, ICGA Journal, Vol.24, No.1, pp.30-35 (2001) http://www.sze.hu/~gtakacs/download/wagnervirag_2001.pdf
- [3] Jonathan Schaeffer, Neil Burch, Yngvi Bjorsson, Akihiro Kishimoto, Martin Muller, Robert Lake, Paul Lu, and Steve Suphen：Checkers is solved, Science Vol.317, No,5844, pp.1518-1522 (2007) <http://www.sciencemag.org/content/317/5844/1518.full.pdf>
- [4] 塩田好：「アンパンマンはじめてしょうぎ」の完全解析, 情報処理学会関西支部 支部大会講演論文集 (2013).
- [5] 田中哲朗：「どうぶつしょうぎ」の完全解析, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-GI-22 No.3, pp.1-8 (2009). <http://id.nii.ac.jp/1001/00062415/>
- [6] Joel Feinstein：Amenor Wins World 6x6 Championships!, Forty billion noted under the tree (July 1993), pp.6-8, British Othello Federation's newsletter., (1993), <http://www.britishothello.org.uk/fbna11.pdf>
- [7] 清慎一, 川嶋俊：探索プログラムによる四路盤囲碁の解, 情報処理学会研究報告, GI 2000(98), pp.69-76 (2000), <http://id.nii.ac.jp/1001/00058633/>
- [8] Eric C.D. van der Welf, H.Jaap van den Herik, and Jos W.H.M.Uiterwijk：Solving Go on Small Boards, ICGA Journal, Vol.26, No.2, pp.92-107 (2003).