

## 証拠理論を用いた将棋の進行状況の分類

江崎 朋人<sup>†</sup>

橋山 智訓<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>名古屋市立大学大学院 システム自然科学研究科

<sup>‡</sup>電気通信大学大学院 情報システム学専攻

<sup>†</sup>t.esaki@nsc.nagoya - cu.ac.jp <sup>‡</sup>hashiyama@is.uec.ac.jp

**概要** 将棋には局面の進行状況を表現する尺度として序盤・中盤・終盤という概念がある。それぞれの状況において各駒の重要度が変わると言われており、序盤・中盤・終盤において戦略が異なる。現在コンピュータ将棋は、序盤・中盤・終盤などの進行状況を判断するのが苦手としている。進行状況が判断できれば、それぞれに適した戦略をとらせることが可能になる。プロ棋士は序盤・中盤・終盤を判断する上で局面や手数を情報源としており、そこには不確実さを持ち合わせていると考える。本研究ではこの不確実さを証拠理論に基づいて定量化し、将棋年鑑 2001・2002 の棋譜を用いて序盤・中盤・終盤を分類することを試みた。

### The classification of the stages in Shogi game using Dempster-Shafer theory

Tomohito Esaki<sup>†</sup>

Tomonori Hashiyama<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Grad. School of Natural Sciences, Nagoya City University

<sup>‡</sup>Grad. School of Information Systems, University of Electro - Communications

**Abstract** Computer Shogi programs are still in development to defeat the professional players. The problem exists in estimating the status of the game phases. It is said that there are three phases in the Shogi. They are called; opening, middle phase, and endgame. The importance of each Shogi piece changes depending on the current phase. The problem lies in how to select the appropriate strategy in each phase. At present, Computer Shogi programs are not good at estimating the phase, while professional Shogi players are. In this paper, we introduce the Dempster-Shafer theory to handle with the uncertainty in professional Shogi players. We also introduce three uncertain measures to estimate the phase of the game. Using the game record in 2001 and 2002, these measures are calculated to show the feasibility of our approach.

## 1 はじめに

将棋はチェスと同様に二人・零和・有限・確定・完全情報ゲームである。チェスにおいては、ゲームに勝つことを探索問題ととらえ、探索法を工夫することで、人間と互角に勝負できるシステムが作られている [1]。将棋も同様に探索問題としてとらえられるが、チェスと比較して探索空間が膨大なため、現実的な時間で解を得ることは困難である。現実的な時間で解を求めるには、探索空間をさらに効果的に構成する必要がある。例えば何らかの条件の下、探索範囲を限定したり最適化すべき目的関数を工夫する必要がある。本研究では目的関数に着目し、適切な目的関数を設定する方法を構築することを目指す。

目的関数を学習により獲得する研究も行われており、ニューラルネットワークや強化学習の一手法である TD 学習法が適用されている [2][3]。これらの研究では 1 局単位で学習させるケースが多く、学習に時間がかかり、得られた評価関数を 1 局全体で使用するため序盤・中盤・終盤における戦況の変化を表現できない。また、中盤だけで学習を行う研究もあるが、どのように中盤を判断するかについては議論されておらず人間が適切に中盤を判断する必要がある。ただ、一局全体を単一の目的関数によって表現することは、将棋のゲームとしての性質を適切に表現できないと考えられる。よく知られているように、将棋では、序盤・中盤・終盤と局面を分けることが効果的であると言われている。

げなら、局面に応じて戦略を再構成するために目的関数が大きく異なると考えられるからである。しかしながら、どのように局面を分けることができるかに関しては、議論が深まっておらず、棋力の違いによっても、分け方が異なると言われている。本稿では、局面を分けるに際し、その定量的な基準を求めることを目的とする。定量化に際しては、証拠理論を基礎とした情報量を用いて、種々の指標を計算により求めた。

本研究では、現実的な時間での解探索を実現するために戦況の分類が必要であると考え、そのために序盤・中盤・終盤を定量的に評価できる指標に関して議論する。プロ棋士は序盤・中盤・終盤を判断する上で盤上の駒の配置や持ち駒、現在までの手数を情報源としていと考えられる。そこには主観的な不確実さがある。主観的な不確実さを定量化する方法として、証拠理論に基づく指標が良く使われる。そこで本研究ではこの不確実さを証拠理論を用いて定量化することによって進行状況の分類を試みたので報告する。

