

## 詰将棋を速く解く 2つのプログラムとその評価

伊藤 琢 巳<sup>†</sup> 野下 浩 平<sup>††</sup>

伊藤と野下がそれぞれ独立に開発した詰将棋プログラム Ito と T2 は 17 手以下の短篇の問題で人間のエキスパートよりかなり速く解く。ほかのプログラムとは比較にならないほど速い。これまでコンピュータが解けなかった中篇問題や 100 手を越える長篇問題もかなり解ける。数多くの問題を解いて得た実験データにより両方のプログラムの特徴を明らかにした。T2 はしらみつぶしの縦型探索で、相対的に短い手数の問題に対して正解率が高く、一方 Ito は選択的な横型探索で、比較的長い手数の問題も解ける。また余詰を検査するプログラムを作り、実用に使えることを示した。

## Two Fast Programs for Solving Tsume-Shogi and Their Evaluation

TAKUMI ITOH<sup>†</sup> and KOHEI NOSHITA<sup>††</sup>

Two programs named Ito and T2 for solving Tsume-Shogi (Japanese chess mating problems) have been developed. This paper describes the basic ideas of their algorithms, and evaluates their power by solving many important problems. They are regarded to be the first two programs that have reached the level of human experts. They run incomparably faster than any other previous program. For *tanpen* problems (i. e., those with 17 or less solution-steps) they find solutions faster than any human solver. They can solve many harder problems with 19 or more steps, which have been intractable by previous programs. In particular Ito has solved some problems with more than 100 steps. T2 is based on the exhaustive depth-first searching strategy, whereas Ito uses the selective breadth-first searching. In the experiments it has turned out that T2 is strong for problems with relatively short steps, whereas Ito is able to solve problems with longer steps. Ito and T2 have jointly found many problems as having yodume-solutions (different from the proposed solutions) in a certain classic problem-collection. Those problems have been considered as complete for some hundreds of years. T2 has been applied to make a yodume-finding program, which is useful for detecting incomplete problems mechanically.

## 1. はじめに

詰将棋の問題は、与えられた局面からはじめて、先手が王手をし、後手が逃げるということを繰り返し、最後に玉を詰めるというものであり、その詰め手順を求めることは、ゲーム木の探索問題として定式化できる。解は、先手と後手双方が最も強く応じるとき（先手最短・後手最長）に定まる一種の最適の手順である。解をなす手の長さが  $N$  であるとき、その問題は  $N$  手詰であるという。

詰将棋を解くプログラムは、古くは越智から最近の

森田、柿木、吉村ら、田中、高田などまで、この 20 数年来数多く作られてきた。91 年はじめには、13 手詰くらいの問題がやっと解ける程度であり、計算量の組合せの増加が本質的に避けられない問題であることを考えて、そろそろコンピュータで解ける限界にきたという説が出るほどであった。もう少しくわしい歴史については野下<sup>8)</sup>を参照されたい。

91 年夏のはじめに、野下が、プログラム T1 をつくり、17 手以下のいわゆる短篇というジャンルの問題をほぼすべて実用的な時間内で解けるようになった<sup>8)</sup>。このプログラムでは、古典的な縦型探索を基本にしているが、先読みやある種の学習による“よい手”を選ぶ工夫が威力を発揮した。これによると、だいたい 11 手以下の問題では、人間より圧倒的に速く、15 手くらいで人間のエキスパートなみである。しかし、手数がそれを越えると依然人間が優れていた。

<sup>†</sup> NTT ソフトウェア研究所ソフトウェア基礎技術研究部  
Software Basic Research Lab., NTT Software  
Labs.

