

先手の有利性と初期局面での自由度

北隼人[†], 飯田弘之[†]

[†] 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科

概要

本稿は初期配置がゲーム理論値に与える影響について論ずる。ゲームの初期配置はルールと並んでゲームの性格を決定付ける重要な要素である。我々はゲーム理論値と初期配置の関連に注目した。初期配置によって決まる要素のうち、特に探索空間と初手の選択枝数に着目した。それらと理論値の関連を調べるために、リバーシを題材に実験を行った。その結果、探索空間および初手の選択枝数と先手の有利さに関連が見られた。

The Advantage of the Initiative and Mobility in the Initial Position

Hayato Kita[‡], Hiroyuki Iida[‡]

[‡]Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

In this paper we discuss about how the initial position influences the game-theoretical value. The initial position and the rules are important factors to determine characteristic of the game. Our research focuses on the link between the game-theoretical value and the initial position. In particular, we pay our attention to the search space complexity and mobility in the initial position among the factors decided by the initial position. We use Reversi as a case study to investigate link between the game-theoretical value and previous factors. Experimental result suggests that there exists a strict connection between the search space complexity and mobility in the initial position and the game-theoretical value.

1 はじめに

ゲーム情報学において主に題材とされる二人零和有限確定完全情報ゲームは、min-max法や α - β 法などの探索手法を用いて完全に先読みすることが可能であり、先手勝ち、引き分け、後手勝ちのいずれかの結果になることが理論上証明可能である。完全な先読みによって明らかになる結果はゲーム理論値と呼ばれ、重要なゲームの性質である。ただし、理論上は可能ではあるものの、実際に理論値を求めるとなると、探索空間に応じて莫大な時間が必要になることも多く、どんなゲームでも簡単に理論値を求められるわけではない。また、先読みを行う際には二人零和有限確定完全情報ゲームは木構造で表現される。ゲー

ムを木として表現する観点から考えると、当然のことながら、先に選択権がある先手が勝つことが多いと考えられる。

SingmasterはそのことをP-position, N-positionという概念を導入して説明した[3][4]。P-positionとは双方が最善を尽くした場合、先手のプレイヤーが必勝の局面であり、N-positionとは双方が最善を尽くした場合に後手のプレイヤーが必勝の局面である。先手が勝つためにはP-positionがひとつでもあればよいが、後手が勝つためには全ての局面がN-positionでなければならないため、先手が圧倒的に有利であるというものである。

Uiterwijkらは、3目並べや5目並べのような $m \times n$ マスにおける k 目並べ(mnk-games)における理論値を調べ、手番による

アドバンテージについて論じた [1][2]. そこで, Singmaster の仮説は, 盤面のサイズが大ききときには正しいが, 盤面のサイズが小さいときにはしばしば正しくないという考察を行っている. Uiterwijk らが行った実験では mnk-games を題材として使ったため, 盤面のサイズを変更すると自動的に先手の初手の選択肢まで増えてしまう. そのため, 先手のアドバンテージの拡大が初手の選択肢の増加によるものなのか, それとも盤面サイズの拡大によるものなのかを厳密に議論することが困難であった. そこで我々は, 初手の選択肢数による先手のアドバンテージの変化に着目し, それを議論するために小さなサイズのリバーシ (4 × 4) を題材に実験を行った. これらの初期局面のサンプルを大量に解くことによって得たデータを基に, 初期配置における選択肢数が理論値に与える影響について議論する.

2 実験方法

まず, 我々が小さなサイズのリバーシを題材に選んだことの原因を説明する. 先行研究である Uiterwijk らの研究では mnk-games を題材としていたため, 先手のアドバンテージの拡大の原因を厳密に議論できなかったのではないかと考える. なぜなら, mnk-games では, 盤面の拡大と先手の初手の手数増加を切り離すことができないからである. この点, 我々が選んだリバーシであれば, 初期の配置を変更することによって, それらを切り離して議論することができる. また, 先後の石の差をスコアとして用いることによって, より分かりやすく先手のアドバンテージについて議論できる. さらに, リバーシは初期配置を多数用意することが可能であるため, 統計上の十分なサンプル数を用意することができる. 我々が行う実験で重要なのは初期配置における選択肢数である. この点を重視し, 我々の実験におけるリバーシの初期配置を以下のように定義した.

