

## チェスライクゲームにおける普遍的指標

佐々木宣介 橋本剛 梶原羊一郎 飯田弘之  
{sasaki, hasimoto, cs6501, iida}@cs.inf.shizuoka.ac.jp

静岡大学

### 概要

将棋, チェス, 象棋 (中国将棋) の3種のゲームは起源を同じくし, 世界三大将棋とされている. 本論文では, 与えられたゲームに対して平均合法手数と平均終了手数から求められる  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  という値がチェスライクゲームにおける重要な指標となり得ることを示し, また, ゲームの歴史的な変遷の過程で, この指標がある値に収束するという仮説を提案する. さらに, コンピュータプログラムによる自動プレイにより, 世界三大将棋および日本の将棋類を対象として平均合法手数と平均終了手数などの統計的データを採取した. その結果, 将棋類の進化的変遷において, 駒再使用ルールの付加が現代将棋に進化する上で重要な変化であることを確認した. 本研究の最終目的は, ゲームの進化や発展における普遍的な法則を見出すことである.

## Note on A Universal Estimate for Chess-like Games

Nobusuke Sasaki, Tsuyoshi Hashimoto, Youichirou Kajihara, and Hiroyuki Iida  
{sasaki, hasimoto, cs6501, iida}@cs.inf.shizuoka.ac.jp

Shizuoka University

### abstract

SHOGI, CHESS, and XIANGQI (Chinese chess) are the major world-wide-popular chess-like games which have been played for many centuries. In this paper, we propose an estimate given by  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  for the average possible moves  $B$  and game length  $D$ . We also propose a method called *self-random play* to analyze games, by which we perform experiments with the above three chess-like games and SHOGI variants. The results of the experiments suggest us that the reuse rule of SHOGI is an important step in the course of evolutionary changes of SHOGI. The present aim is to explore the universal way of the evolution of the games.

## 1 はじめに

チェス, 将棋, 象棋 (中国将棋) はインドのチャツランガという共通の起源を持つと考えられ, 世界三大将棋と言われている. これらのチェスライクゲームが現在の形として成立するまでに, 数多くの変種が考案され, 多くは忘れ去られ消えていった. チェスライクゲームの進化の過程で, どの要素が, これらのゲームの「生き残り」に重要な役割を果たしたのだろうか?

われわれは先行研究で, 平安時代の将棋である平安将棋を対象として, その終盤戦は多くの場合, 「王金対王」と呼ばれる局面に収束することに着目し, 「王金対王」局面のコンピュータによる解析を用いて, 将棋盤の大きさが  $8 \times 8$  から  $9 \times 9$  に変遷した理由を考察した [1].

強いコンピュータプログラムを作成するために、先読み探索アルゴリズムが重要となるゲームの研究においては、 $B^D$  で表されるゲーム木の大きさが、そのゲームの難しさを特徴付ける重要な要素である。ここで、 $B$  は平均合法手の数、 $D$  は1ゲームあたりの平均終了手数を意味する。しかし、ゲームの複雑さをあらわすこの指標は、ゲームの進化を考えるには十分でない。

本論文で、われわれはチェスライクゲームの歴史の変遷を特徴付ける新たな指標として、 $\frac{\sqrt{B}}{D}$  を提案する。また、平均合法手や平均終了手数などの統計的データの収集を可能とするために、自動ランダムプレイの手法を提案し、これによって得られたデータを分析する。

## 2 ゲームを特徴付ける指標

松原ら [2] は、主要なチェスライクゲームにおいて、そのグランドマスター (最強レベルのプレイヤー) レベルのゲームの平均合法手数と平均終了手数を報告している。表 1 にその値およびその値から得られるいくつかの計算した値を示す。