<sup>††</sup> 電気通信大学電気通信学部情報工学科  
Department of Computer Science, The University  
of Electro-Communications

こうして詰将棋を解くアルゴリズムの研究は新しい局面をむかえた。

本論文では、92年春から夏にかけて野下と伊藤がそれぞれ独立に開発した T2 と Ito について述べる。どちらもスパークステーション IPX で実現した。この2つのプログラムは、短篇のジャンルで人間のエキスパートをかなり越えたといえる。他のどのプログラムと比較にならないほど速く、これまでコンピュータで解けなかった多くの問題が解けるようになった。

なお、最近では、パソコン上でも優れたプログラムも開発されている。特に、高田淳一プログラムの最新版では、T2 で採用した技法を用い、15手詰の問題ならば半数以上を1,000秒以内に解くことができるという。

野下の T2 は T1 を改良したプログラムである。このプログラムで導入した主な工夫としては、同一局面の出現による無駄な探索を省くために、局面の登録と検索にハッシュ表を使う技法を導入したことがある。伊藤のプログラム Ito は 92 年春に発表した<sup>1)</sup>。これは、従来のプログラムでほとんど採用されていない最良優先による横型探索を採用している。この2つのプログラムは、著しく対照的な特徴もっている。つまり、T2 は氾濫的探索で、相対的に短い手数の問題に対して正解率が高く、Ito は選択的な探索で、比較的長い手数の問題も解ける。

2つのプログラムの評価のために、共通の問題集を数多く選定して、正解率や計算時間などを実験的に比較した。2つのプログラムの実験から観察される性能をまとめると、次のようになる。

T2 はだいたい 25 手程度の問題までならばほぼ全部解くことができ、一方 Ito は 50 手を越える問題もかなりの割合で解く。たとえば、古典問題集「続詰むや詰まざるや」の 51~99 手の問題の約 4 割が解ける。別の例として、Ito は、ある問題集で 19 手から 49 手までの問題の 76% を解いた<sup>1)</sup>。しかしながら、T2 では、30 手を越えると時間がかかりすぎるという理由で、解ける問題が極度に少なくなり、一方、Ito では、15 手くらいから、記憶容量が足りなくなるという理由で、正解率が徐々に下がりはじめる。なお、両者を並行的に動かすと現在もっとも速くもっとも正解率の高いプログラムになる。

この2つのプログラムからうまれた副産物として、人間がこれまで完全と考えていた問題が不完全であること（この場合は余詰のあること）を数多く発見し

た。また詰将棋プログラムの簡単な応用として実用的な「余詰検査プログラム」を作った。

なお、本論文は第 34 回プログラミングシンポジウム（1993）の口頭発表に基づいている。

## 2. Ito の探索法

Ito の特徴である最良優先法による探索の概要、およびアルゴリズムの工夫した点について述べる。

詰将棋のように木探索を行うタイプの問題の場合、大まかにいって2種類の探索法が考えられる。縦型探索と横型探索である。従来、詰将棋ではほとんどの場合縦型探索を採用している。森田和郎、柿木義一などをはじめとして、T2 でも縦型探索を採用している。横型探索は田中遊が使っているくらいである。

縦型探索のよい点は、記憶領域が少なく済み、高速化のためにさまざまな工夫を凝らすことができることである。計算時間については、短い手数の問題ならばかなり短い時間で解くことができるが、手数が長くなると手数の指数に比例して長時間が必要になる傾向がある。

Ito は比較的手数の長い問題でも高い確率で解答を出すことを目的としている。そこで、縦型探索ではなく横型探索による最良優先法を採用した。動的に評価を変更するという一般的なアイデアは文献(6),(7)に見られる。最良優先法は探索したすべての結果を登録するため、記憶領域を多量に必要とするものの、その評価基準を適切に選択すれば長い手数の問題でも解くことができ、Ito の目的に適合している。

