

詰将棋問題の感性評価と証明数に関する考察

石飛太一[†] 飯田弘之[†]

本論文では証明数を利用した詰将棋問題の感性評価について調査を行った。そこで、証明数と反証数についての統計情報を得るため、Allis(1994)によって提案された Proof-Number Search を利用し、コンテストにおける上位問題の分析を行った。また、上位入賞問題とその他一般問題について違いを調べ比較した。結論として、証明数と詰将棋問題の感性評価の間には一定の関わりがあることが分かった。

Discussion about Evaluation of Tsume-Shogi Problems and Proof-Number

TAICHI ISHITOBI[†] and HIROYUKI IIDA[†]

This paper concerns the evaluation of the aesthetics aspect of Tsume-shogi (mating problem of Japanese chess) based on the proof-numbers. For this purpose we analyze top ranking problems to obtain some statistics such as proof-numbers and disproof-numbers while using original Proof-Number Search proposed by Allis(1994). These top ranking problems and other standard problems are compared to observe the difference. It is found that aesthetics of Tsume-shogi relates to the proof-numbers.

1. はじめに

詰将棋問題の感性評価に対する既存研究として、小山ら¹⁾の研究では、詰将棋データベースとコンテスト作品を比較し、駒数、詰め上がり図の開放度、紛れや変化の数などの観点において調査を行った。これにより、いくつかの要素が詰将棋問題の評価と関係があることが解明されている。しかし、要素を複合的に考えなければならないなど、未だ問題が残っている。

本研究では、詰将棋問題を解く際の証明数・反証数に注目し、これら値と詰将棋問題の評価について調査を行った。証明数・反証数は Proof-Number Search²⁾等の探索アルゴリズムに用いられる値であり、詰将棋問題を解く際にも利用される。調査内容は、1. 証明数・反証数の探索以外の場面における見方について、2. 探索中の証明数・反証数の取得方法、3. 証明数・反証数を詰将棋問題の評価に使用する方法の3点である。将来的に、詰将棋問題をこれら数値にて比較できることを目標とし、詰将棋問題からデータを抽出、考察を行った。

2. 調査手法について

ここでは、詰将棋問題の評価に利用する証明数・反証数に関する説明を行う。

2.1 従来手法の問題点とアプローチ

詰将棋問題の定量的解析については既に小山ら¹⁾によって研究が行われている。この研究の中で本研究と最も関連があるのは紛れと変化の数についての部分である。「紛れ」とは、攻め手が選べる王手のかけ方の数であり、「変化」とは受け手が選べる逃げ方の数である。これらの総数が多いほど難解な問題になるとして、詰将棋解答プログラムを利用した際の探索ノード数や探索時間について調査を行い、その値について比較を行っている。しかし、探索ノード数や探索時間では、攻め手と受け手を一緒にしてしまう点や、探索中の値変化が不明となってしまう問題がある。

そこで本研究では、探索アルゴリズムの一つである Proof-Number Search を利用し、探索中の証明数・反証数に着目することで詰将棋問題の評価について調査を行う。証明数・反証数については後述するが、攻め手と受け手が考えなければならない局面数を分離することができ、より詳細な調査を行えると考える。また、証明数・反証数の推移、平均値、最大値などの詰将棋を解いている最中のデータにも着目し、詰将棋問題の評価との関連を調べる。

[†] 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology

2.2 Proof-Number Search

Proof-Number Search (PNS) は 1994 年に L. V. Allis²⁾ によって発表された探索手法である。将棋やチェスなどの AND/OR 木が構築可能な二人ゲームにおいて、ルートノードを True にするために必要な最小木を構築できる。AND/OR 木とは、AND ノードと OR ノードで構成されたゲーム木で、それぞれのノードは以下の性質を持つ。

- OR ノード：先手を表す。OR ノードを True (勝利) にするためには最低 1 つの子ノードが True になればよい。反対に、OR ノードを False (敗北) にするためには全ての子ノードが False になる必要がある。
- AND ノード：後手を表す。AND ノードを True にするためには全ての子ノードが True になる必要がある。反対に、AND ノードを False にするためには最低 1 つの子ノードが False になればよい。