表 1: 最強レベルのプレイヤーの試合から得られた数値。

|     | B  | D   | B/D  | $\frac{\sqrt{B}}{D}$ | $B \times D$ | $B^D$                               |
|-----|----|-----|------|----------------------|--------------|-------------------------------------|
| チェス | 35 | 80  | 0.44 | 0.074                | 2,800        | $35^{80} \approx 3.35\text{E}+125$  |
| 象棋  | 38 | 95  | 0.40 | 0.065                | 3,610        | $38^{95} \approx 1.20\text{E}+150$  |
| 将棋  | 80 | 115 | 0.70 | 0.078                | 9,200        | $80^{115} \approx 7.17\text{E}+218$ |

これらのチェスライクゲームは独立に進化を遂げて来たにもかかわらず、エキスパートレベルのプレイヤーのゲームの  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値がほぼ同じであるは注目に値する。

このことからわれわれは次の仮説を提案する。

- ゲームのルールは何世紀もかけて、質の高いルールへと変化していく。質が高いとは、プレイヤーが面白いと感じることに対応する。
- チェスライクゲームにおいては、 $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値がある一定の値に近付くように進化する。したがって、チェスライクゲームにおいては  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値がゲームの完成度をあらわす普遍的な指標となる。

以上の仮説を検証するために、歴史的発展の過程で出現したチェスライクゲームの変種について、平均合法手数と平均終了手数を調べ、 $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値を求めなければならない。しかし、歴史的変種はすでに廃れていて、そのゲームをプレイするプレイヤーがほとんどまたは全く存在しない。また、ゲームをプレイした記録 (棋譜) も統計的处理が可能なものは残っていない。したがって、これらのゲームについては、表 1 のようなエキスパートレベルのプレイヤーのゲームの棋譜を集めるのは不可能である。

そこで、本研究ではコンピュータプログラムによる自動プレイを用いて、各ゲームのデータを収集する。

## 3 プレイヤの強さのモデル

### 3.1 プレイヤの強さと有力な候補手の数

完璧なプレイヤーは、いかなる局面においても最善の一手を選択できる。一方、初心者は、良い手も悪い手も区別がつかないから、全ての合法手が同程度のもっともらしさで候補手となる。

したがって、式 1、図 1 で表されるように、プレイヤーが有力であると感じる候補手の数は、プレイヤーの強さの関数として表される。ここで、 $n$  はプレイヤーの強さを表す変数である。

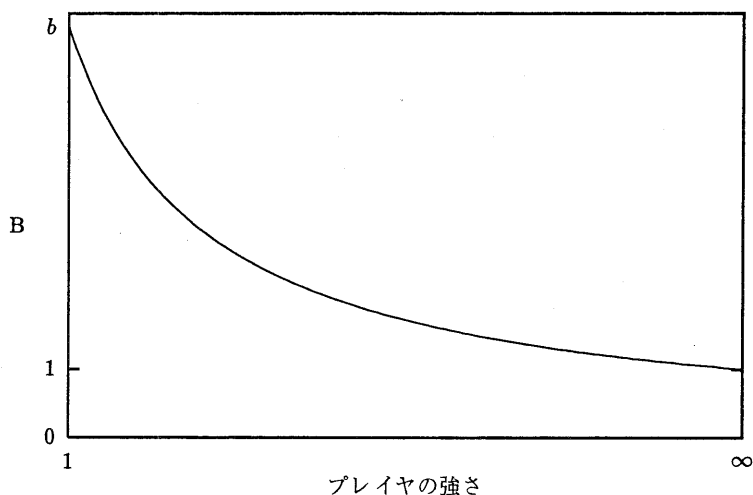


図 1: もっともらしい候補手の数とプレイヤーの強さの関係.

‘B’はそのプレイヤーにとってのもっともらしい候補手の数. 強さ  $\infty$  の完璧なプレイヤーにとっては, もっともらしい候補手は1つだけであり, 強さ 0 の限りなく初心者に近いプレイヤーにとっては, 候補手は合法手の数と同じである.