最良優先法では、評価基準によってその解答能力に大きな差がある。Ito で採用している評価方法について簡単に説明する。

人間が詰将棋を解く場合には、経験から得られた手筋を優先して指し手を選択する。しかし、コンピュータで人間の考える「手筋」を選択するのは難しい。というのは手筋には適用できる場面の制約があるため、単純な登録して使うわけにはいかず、効果のある局面の判断が難しい。もうひとつ人間が探索中に考える要素がある。それは、その局面が「詰みそうか、そうでないか」の判断である。例えば後手の王将が広い所へ脱出した場合には探索をあきらめることが多い。Ito は、「ある局面が詰みそうか、そうでないか」を評価して一番良さそうな手を選択する。「ある局面が詰みそうか、そうでないか」の評価は、ある局面から指し進んだ場合の後手の逃げ方の総数とした。評価が 0

ならば詰みであり、評価が大きいほど詰みの可能性が低くなる。

次に、Ito のアルゴリズムで工夫した点をいくつか述べる。

ひとつは合駒の処理である。無駄合の判定法として柿木のアルゴリズムが知られている<sup>4)</sup>。無駄合とは、後手が単に手数をおぼすためだけに指す意味のない合駒のことである。無駄合を効率良く処理すれば、問題によっては計算時間をかなり短縮できることがある。Ito では、それまで探索した部分を全て記憶していることを利用した、無駄合を含めた合駒処理を行っている。

合駒処理の手順を簡単に説明する。まず合駒をしない場合について探索を行う。合駒をしないと詰んでしまう場合に、

- (1) 合駒をしても1手詰なら無駄合
- (2) 合駒を置いた後、今までに記録された手順と同じ手順で詰むならば無駄合

としている。ここでは(2)が重要である。

図1を用いて具体的に説明する。図1の局面で後手側はなにか合駒が必要となる。まず歩で合駒をする手を探索すると詰むことがわかるので、次に香から順に試していく。桂以外の場合、歩で合駒した場合と同じ手順で詰むことが、歩で合駒した場合の手順が記録されているため簡単に判別可能である。このように合駒の処理、とりわけ合駒の選択時に効率の良い処理が可能となる。

もうひとつ、探索中に同じ局面が出現する場合を考

える。同じ局面が出現する状況は2種類ある。

ひとつは、千日手のように開始局面から現在探索中の局面に至る間に同一局面が存在する場合である。この場合、同一局面になった時点で不詰とみなすことができる。

2つめは開始局面から現在探索中の局面以外に同じ局面がある場合である。具体的には、王手をかけた駒を後手が取ることができる場合に出現する可能性がある。王手をかけた駒が成、不成のどちらでも後手側に取られることで同じ局面が出現する。この場合、その両者を結合して記憶領域と計算時間の節約を図ることができる。

### 3. T2 のアルゴリズム

野下の T2 は、91 年に作った T1 の改良版である。T1 と T2 の全体の枠組はほぼ同じである。探索法は、典型的な縦型探索で、アルファベータ法による枝刈りを採用している。また、与えられた問題が N 手詰とすると、詰手数を 1, 3, ..., N-2, N 手と順番にふやして詰むかどうかを調べていく繰返し深化法を用いる<sup>4), 9)</sup>。

T1 は詰将棋特有の工夫を実現しているが、その主なものを列挙する<sup>9)</sup>。

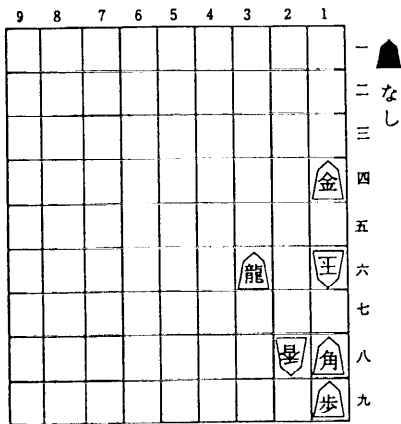
○ 先読み：次の着手の候補の中で見込みのありそうな順に選択するために、敵手先の局面における王の“自由度”をミニマックスの意味で評価する。ここで先読みの深さをある程度動的に変更することも行う。Ito も同様な着手の評価を行う。