1. 初期配置とは交代解析したときに, これ以上戻ることができない配置である.
2. 初期配置では必ず合法手が存在する.
3. ただし, 以下の場合には, 以下の条件から外れるまで手を進めたところを初期配置とする
 - 3.1 合法手が一つしかない
 - 3.2 合法手は複数あるが, 得られる局面は同一である

このような初期局面を用意するために 4 × 4 マスのリバーシで存在しうる全ての局面を生成し, そこから条件に適合しない局面を削除した. また, リバーシの盤面の性質上, 回転することによって生じる局面や, 鏡あわせの局面は実質的な同一局面であり, それらも取り除く. また, ある程度のゲームの長さが保たれるように, 最初に置かれる石の数は 3 個から 10 個に限定した. そうして得られた初期局面の数は 1,020,641 局面である. これらの初期局面を全て解き, 角の数の差, 空きマスの数, 初手での実質的な選択肢数によって分類し, その結果を得ることによって初期局面が理論値に与える影響を調べる. ゲームを解くために使ったのは単純な min-max 法によるプログラムである.

3 実験結果と考察

以下に実験結果を示す. 全ての表および図は勝率とスコアを表す. 勝率とは条件にあう初期局面のうち, 理論値が先手勝ちになる割合である. スコアとは先手の石の数から後手の石の数を引いたものである. 表 1 は分類前の結果である. 全局面の 70 パーセント超が先手の勝利であり, Singmaster の仮説の通り, 先手が有利である. スコアでは先手の +5.19 である.

表 1: 分類前の結果

勝率	平均スコア	総数
0.726	+5.19	1020641

3.1 分類について

100万局面超の理論値を分類なしに議論の材料にすることは不可能である。よって我々は角の数の差等によってデータを分類して議論を行う。しかし、例えば空きマス数だけで分類を行ってもそれは材料として不十分である。同じ空きマス数でも、角の数の差が4つのものと1つのものを同じデータとして丸めてしまうのはいささか乱暴である。図

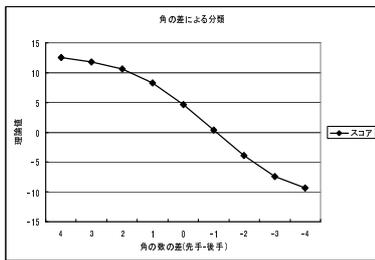


図 1: 角の差によって分類したスコアの変化

1は角の差によって分類したスコアの変化である。この図の示すとおり、角の差は理論値に対して大きな影響を与えることは明白で、これを無視して結果を丸め、探索空間と初手の自由度について議論することはできない。よって角の差、自由度、初期配置での石の数全てを組み合わせで分類し議論する。

3.2 細かい分類による結果

本節では、残り9マスときのデータを例に初手の自由度が結果に与える影響について、また、自由度が3のときのデータを例に残り空きマス数(探索空間)が結果に与える影響についてそれぞれ議論をする。

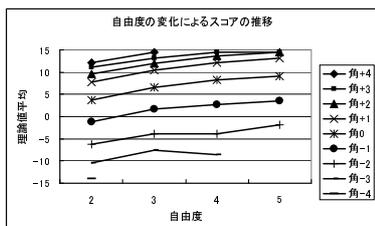


図 2: 自由度によって分類したスコアの変化

図2と図3は残り9マスとき(石が7つ

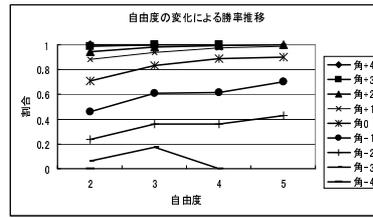


図 3: 自由度によって分類した勝率の変化

あるとき)のスコアと勝率である。それぞれ、角の数の差ごとに分けてグラフにし、横軸は初手での自由度、縦軸はスコアと勝率を表している。横軸の自由度は2,3,4,5となっているが、5は自由度5ではなく5以上である。勝率、スコアともに自由度の増加にしたがっていずれの角の数の差のグラフにおいても単調に増加しており、初手での自由度と理論値に正の相関があることが分かる。これは確率論からすれば当然の話であり、選択肢が多ければ多いほど正解にたどり着きやすく、より良い結果を得ることができるからである。空きマス数が9マスではない、その他の場合にもこのようになるので、自由度が理論値に与える影響は明らかである。