## 2 証拠理論

証拠理論は、1976年に Shafer によって提案された理論で、Dempster の上下界確率を基にすることから Dempster-Shafer Theory と呼ばれている。日本語では Shafer の著書 [4] の題名からとった「証拠理論」と呼ばれている。この理論は基本確率割当と呼ばれる集合関数を基に構成されている。具体的には、有限集合を  $X$  としたとき、式 (1) で表される集合関数によって基本確率割当 (Basic Probability Assignment : BPA)  $m(\cdot)$  が与える。BPA は全体集合  $X$  のべき集合に対して割り当てる。 $m(A)$  は、ある要素  $x \in X$  が集合  $A$  に属するという主張に対する信頼の度合いを示す。 $m(A) > 0$  を満たす  $A \subset X$  を焦点要素とよび、焦点要素の集合を  $\mathcal{F}$  で表す。焦点要素  $\mathcal{F}$  と  $m$  の組  $(\mathcal{F}, m)$  を証拠と呼ぶ。

$$m : 2^X \rightarrow [0, 1], \quad m(\emptyset) = 0$$

$$\sum_{A \subset X} m(A) = 1 \quad (1)$$

証拠理論により BPA が与えられたとき、その状態に対して3つの不確実さの指標が定義できることが [5][6] により議論されている。3つの不確実さの指標は、不特定度 ( $N$ )、不一致度 ( $E$ )、混迷度 ( $C$ ) と呼ばれる。

これらは、式 (2)~(5) で定義される。

$$N = \sum_{A_i \subset \mathcal{F}} m(A_i) \log_2 |A_i| \quad (2)$$

$$E = - \sum_{A_i \subset \mathcal{F}} m(A_i) \log_2 Pl(A_i) \quad (3)$$

$$C = - \sum_{A_i \subset \mathcal{F}} m(A_i) \log_2 \left( \frac{m(A_i)}{Pl(A_i)} \right) \quad (4)$$

$$Pl(A_i) = \sum_{B \cap A_i \neq \emptyset} m(B) \quad (5)$$

それぞれの指標は一般的に、次のように意味づけられる。

- 不特定度  $N$   
不特定度は、ある要素  $x$  が集合  $X$  の部分集合  $A_i$  のどれに属するか特定ができない度合いを表す。
- 不一致度  $E$   
不一致度は、 $x \in X$  が異なる部分集合  $A_i \subset X$  に属するという意見のばらつき具合を示す。つまり意見の不一致を示し、矛盾の度合いを表す。
- 混迷度  $C$   
混迷度は、証拠から要素  $x$  の所属すべき集合  $A_i \subset X$  を選択するとき、どの集合  $A_i$  に属する度合いも確からしく、どの意見を信用してよいのか分からないという混乱の度合いを表す。

すべての指標は、値が大きくなればなるほど不確かであることを示す。逆に指標の値が減少しすべての不確かさがなくなるとき、証拠から要素  $x \in X$  が一意に決定づけられることとなる。

## 3 不確実さの指標の将棋への適用

### 3.1 将棋における不確実さ

将棋における不確実さと、前項の指標は以下のように対応づけることができる。

- 不特定度：  
どの駒を動かすかを判断することに伴う不確実さ。
- 不一致度：  
盤面のどこに注目するかを判断することに伴う不確実さ。

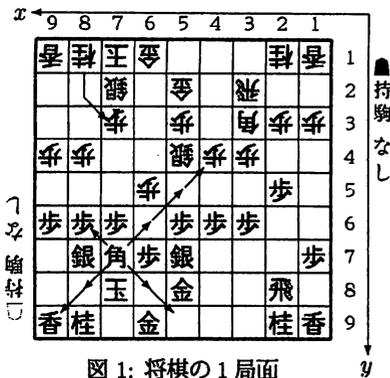


図 1: 将棋の 1 局面

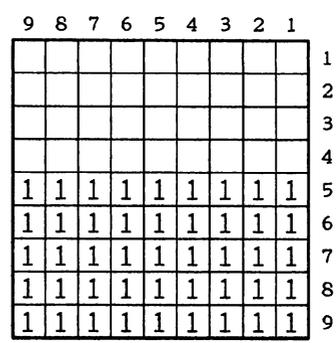


図 2: 仮想的な利きの一様な分布

● 混迷度:

盤面の一部における駒の重要度を考えるときの不確かさ。

本稿では、手始めに、序盤・中盤・終盤を分けるための定量的な指標として、不一致度  $E$  を利用することとした。なぜなら、盤全体の駒の散らばり具合が、局面の分類において重要であると考えたからである。