○ 着手の優先順位の変更：着手の候補の集まりの中で選択する優先順位を一種の学習によって動的に変更する。

○ 求解法：探索は N 手で詰み、N-2 手では詰まないことを調べるのみにして、具体的な解の計算はその後で別に行う。この解を求める新しい方法は、従来のプログラムの問題点であった“変化別詰”の解を自然に除外する。変化別詰とは、後手が解と異なる手を選び、さらに先手が最も強い手を選ばない場合に生ずる詰手順のことである。

○ 無駄合対策：コードは異なるが、入出力関係をみるかぎり柿木のアルゴリズムとはほぼ同じである。

その他、詰将棋特有のいろいろな性質の利用、またプログラムの最適化技法の応用を徹底的に行った。このような工夫により、全体として当時の水準をかなり越える性能を示すことができた<sup>9)</sup>。



以下、△2六桂合、▲2七角、△1七王、▲1八歩、△同桂成、▲1六龍までの詰み

図1 合駒処理の例  
Fig. 1 An example of "Aigoma."

T2では、次のような工夫を組み込んだ。

○ 同一局面の判定：チェスプログラムの技法で知られているハッシュ表を用いるものを流用して、同じ局面の繰返し計算を表引きですませる<sup>6)</sup>。すぐあとでくわしく説明する。

○ 合の対策：速い駒（飛，角，香による打つ，動く，開く）に対する合の調べ方は能率に非常に大きい影響をもつ。T2の工夫の一例として、合駒をすぐにとり、その駒を後手に返しても詰むならば、ほかの種類の場合は調べなくてもよいというものがある。また、上記同一局面の判定により自然に実現されるものもある。たとえば、角を打つ場所が異なっても、合を打つ場所が同じ場合、合駒をすぐとって詰むならば、他方の角打ちに対する合は調べなくてもよい。

○ ヒューリスティクス：不詰の判定法などをいくつか考案した。たとえば、盤の中央に逃げだした王に対して駒の配置と先手駒から適当に判定する。これは、詰みを見逃す危険があるという意味で不完全な判定法であるので、オプション（不完全さの程度も）として用いる。実験によると、多くの問題は相対的に速く正しく探索が終了する。

さて、ハッシュ法による同一局面の判定法とは、次のようなものである。まず、盤の81の場所、先手か後手の駒の種類をそれぞれに対して、1つの乱数を与える（64ビット）。盤面の値は、全盤面の場所にわたる乱数の排他論理和である。これにより局面の値の更新と復元が簡単に計算できる。局面とは盤面と持駒の対であるが、盤面の値と持駒の表（32ビット）の対により局面のハッシュ表を作る（実際には無駄合のため使えない駒の表も加える）。1つの局面の詰不詰がきまると、それを手数とともに表に登録する。これでまったく同一局面の繰返しの判定ができるが、さらに、たとえば、9手で詰みがわかっている局面に対して、11手以上とかもっと多い持駒に対しても詰むと判定できる。

現在、表に憶える局面の個数は、最大約35万である。普通、1秒に約5,000局面を調べるが、見当としては数分ごとに表があふれる。それで、ゴミ集めを行うが、“忘れ方”として、前回のゴミ集めから一度も引用されなかった局面で登録された手数の短い局面をゴミにする。なお、現在の局面の先祖にあたる局面と同一になるかどうかは別にスタックを用いて判定する。ここでも、上記の局面の値を用いる。

この盤面の値を用いると、衝突により異なる局面の

同一視が心配になるが、一日連続計算しても高々2の32乗個の局面しかあらわれないので、実際上問題にならない。

図2に先手9一飛の1手詰の問題であるが、9一飛に対して後手が途中7か所に合を打てる。それで素朴に考えると15手詰の問題を解くことになる。この無駄合をすべて調べると、T1では約150万局面読むが、T2では約2.5万局面ですむ。さらに上記の場合の合の対策により約200局面まで減少する。実際の問題の例は4章をみられたい。