以上のように、論理演算の AND, OR のような特性を持ったノードが交互に接続されゲーム木を構築しているものが AND/OR 木である。

この AND/OR 木を PNS を用いて探索する際に用いられるのが証明数と反証数である。証明数・反証数とはそれぞれ以下の通りである。

- 証明数：OR ノード (先手) において値を True にするのに探索しなければならない末端ノード数。OR ノードでは子ノードにおける証明数の最小が、AND ノードでは子ノードにおける証明数の合計が設定される。
- 反証数：AND ノード (後手) において値を True にするのに探索しなければならない末端ノード数。OR ノードでは子ノードにおける反証数の合計が、AND ノードでは子ノードにおける反証数の最小が設定される。

* 値を True にするとは証明数を 0, 反証数を ∞ にすることであり、False にするとは証明数を ∞ , 反証数を 0 にすることをいう。

PNS では、OR ノードでは子ノードの中で最小の証明数を持つノードを探索し、AND ノードでは子ノードの中で最小の反証数を持つノードを探索することで、常に最も値が確定しそうなノードを探索していく。これにより、勝利が確定するのに必要な最小のノードだけを探索できる効率的な手法が PNS である。

2.3 実験方法

証明数・反証数を取得する手法について説明する。

PNS では図 1 のように探索が行われる。毎回必ずルートノードから探索を開始し、最も値が確定しそ

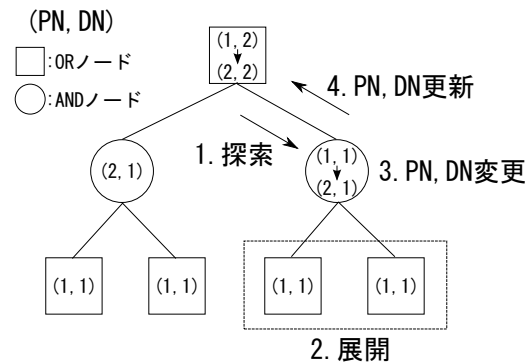


図 1 探索のイメージ図 (PN=証明数, DN=反証数)

うなノードへと探索を行う。末端ノードに到達した場合、展開処理を行い、合法手による次の局面 (ノード) を作成し、展開できない場合はノードの値が True か False かを調べる。これにより、展開処理したノードの証明数・反証数が変化するが、この変化は親ノードにも伝搬し、最終的にルートノードまでの証明数・反証数が変化する。従って、探索を行うたびにルートノードの値は更新され、ルートノードにおける証明数・反証数はゲーム木全体についての値を表すことになる。本手法で PNS を採用する理由は、PNS がこのような最良優先探索であり、ルートノードにおいてゲーム木全体の情報を持つためである。証明数・反証数を利用する PNS より効率的なアルゴリズムには、例えば Depth-First Proof-Number Search などが存在するが、いずれも、そのままではゲーム木全体の情報を取得することはできない。ここでは、純粋な PNS を利用することで、詰将棋問題のデータを抽出する。

本実験では、このルートノードにおける証明数・反証数を探索毎に記録を行うことでデータを集める。このデータには、探索終了までの証明数・反証数の推移が記録されており、ここからそれぞれの最大値や平均値などを計算することで、詰将棋問題の評価について調査を行う。なお補足としてルートノードの値が確定した際の証明数・反証数は記録しない。これは、反証数が ∞ になることで平均値や最大値といった情報が失われることを防ぐためである。

3. 実験データ

ここでは、実際に実験で得られたデータについて考察する。

3.1 各種データ表について

1992 年に将棋世界誌において行われた 5 手詰め, 7 手詰めコンテストの上位 3 位についてのデータと、一般詰将棋問題集における 5 手詰め, 7 手詰め各およそ

30 題の平均値についてのデータを表 1, 表 2 に示す。

PN は証明数を, DN は反証数を表している. PN, DN 最大は, 詰将棋を解いている最中にルートノードにおいて最も値が大きくなった際の PN, DN 値を記録している. 更新数は, 何回ルートノードの値に更新処理 (値が変わらない場合もカウントする) が行われたかを表す. PN, DN 合計はルートノードの値に更新処理が行われるたびに PN, DN 値を記録し, 最終的にその全ての値を合計したもので, PN, DN 平均はその合計値を更新数で割ったものである.

証明数は, 詰将棋問題でいえば, 解答を得るために考えなければならない局面数を表す. 従って, 証明数が多いほど考えなければならない局面が多くなるため, 問題が難しくなることから証明数は問題の難易度を表すと考える.

また反証数は, 詰将棋問題でいえば王手の連続から逃れられる可能性を表す. 実際には受け手は必ず詰まされるが, 反証数が低ければ, 戦況においては受け手が敗北しにくい状態に見えることから, 反証数は見た目の形勢を表すと考える.