3.2 変数定義

指標を計算するにあたり以下の定義を導入する。本研究では、盤の右から  $x$  列目、上から  $y$  行目のマスをも  $xy$  と表現する。例えば図 1 において、先手の王のあるマスは 78 である。全体集合を  $X = \{xy | 1 \leq x, y \leq 9, x, y \in \mathbb{N}\}$  とし、 $xy$  を始点とし、縦横  $d$  マス分の正方形の範囲を  $A_{xy}(d) = \{x'y' | x \leq x' \leq x + d, y \leq y' \leq y + d\}$  と表すことにする。例えば  $A_{33}(2) = \{33, 34, 43, 44\}$  である。ここで、マス  $xy$  に利いている駒全体の集合を  $S_{xy}$  と書くことにする。マス  $xy$  に利いている駒とは、マス  $xy$  に駒がないときは、マス  $xy$  へ移動可能な駒のことを表し、またはマス  $xy$  に駒があるときは、その駒が無い場合にマス  $xy$  へ移動可能な駒のことを表す。 $|S_{xy}|$  を  $S_{xy}$  の要素の数とする。即ち  $|S_{xy}|$  はマス  $xy$  に利いている駒の数である。また駒  $a$  の利きとは、集合  $\{xy | a \in S_{xy}\}$  で表される。例えば図 1 において 77 のマスにある先手の角の利きは  $\{44, 55, 66, 68, 59, 88, 86, 99\}$  である。また、マス 73 には後手の場合、72 の銀と 81 の桂が利いているので、マス 73 の利きの数  $|S_{73}| = 2$  である。

3.3 BPA の決定法

本研究では盤上のマスに注目し、マスを集合の要素ととらえ、 $X$  の部分集合に対して BPA を定めた。集合の利きの数をその集合の重要度ととらえ、利きの数を用いて BPA を定めた。具体的に

$$\mu(B) = \begin{cases} \sum_{j=y}^{y+d} \sum_{i=x}^{x+d} |S_{ij}| & \text{if } B = A_{xy}(d) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$m(A) = \frac{\mu(A)}{\sum_B \mu(B)} \quad (7)$$

である。図 1 の先手において  $\mu(A_{66}(2)) = |S_{66}| + |S_{76}| + |S_{67}| + |S_{77}| = 8$  である。 $d \geq 3$  に対して  $m(A_{xy}(d)) = 0$  としたとき  $N = 1.537, E = 2.836, C = 3.146$  となる。また、図 2 のように駒の配置に関係なく、 $y \geq 5$  のとき  $|S_{xy}| = 1$ 、それ以外の時  $|S_{xy}| = 0$  となるような一様な分布を考えると  $E = 2.95$  となる。

3.4 分類の方法

本研究では不一致度  $E$  は『盤全体における利きの散らばり具合を表す』と意味づけることができる。これをもとに序盤・中盤・終盤の分類を行った。

3.4.1 序盤と中盤

序盤は利きが自陣付近に集中しており、ばらついていない。中盤は序盤に比べ、利きがある程度ばらつい

ている。不一致度  $E$  は利きの分布に関する指標であるので、序盤は  $E$  の値が低く、中盤に近づくにつれて  $E$  の値が高くなると考えられる。そこで、 $E$  の値がある程度の値まで増えたとき中盤と考えられる。図2のように単純に下から5段目までを1で埋めたとき  $E = 2.95$  である。このことから  $E$  の値が3以上になった手数で序盤と中盤を分けることとした。但し定跡の中で3以上になった場合は除いた。

### 3.4.2 中盤と終盤

終盤においては手数を重視するため、中盤で重視していた駒の損得を無視する手を打つことが多い。例えば角と金を交換するような手である。このような手によって不一致度  $E$  の値の変化が大きくなると考えられる。従って、ある程度手数が大きいときに、不一致度  $E$  の変化率が大きいところで中盤と終盤に分けることとした。

## 4 結果

プロ同士の対局を記録した棋譜データベースである将棋年鑑2001, 2002からランダムに60局の棋譜を選んで  $E$  を計測した。その一例を示す。

図3は第13期竜王戦七番勝負第1局、先手：藤井竜王、後手：羽生5冠の結果である。藤井竜王が勝った棋譜の結果で、横軸に手数、縦軸に  $E$  の値をとったものである。◇は先手、△は後手の値をそれぞれ表す。最初は  $E$  の値は低い。局面が進むにつれて、 $E$  の値も増加する。これは盤全体における利きの散らばり具