また, 具体的に数値を入れて計算した結果を表 2 に示す. De Groot[3] によると, チェスのグランドマスターの場合, ほんの数手だけを有力な候補手として選択する. この表では,  $n = 2$ , あるいは,  $n = 3$  が, これに対応する.

$$B = b^{\frac{1}{n}}. \quad (1)$$

表 2: チェスライクゲームの有力な候補手の数.

|     | $n = 1$ | $n = 2$ | $n = 3$ |     |                    |
|-----|---------|---------|---------|-----|--------------------|
| チェス | 35      | 5.9     | 3.3     | ... | $35^{\frac{1}{n}}$ |
| 象棋  | 38      | 6.2     | 3.4     | ... | $38^{\frac{1}{n}}$ |
| 将棋  | 80      | 8.9     | 4.3     | ... | $80^{\frac{1}{n}}$ |

### 3.2 ゲームの終了手数とプレイヤーの強さ

一方, ゲームの終了手数については, プレイヤーの強さによってプレイヤーが感じるゲームの終了手数の尺度を変える必要はないと考えられる. ゲームの複雑さは, ゲームの試合の全般にわたって, 一様に分布することを想定する. そこで, われわれは平均合法手  $B$  および平均終了手数  $D$  によって与えられる値  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  に焦点をあてる.

## 4 計算機による自動プレイ

### 4.1 自動プレイの利点

計算機による自動プレイは以下のような利点がある。まず、ルールさえわかれば、合法にゲームを行うプログラムを作るのは容易である。したがって、既に廃れてしまい、(強い)プレイヤーがいなくなってしまうゲームについても、そのルールさえわかっていれば、データを採ることが可能となる。また、非常に多くの試合数についてのデータの収集が可能である。

本論文では、世界三大将棋および、将棋の歴史的変種の2通りの自動プレイの実験を行なった結果を報告する。

自動プレイによる実験は次のように行なった

- 2種類のプログラムを用意した。
- どちらのプログラムも評価関数を持たない。
- 一つのプログラムは完全にランダムに指し手を選ぶ。
- もう一方のプログラムは、次の一手で敵玉を詰ますことができる場合のみ、その手を選択し、それ以外の場合にはランダムに指し手を選択する。
- コンピュータによる自動プレイで同一のアルゴリズムのプログラムを戦わせて、10,000局の記録を採取した。
- 1,000手以上かかっても勝負がつかなかった場合には、そこでゲームを止めて引き分けとして処理した。

完全にランダムなプログラムはルールを知っているだけで、どのような戦略を取ったら良いか、全く知らない「完全な初心者」に相当する。一方、一手の詰みを探索するプログラムは、「完全な初心者」よりはやや強いプレイヤーに相当する。

### 4.2 世界三大将棋に対する解析

世界三大将棋である、チェス、象棋、将棋について自動プレイによる対局を行なった。表3に自動プレイによって得られた結果を示す。B及びDの計算には、勝負がついたゲームの値のみを使用した。

なお、象棋及び将棋では、チェスにおけるステールメイトと同様の状態になった場合には、指す手がなくなった方が負けとなる。そのため、チェスにおけるステールメイトは引き分け数には含まないとした。したがって、引き分けとは、1,000手に達して、ゲームを終了した場合を意味する。

表 3: 世界3大将棋におけるランダムプレイの結果

| ゲーム |         | B    | D     | $\sqrt{B/D}$ | draw(%) |
|-----|---------|------|-------|--------------|---------|
| チェス | ランダムプレイ | 24.9 | 247.9 | 0.0201       | 64.79   |
|     | 一手詰み探索  | 28.2 | 118.2 | 0.0449       | 8.80    |
| 象棋  | ランダムプレイ | 28.8 | 318.5 | 0.0169       | 44.10   |
|     | 一手詰み探索  | 36.0 | 127.1 | 0.0472       | 2.29    |
| 将棋  | ランダムプレイ | 50.6 | 408.4 | 0.0174       | 16.35   |
|     | 一手詰み探索  | 43.7 | 184.0 | 0.0359       | 0.02    |