はじめに PN, DN 最大に着目しデータを見てみる. まず PN 最大についてだが, 表 2 をみると, 大賞から順位に従って減少していることが分かる. 証明数が難易度を表すのであれば, PN 最大は問題を解いている最中の最も難しく感じた瞬間 (最高難易度) を表していると考えられる. 従って, 単純に最高難易度によってコンテストの結果が決まったように見えるが, 3 位作品の PN 最大は 3 であり, これは一般詰将棋問題の平均

値より下である. 問題における最高難易度だけがコンテスト結果につながった訳ではないことは, 表 1 においても示しており, 大賞作品の PN 最大値は他 2 作品より低い値となっている. 次に DN 最大だが, 反証数は証明数や更新数によって値の変動が縛られるため, この値だけを見ても他問題との形勢を比較することは難しい.

次に PN, DN 平均に着目しデータを見てみる. まず PN 平均についてだが, PN 最大と同じく表 2 において大賞から順位に従って減少している. PN 平均は, 問題を解いている最中に平均的に感じた難易度を表すと考える. しかし, これも PN 最大と同じように 3 位作品は一般平均より PN 平均が低く, 表 1 においても順位との関連性が見られない. 次に DN 平均を見てみる. DN 平均は, 問題を解いている最中に感じる平均的な形勢を表し, 値が低いほど形勢が拮抗しているように見えると考える. 表 2 においては大賞作品の方が, 2 位作品より DN 平均が少ない. また, 3 位作品の DN 平均は一般作品の平均値よりぐっと下になっている. 3 位作品は難易度でみれば, それほど難しい問題ではないが, 見た目の形勢は非常に緊迫したものに感じ取れるのではないだろうか. その一方で表 1 の方では表 2 とは異なり, DN 平均と順位との関連性は見つけづらい.

表 1 において各値と順位との関連性が感じられづらいのは, 無駄合いによる証明数・反証数の増加が原因だと考える. 無駄合いは, 攻め手が飛車や角などの飛駒で玉を遠距離から王手した場合に, 受け手が持駒から合駒を使って玉を守った結果, その合駒が攻め手の持駒に残ったまま受け手が詰んだとき, 合駒した手のことを無駄合いと呼ぶ. 本実験では, 人間が詰将棋問題を解く場合, ある手が無駄合いかどうかはすぐに分からないという仮定の元実験しているため, 無駄合いが起きやすかった問題, 特に 5 手詰めコンテスト 2 位作品の値だけが突出している. 無駄合いを考える際の我々の思考方法についてはより正確に議論する必要があり, さらに正しいデータ取得方法を見つけれれば, 各値に順位とのより深い関連性が見つけられるのではないかと期待する.

3.2 証明数の推移グラフについて

図 2, 図 3 にコンテストの上位 3 位問題における証明数の推移を示す. 縦軸が証明数, 横軸が更新回数を示している. ここでは, 形状を見やすいようにスケール幅をそろえてあるため, 最大値等の値が異なる点に注意して頂きたい.

証明数の推移は, 探索中において証明しなければならないノード数が増加していく様子が見て取れる. こ

表 1 5 手詰め問題の各種データ

	大賞	2 位	3 位	一般平均
PN 最大	16	593	34	5.967
DN 最大	3812	6587	2827	722.633
更新数	30369	2989494	55154	3297.600
PN 合計	321308	1002211216	1282037	20746.800
DN 合計	76047336	1073741822	100890516	3425213.000
PN 平均	10.580	335.244	23.245	4.121
DN 平均	2504.111	359.172	1829.251	441.969

表 2 7 手詰め問題の各種データ

	大賞	2 位	3 位	一般平均
PN 最大	116	32	3	19.097
DN 最大	3258	3985	111	1720.548
更新数	235574	58276	206	62136.452
PN 合計	16874217	1253828	452	9135621.935
DN 合計	530580319	150138974	13400	99294574.065
PN 平均	71.630	21.515	2.194	12.069
DN 平均	2252.287	2576.343	65.049	781.771