合を表していることに当てはまる。また、 $E$  は利きの分布に関する指標であることから、攻撃の指標になりうる。図3において41手目での先手の  $E$  の値が3.08になるので本稿で採用した指標によれば、41手目で序盤と中盤に分けることができる。また、60手目と61手目での後手の  $E$  の値の差が大きく減少しているのでここで中盤と終盤に分かれると判断できる。実際、初級者は40手目前後で戦いが始まったと考え、59手



図4: 40手目 ○8八角成まで



図5: 59手目 ○同 飛成まで

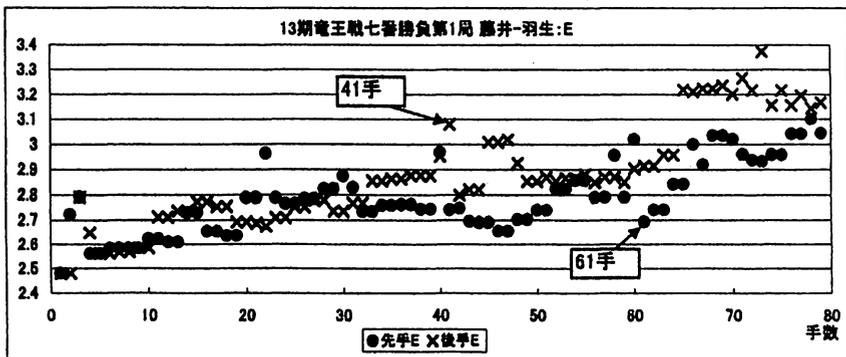


図3: 不一致度  $E$  のグラフ

目の手が飛金交換で、このあたりから終盤と考えた。従って、図3の棋譜に関して、初級者の分類と比べて良い結果が得られたといえる。

次に60の棋譜に対して、初級者が主観で序盤・中盤・終盤に分類したものと、本研究の方法で序盤・中盤・終盤に分類したものとを比較したものを表1に示す。

表1: 60局の棋譜の結果

	序盤と中盤	中盤と終盤
ずれがない、及び1,2手のずれ	17	10
5手以下のずれ	10	13
10手以下のずれ	19	3
10手より大きいずれ	20	22
分類できなかった	0	12

5手前後ずれることを許容すれば、不一致度  $E$  により、序盤と中盤を半数近くの対局で分類することができた。また10手程度のずれを許容すれば、不一致度  $E$  により、中盤と終盤を半数近くの対局で分類することができた。

60局の棋譜のうちの19局について、中級者にも同じように判断してもらった。序盤と中盤の分類について、不一致度  $E$  による分類と初級者及び中級者の主観による分類の比較結果を表2に示す。

表2: 初級者によるものと中級者によるもの

	初級者	中級者
ずれがない、及び1,2手のずれ	8	3
5手程度のずれ	4	4
10手以上のずれ	7	12
分類できなかった	0	0

不一致度  $E$  による分類と初級者の主観による分類との比較に比べて、 $E$  による分類と中級者の主観による分類との比較の方がずれが大きい。このことから将棋プレイヤーの強さによっても、局面判断が異なることが分かる。

## 5 まとめ

プロの棋譜を用いて、利きの情報からBPAを決定し、証拠理論に基づいた不確実さの指標の一つである不一致度  $E$  を求めた。不一致度  $E$  を用いて半数の対局において序盤・中盤・終盤を分けることができた。今回は利きの数のみを使ってBPAを定めたが、駒の位置や種類などを使うことも考えられる。今後これらの情報や他の2つの不確実さの指標である不特定度、混迷度を使用することを検討していきたい。また、プレイヤーの強さによる違いも考慮する。

## 参考文献

- [1] 松原仁, 竹内郁雄編, ゲームプログラミング「bit別冊」, 共立出版, 1997.
- [2] 松本慶太, 鈴木豪, 小谷善行, ニューラルネットワークを利用したTD( $\lambda$ )法に基づく将棋の評価関数の学習, 第6回ゲームプログラミングワークショップ, pp176-178, 2001
- [3] 今龍, 鈴木康広, 大堀隆文, 渡辺一央, ニューラルネットワークによる将棋評価関数の学習, 第7回ゲームプログラミングワークショップ, pp143-146, 2001
- [4] Shafer, G., A Mathematical Theory of Evidence, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1976
- [5] Klir, G.J. and Folger, T.A., Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ, 1988. (本多中二 訳, ファジィ情報学、日刊工業新聞社, 1993).
- [6] Yahachiro Tsukamoto, Three Type Entropy in the Evidential Theory with their Applications, The Fourth Asian Fuzzy System Symposium, pp645-650, 2000.