表3からわれわれは以下の知見を得た。

- 表 1 と比較すると、ランダムな自動プレイから得られた平均合法手の値は非常に小さい。これは、初心者のプレイヤーにおいては、駒を効率良く使うための知識に乏しいためであると考えられる。
- 逆に、自動ランダムプレイによるゲームの平均手数は長い。これは、プレイヤーの強さが向上すれば減少していくと予想される。
- $\frac{\sqrt{E}}{D}$  の値はプレイヤーの強さが向上すると増加する。この値は、表 1 に示した値に近付いて行くと予想される。
- 引き分けの割合は、プレイヤーの強さが向上すると減少する。

### 4.3 将棋の歴史的変種に対する解析

次に、将棋の歴史的変種について、自動プレイによる実験をおこなった。将棋は世界中のチェスライクゲームの中で、捕獲した駒を再利用できるという特別なルールを持つ。この持駒再利用ルールによって、合法手の数が非常に大きくなり、複雑なゲームとなっている。このような将棋が、持駒ルールを持たない原将棋からどのようにして、再利用ルールが発明され、進化してきたかを知ることは非常に興味深い。

#### 平安将棋

日本将棋においては、平安将棋と呼ばれる原将棋が存在した。この平安将棋が発展して現代将棋に進化したと予想される。平安将棋には少なくとも 2 つのタイプが存在したようである。ひとつは、図 2 に示すような大駒がなく、盤の大きさが  $9 \times 9$  ではなく  $9 \times 8$  であること以外は現代の将棋に良く似ている。もう一つは、金将が一枚だけで、 $8 \times 8$  の大きさの盤で行なわれたタイプである。

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|
|   | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |   |      |
|   | ▲ | 桂 | 銀 | 金 | 王 | 金 | 銀 | 桂 | ▲ | 一 | 持駒なし |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 二 |      |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 三 |      |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 四 |      |
| ↑ |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 五 | な駒なし |
| な | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 六 |      |
| 駒 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 七 |      |
| 盤 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 八 |      |
| □ | 香 | 桂 | 銀 | 金 | 王 | 金 | 銀 | 桂 | 香 |   |      |

図 2:  $9 \times 8$  平安将棋の初期配置

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|
|   | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |   |      |
|   | ▲ | 桂 | 銀 | 金 | 王 | 銀 | 桂 | ▲ | 一 | 持駒なし |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   | 二 |      |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   | 三 |      |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   | 四 |      |
| ↑ |   |   |   |   |   |   |   |   | 五 | な駒なし |
| な | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 歩 | 六 |      |
| 駒 |   |   |   |   |   |   |   |   | 七 |      |
| 盤 |   |   |   |   |   |   |   |   | 八 |      |
| □ | 香 | 桂 | 銀 | 金 | 王 | 銀 | 桂 | 香 |   |      |

図 3:  $8 \times 8$  平安将棋の初期配置

これらの将棋にはまだ持駒再利用ルールはなかったと考えられる。大駒追加及び持駒再利用ルールの付加が、現代将棋に進化する過程で生じたのである。平安将棋から現代将棋に進化するまでに、その過程に現れたと考えられる中間型の将棋も加え、自動プレイによる実験を行ない、進化の過程でどのような質的変化が起こったかを分析・評価した。

#### 自動プレイによる実験

実験は、平安将棋、平安将棋+大駒、平安将棋+持駒再利用、平安将棋+大駒+持駒再利用(現代将棋)の 4 種類の変種に対して行なった。平安将棋のみ  $9 \times 8$  の大きさの盤で、大駒使用ルール、持駒再利用ルールともに  $9 \times 9$  の大きさの盤で実験を行った。その他、実験の手順は前節と同様である。

実験の結果を表 4 にあらわす。

表 4: 将棋の歴史的変種におけるランダムプレイの結果.