4. 解答能力の評価

ItoとT2の比較評価をスパークステーション(SPARCIPX)上で行った。また、パソコンによる詰将棋プログラムの代表として、高田淳一の問題 Takadaの実行時間も随所にのせた(80386/16MHz)。データは、「詰将棋パラダイス」とCSA例会資料からとった。

本章の表において、実線は、解けた問題の所要時間の中央値、網かけは、上位と下位の25%に相当する時間、○印は、その外にあるデータである(重複あり、データ数の少ない場合は生データのみを示す)。

詰将棋の問題はその手数により、超短篇(9手以下)、短篇(17手以下)、中篇(49手以下)、長篇(51手以上)に分類される。

4.1 超短篇

野口益雄短篇問題集(「将棋世界」91年9月号)をとりあげる。初級(3~5手)40題、中級(5~7手)40題、上級(7~9手)32題の合計112題である。

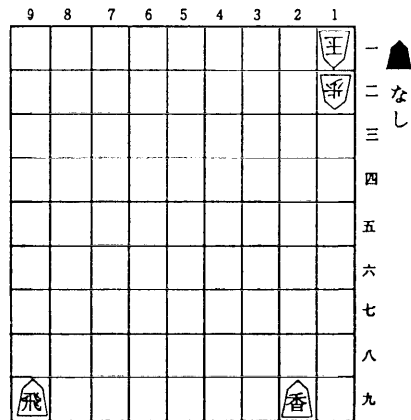


図2 合駒処理の例  
Fig. 2 An example of "Aigoma."

全題を解くための時間は Ito が2分半、T2 が1分である。野口短篇集は初級を10分以内、中級を25分以内、上級を35分以内で解くとプロ級といわれている。この結果から Ito, T2 のいずれも人間のエキスパートをかなりこえていることがわかる。なお、このような手数 of 短い問題については、従来のプログラムでもそれなりに速く解けることが知られている。

4.2 短 篇

雑誌「将棋世界」91年度1月~12月号の「詰将棋サロン」の全96題と「詰将棋パラダイス」92年2月号の「詰将棋オール順位戦」25題中の完全な作品17題を解く。詰手数は7手~21手である。その結果を図3~図8に示す。

Ito は長い手数でも短時間で解答を出す割合が多いが、正解率は高くなく、「詰将棋サロン」96題中15題が解けなかった。そこで、Ito は、解けなかった15題に関して、読みの深さを解答手数に制限して再度計算を行った結果、15題中13題について解答が得られた。これより、Ito は、解の手数が短い場合繰返し深化法を用いると正解率が高くなることかわかる。なお T2 と Takada は全部解いた。

短篇レベルでは T2, Ito 双方とも速さに関して人

間のエキスパートレベルをこえている。

4.3 25手詰までの中篇

中篇の問題は、従来の詰将棋プログラムではほとんど解くことができず、Ito, T2 によって初めて解けるようになった。

詰将棋専門の月刊誌「詰将棋パラダイス」(通称詰パラ)では、手数別に幼稚園(3~5手)、小学(7手)、中学(9~11手)、高校(13~17手)、短大(19~25手)、大学(27~49手)、大学院(50手以上)の分類があり、毎月それぞれ5題程度出題されている。

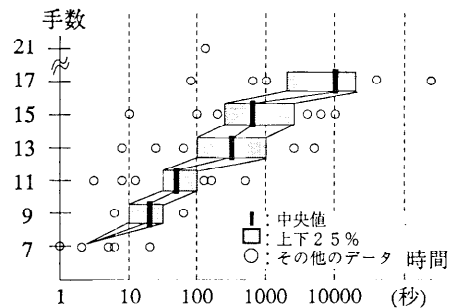


図5 「将棋世界」Takada の分布  
Fig. 5 Takada's result of "Shogi Sekai."