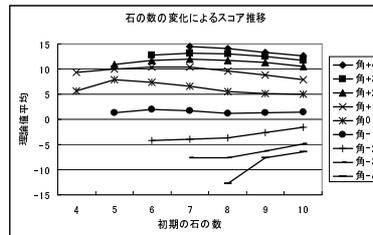


図 4: 石の数によって分類したスコアの変化

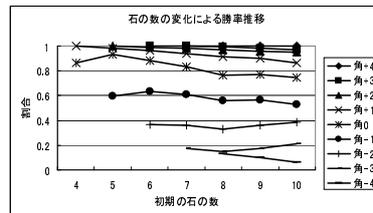


図 5: 石の数によって分類した勝率の変化

図4と図5は初手での自由度が3のときのスコアと勝率である。これらも角の数の差ごとに分けてグラフにした。横軸は初期配置

での石の数である。図5の勝率に注目すると、探索空間が広がると勝率が上がっていることが分かる。一方で図4に目を向けると勝率とは多少事情が違っていることが分かる。勝率の単調な右下がりとは違い、探索空間が大きくなると少しスコアが下がる兆しが見え、上に凸なグラフになっているものがある。これは手数が長くなることの影響ではないかと考える。つまり、手番とは先後のプレイヤーの利益追求の場であるのでその回数が互いに増えれば双方の利益は拮抗するのではないだろうか。この考えから、探索空間がさらに大きくなれば、より先後のスコア差は小さくなると予想する。この検証にはより大きなサイズの盤面において実験することが必要である。

4 まとめ

本稿では、盤面のサイズの小さいリバーシを題材として初期配置の理論値に対する影響を調べた。初期局面を102万局面ほど用意し、それを解いた結果、初手での選択枝数が理論値に影響を与えていることが分かった。選択枝数が増えるほど、その初期局面における理論値は先手の勝ちになる可能性が上がり、また、先後の石の差も拡大した。

一方、探索空間について注目すると、探索空間が狭くなるほど先手の勝率が下がり、小さな探索空間のゲームでは必ずしも Singmaster の仮説が成り立つわけではないとした Uiterwijk らの報告を裏付けた。スコアに注目すると、勝率のように探索空間とともに単調に減少するわけでもなく、逆に探索空間が広がることによって先後の石の差が縮まる現象も観察された。断定するためにはさらに大きな探索空間のリバーシでの実験が必要になるが、おそらく探索空間の拡大は先手の勝率が上がるとともに、先後の差は小さくなることにつながると考えられる。手数が長くなることによって双方の手番が増え、互いの利益を追求しあうことで結果的に利益の差が小さくなるからである。

5 今後の課題

今回の実験では小さな盤面でのリバーシを題材としたため、より大きな探索空間や初手での自由度での実験が行えなかった。大きな盤面での実験を行うことによって、探索空間と初手での自由度が理論値に与える影響をさらに調べることができる。また mnk-games をうまく改良して盤面サイズと自由度の分離をして実験を行う。具体的なアイデアとしては、石に隣接するところにしか着手できなくするなどがある。

参考文献

- [1] H.J. van den Herik , J.W.H.M. Uiterwijk, J van Rijswijk, Games solved: Now and in the future, Artificial Intelligence, Volume 134, Number 1, January 2002, 277.311.
- [2] J.W.H.M. Uiterwijk, H.J. van den Herik, The advantage of the initiative, Information Sciences 122 (1) (2000) 43.58.
- [3] D.Singmaster, Almost all games are first person games, Eureka 41(1981) 33.37.
- [4] D.Singmaster, Almost all partizan games are first person and almost all impartial games are maximal, J. Combin. Inform. System Scienc. 7 (1982) 270.274.
- [5] Allis L.V., van den Herik H.J., Huntjens M.P.H. 著, 太田 訳, 新しい探索手法を用いることで五目は解決された, bit 別冊 ゲームプログラミング (松原, 竹内編), 共立出版, 1997, 73.84.