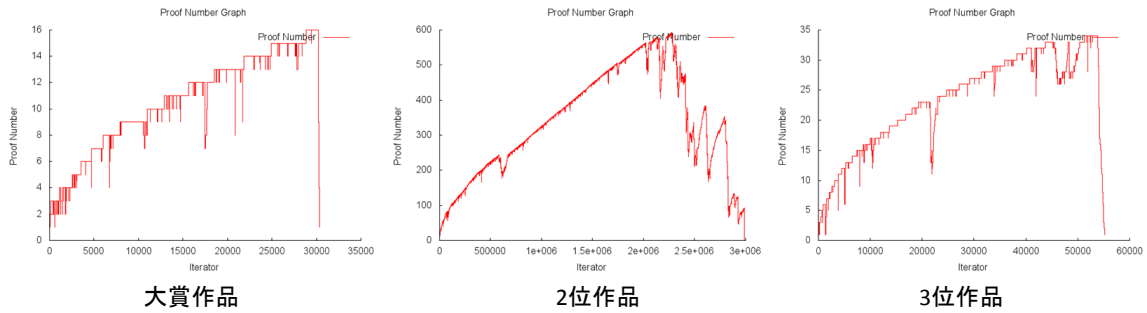


図 2 5 手詰めコンテスト上位 3 位問題の証明数推移

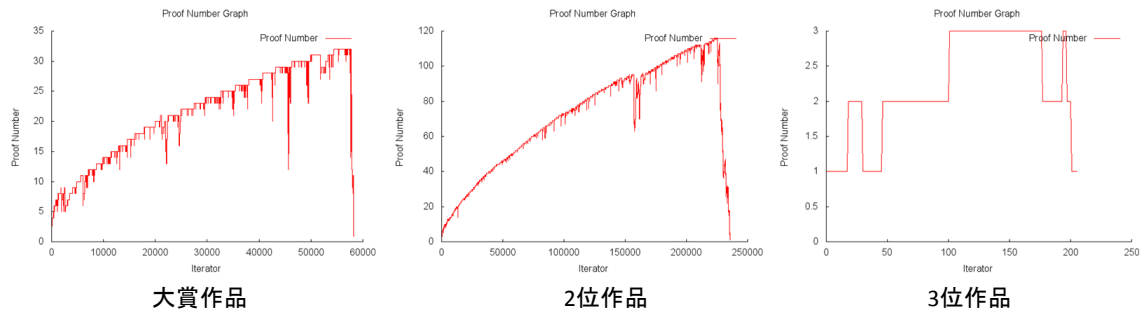


図 3 7 手詰めコンテスト上位 3 位問題の証明数推移

のグラフは、詰将棋問題を解く際に人間の頭の中で感じられる難易度がどのように変化しているのかを表すと考える。図を見ると、コンテスト上位問題は一定の難易度まで証明数が上昇した後、突然値が下がる。詰将棋問題を解いている場合、一定時間悩んだ後、急にひらめき問題が解けることがあるが、このグラフはまさにそういったことを表しているのではないだろうか。コンテスト上位問題は基本的に、同じような形状を取っているが、多くの一般的な詰将棋問題は図 3 の 3 位問題のような形状を取っている。この図に多く現れる山なりに証明数が上昇した後、急激に値が下がるというのは、コンテスト上位問題に共通して現れる特徴的な形であることを述べておく。

4. まとめ

本論文において示したことは以下の通りである。

- 証明数・反証数の新しい見方として、詰将棋問題の評価に使用するという考えを示した。
- 評価に利用する証明数・反証数の取得方法について提案した。
- 取得した証明数・反証数は詰将棋問題の評価に一定の関わりがある可能性を示した。

得られた証明数・反証数のデータから、難易度や見た目の形勢が詰将棋問題の評価と関わっていることは

示したが、コンテストの順位はこれらの数値だけでは成り立ってはいなかった。これは小山らの研究において、多くの要素が詰将棋問題の芸術性に影響を与えているという結果の裏付けとなったと考える。ただし、証明数・反証数は、その値だけで詰将棋問題における多くの情報を持っていることから、解答手数に縛られている証明数・反証数の正規化や、無駄合いの正確な処理を行うことで、将来的には単一の数値だけで多くの詰将棋問題の評価を行えるようになると思われる。その先駆けとして、本論文ではデータの取得方法提案およびデータの考察を行った。

今後は、より長手数の詰将棋問題のデータを得るために PNS 以外のアルゴリズムにおいて同様のデータ取得を目指すことや、より多くの詰将棋問題からデータを取得し、統計的な解析を行う方針である。

参考文献

- 1) 小山 謙二, 河野 泰人. 名作詰将棋における感性の定量的評価, 情報処理学会論文誌, 35(11):2338-2346, 1994
- 2) L. V. Allis, M. van der Meulen, and H. J. van den Herik. Proof-number search. Artificial Intelligence, 66(1):91-124, 1994.