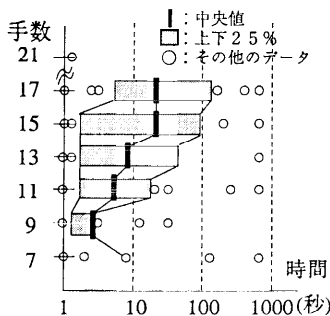


図3 「将棋世界」Ito の分布  
Fig. 3 Ito's result of "Shogi Sekai."

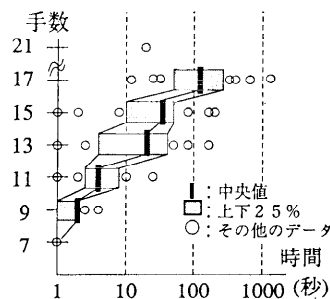


図4 「将棋世界」T2 の分布  
Fig. 4 T2's result of "Shogi Sekai."

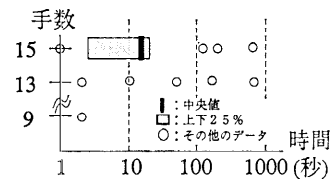


図6 「順位戦」Ito の分布  
Fig. 6 Ito's result of "Jun'i Sen."

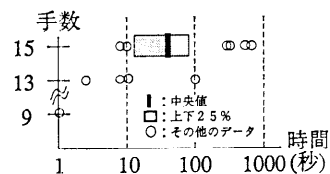


図7 「順位戦」T2 の分布  
Fig. 7 T2's result of "Jun'i Sen."

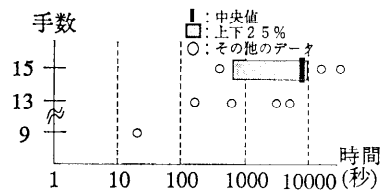


図8 「順位戦」Takada の分布  
Fig. 8 Takada's result of "Jun'i Sen."

図9と図10は92年度前期(1月~5月号)の短大全25題の結果である。そのうち、Itoは19題、T2は全題解いた。

中篇の具体例として、有名な金問題をとりあげる(図11、解答は付録に示す)。T1では1時間かかっていたが、T2では20秒で解ける。これは主にハッシュ法の効果による。なおItoは4秒で解く。

4.4 長 篇

「続・詰むや詰まざるや」は江戸時代から昭和まで、有名な古典作品を含む200題が掲載されている<sup>3)</sup>。その手法も11手から873手の超大作までバラエティに富んでいる。実行結果を図12に示す。Itoは、200題中約120題、T2は約70題解いた。

Itoが解いた最長手数の問題は第140番133手詰で、72秒で解いている(図13)。この問題は、正解手順が265手詰とされていたが、余詰があった(詳細は

5章)。その次に長いものは、第92番の119手である(図14)。この問題は「馬智恵の輪」と呼ばれる作品で、馬で王を追い回しながら捨駒を行う、高度な作品である。この問題は123秒で解けた。

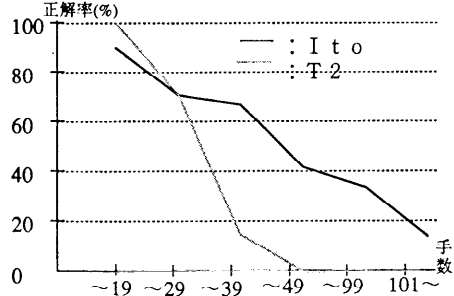


図12 「続詰むや詰まざるや」手数別正解率  
Fig. 12 Results of "Zoku Tsumuya Tsumazaruya."

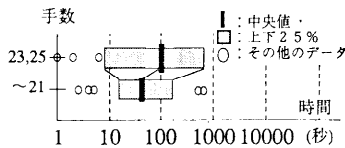


図9 「短大」Itoの分布  
Fig. 9 Ito's result of "Tandai."

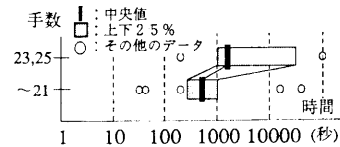


図10 「短大」T2の分布  
Fig. 10 T2's result of "Tandai."