| ゲーム     |         | B    | D     | $\sqrt{B}/D$ | draw(%) |
|---------|---------|------|-------|--------------|---------|
| 平安将棋    | ランダムプレイ | 23.9 | 209.3 | 0.0234       | 84.55   |
|         | 一手詰み探索  | 24.2 | 180.3 | 0.0276       | 50.14   |
| 平安将棋+大駒 | ランダムプレイ | 29.4 | 269.6 | 0.0201       | 82.22   |
|         | 一手詰み探索  | 30.4 | 209.8 | 0.0263       | 33.40   |
| 平安将棋+持駒 | ランダムプレイ | 40.9 | 345.2 | 0.0185       | 37.09   |
|         | 一手詰み探索  | 38.0 | 198.9 | 0.0310       | 3.67    |
| 将棋      | ランダムプレイ | 50.6 | 408.4 | 0.0174       | 16.35   |
|         | 一手詰み探索  | 43.7 | 184.0 | 0.0359       | 0.02    |

表 4 から以下の知見を得た。

- 平均合法手の数は、将棋(ランダムプレイ)が一番大きい。これは、持駒を盤上の空いている地点のどこにでも打つことができるからである。また、持駒再利用を付加した平安将棋が大駒追加の平安将棋よりも大きい。
- 初心者においては、ゲームの終了手数は平安将棋から現代将棋までより長くなる傾向にある。一方、初心者よりも強いプレイヤーになると、その違いがほとんどなくなる。
- $\frac{\sqrt{B}}{D}$  は、プログラムの強さが強くなると、値が増加している。現代将棋の値は、プログラムが強くなるのにしたがって表 3 の値に近付いていくと考えられる。
- 引き分け率は平安将棋が一番高い。一手詰みを探索した場合、引き分け率は大きく低下したが、それでも平安将棋の場合、およそ半分のゲームが引き分けに終わった。引き分けの割合は、プレイヤーが強くなるにつれて減少する。特に、平安将棋+持駒ルールおよび、現代将棋においては引き分けの割合が極端に少なくなる。

## 5 考察

### 5.1 ルール変化の重要度

前章で取り上げた将棋の変種は現代将棋を除いてはすでに廃れてしまっているため、エキスパートレベルのプレイヤーのゲームにおける平均合法手や平均手数データを直接採取することができない。そこで、自動的なランダムプレイのデータを用いてエキスパートレベルのプレイヤーのゲームにおける平均合法手、平均手数を推測することを考える。

世界三大将棋に対する自動プレイの実験から、 $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値は、プログラムの強さが強くなるにしたがって、エキスパートによるゲームの値に近付いていくことが示唆される。

また、完全ランダムプレイは非常に弱いプレイヤー、一手詰み探索アルゴリズムは少し強くなったプレイヤーをモデル化している、と考えることができる。現代に残っているチェス、象棋、将棋については、完全ランダムプレイから、一手詰み探索に変わっただけで、大きな変化があったが、古代の将棋である平安将棋の場合には、その変化量が非常に小さい。