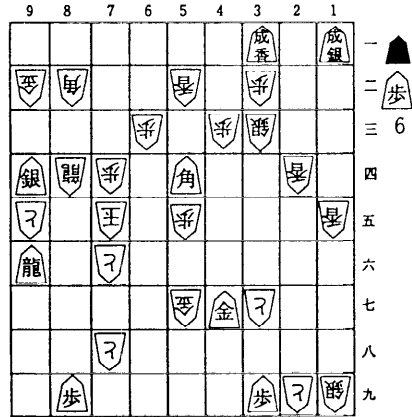


図13 「続・詰」140番  
Fig. 13 No. 140 of "Zoku-Tsume."

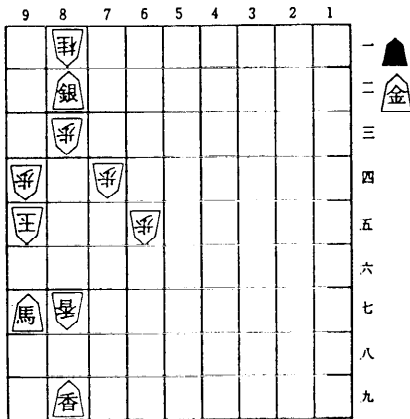


図11 金問題 (25手詰)  
Fig. 11 "Kin Mondai" (25 Steps).

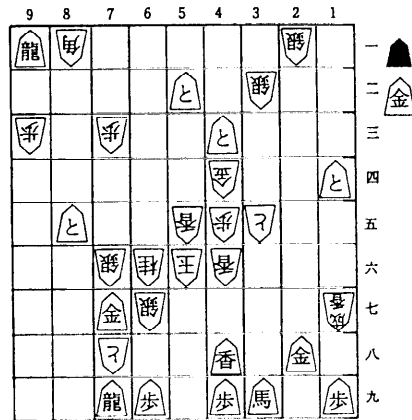


図14 「続・詰」92番  
Fig. 14 No. 92 of "Zoku-Tsume."

4.5 総合評価

短篇から長篇まで約 500 題の問題を解いた結果、Ito, T2 それぞれ次のような特徴が明らかになった。

Ito は、記憶容量の制約もあり計算時間は 1,000 秒を越えることはほとんどなく、長篇でも正解の得られるまでの時間は 2 分程度である。しかし、選択的な探索を行うので、100% 正解を得ることは困難であり、15 手くらいから答が出ない場合がでてくる。

一方 T2 では、25 手までの問題については、高い正解率を示す。縦型探索であるため、実行時間は手数が大きくなるにつれて指数的に増加する傾向を見せ、現状では 25 手を越える問題を実用的時間内で解くことはあまり期待できない。T2 は 55 手詰を解いたが、

例外的である。

従来の詰将棋プログラムでは 13 手詰程度までしか実際の時間で解くことができないのに対し、Ito, T2 ともに短篇のレベルでは、人間のエキスパートをこえている。中、長篇に関しては Ito が有望であり、今後の改良により正解率の向上が期待できる。

総合評価を表 1 にまとめた。

5. 余詰の発見

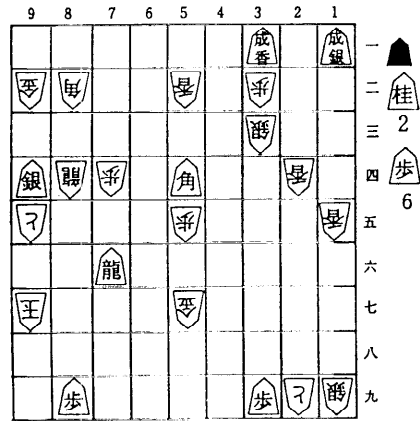
数多くの問題を解く間に、正解とされる手順以外の手をプログラムが出力することがあった。そのような問題について検討した結果、問題が完全でなく余詰があることを発見した。中でも「続・詰むや詰まざるや」のように古典作品で従来完全作とされているものの中

表 1 総合評価  
Table 1 Evaluation summarized.