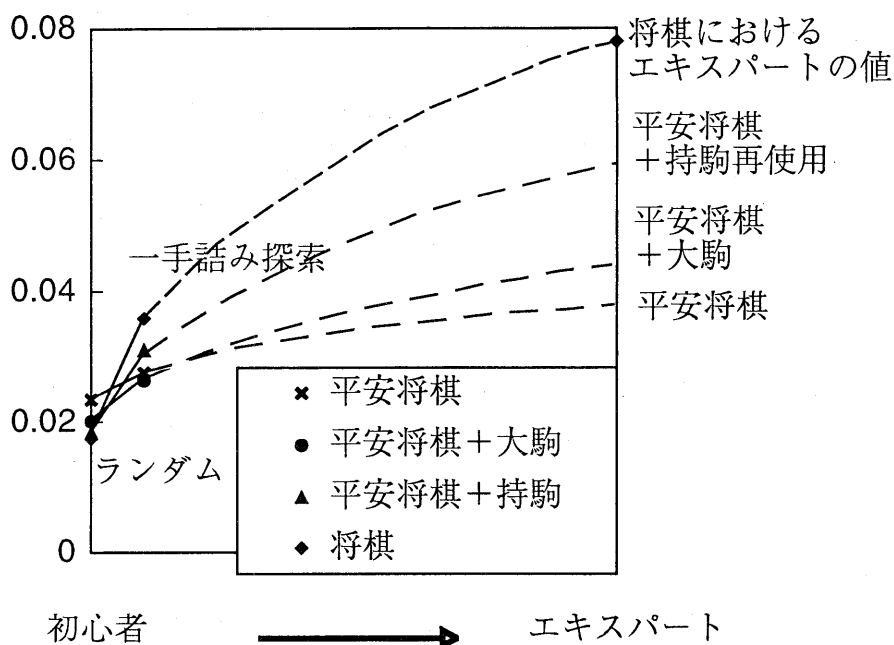


図 4: エキスパートによるゲームの  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の予測.

以上のことを踏まえ、非常に粗い予測ではあるが、エキスパートによるプレイによって得られる  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値を予測する。

図 4 に予測した結果をあらわす。

図 4 の結果から、本稿で提案する指標  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  について、われわれは次のように考察する。

- 平安将棋の場合には、エキスパートレベルのプレイヤーでも  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値は低いままであると予想される。
- 平安将棋の他の変種も現代将棋と比べると  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値は小さい。
- 大駒使用ルールよりも、持駒ルールを加えた場合の方が、より現代将棋に近い値になる。

このような結果から、平安将棋が現代将棋に進化する過程においては、持駒再利用ルールがより重要な変化であると考えられる。

しかしながら、以上の推測はわずかに 2 種類の強さのプログラムによる実験結果から推測したものである。したがって、エキスパートレベルのゲームのデータを正確に予測するには、もっと多くの強さの異なるプログラムによる実験を行なうべきである。

## 6 結論と今後の課題

本論文では、ゲーム木の複雑さを表す従来の指標  $B^D$  とは別に、 $\frac{\sqrt{B}}{D}$  という新たな指標がチェスライクゲームの進化を特徴付ける指標として提案した。 $B$  は平均合法手の数、 $D$  は、1 回のプレイの平均手数を

あらわす。エキスパートレベルのプレイヤーによるゲームから得られる  $\frac{\sqrt{B}}{D}$  を評価した結果、3つのチェスライクゲームではほぼ同程度の値となることがわかった。

既にプレイヤーが存在しない歴史の変種についての統計的データを採取するために、コンピュータプログラムによる自動プレイを行なった。ルールを覚えただけの初心者に相当する、完全にランダムに指し手を選択するプログラムおよび一手詰みのみを探索するプログラムを用意し、それぞれについて自動的に対戦させて、そのゲームの平均合法手、平均手数のデータを採取した。 $\frac{\sqrt{B}}{D}$  の値は、コンピュータプログラムの強さが強くなれば、エキスパートのその値に近付くと考えられる。将棋の歴史の変種においては、持駒再利用ルールが平安将棋から現代将棋に発展する重要な変化であることを確認した。

今後の課題を以下に示す。

- さらに様々な強さのプレイヤーをモデルにしたアルゴリズムによる自動プレイを行なう。
- 将棋だけでなく、チェスや象棋の歴史の変種についても自動プレイによるデータ採取を行ない、ルールの変遷と質的变化の関係を調べる。本稿で提唱した仮説の有効性を将棋以外でも検証する。
- 自動プレイによって得られたデータも利用して、チェスライクゲームの系統樹を作る。

## 参考文献

- [1] Iida, H., Yoshimura, J., Morita, K. and J.W.H.M. Uiterwijk (1999). Retrograde Analysis of the KGK Endgame in Shogi: Its Implications for Ancient Heian Shogi, in Jaap van den Herik and Hiroyuki Iida (Eds.) Proc. Internat. Conf. on Computers and Games, CG'98, *Lecture Notes in Computer Science*, vol.1558, Springer, Heidelberg, pp.318-340.
- [2] Matsubara, H., Iida, H. and Grimbergen, R. (1996). Natural Developments in Game Research. *ICCA Journal*, 19(2): pp.103-111.
- [3] De Groot, A.D. (1965). *Thought and Choice in Chess*. Mouton, The Hague.