		計算時間	正解率
Ito	短編	速い	90%
	中編	非常に速い	40~60%
	長編	非常に速い	40% 以下
T2	短編	非常に速い	100%
	中編	手数が多いと遅い	25 手までは 90~100%
	長編	—	ほとんど解けない

表 2 計算機による「続・詰」余詰発見  
Table 2 Yozume list found by T2 and Ito.

問題番号	元手数	余詰手数	T2	Ito
20	25	21	0	
27	99	21	0	
32	67	23	0	0
39	33	19	0	
70	47	11	0	0
75	45	45		0
79	53	35		0
83	93	79		0
85	71	65		0
86	65	49		0
89	73	43		0
90	103	31		0
104	23	21	0	
106	36	25	0	
111	65	61		0
112	321	51		0
137	53	27		0
140	265	133		0
174	87	19	0	
178	27	27	0	
189	55	23	0	0



▲ 7 七龍 △ 9 六玉 ▲ 9 八桂 以下詰

図 15 「続・詰」140 番 119 手目  
Fig. 15 No. 140 of "ZTT" (at 119th step).

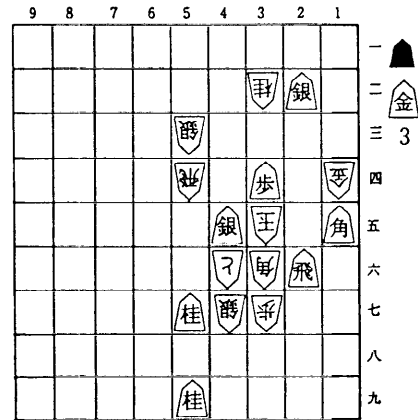


図 16 「将棋図巧」36 番  
Fig. 16 No. 36 of "Shogi Zukou."

から、Ito, T2 合わせて 20 題以上の余詰を発見した。この余詰発見は、非常に貴重なものである。表 2 にその内容を示す。

図 13 はそのうちの一間である。この問題は従来 265 手詰とされていたが、119 手目から (図 15) ▲7 七龍以下 133 手で詰むことが確認された。

もう一つ重要な余詰発見の例として「将棋図巧」36 番 (13 手詰) に 19 手詰の余詰があった<sup>2)</sup>。問題を図 16 に、元の詰手順を付録に示す。「将棋図巧」は「将棋無双」とともに 200 年以上の間、詰将棋界のバイブルとして、徹底的に研究されてきたものである。

余詰の検証は、従来人手によって行われてきた。それゆえ、一見完全作に見える作品でも、余詰を見逃すことは少なくない。詰将棋プログラムを応用すれば、容易に余詰検査プログラムを作成することができ、しかも非常に有用である。

野下は T2 の応用として「余詰検査プログラム」を作成した。例として「将棋世界」92 年 9 月号の 5 手詰コンテストの懸賞問題 40 題を取りあげると、5 題について余詰を発見した。また同じ問題集にある解答付き問題 18 題中 5 題の余詰を発見した。他の例として上記図巧 36 番の余詰も確かめられた。

## 6. おわりに

本論文で示したように、詰将棋を解くプログラムの進歩はめざましく、短篇ではエキスパートをこえ、中編から長編に手が届こうとしている。しかし、これからさらに正解率を上げるためには多くの課題が残されている。

Ito の場合、現状では解けない問題を分析して、原因を調査し対策を立てることが必要であろう。具体的には、駒の配置や打つ場所の条件等を加味した評価基準の改良や手筋の導入が考えられる。手筋については、すでに一部導入し試験中である。

T2 では、 $N$  手詰の問題に対して  $N-2$  手では詰まないことのチェックに多大な時間をかける。これは、変別解の除外というような付加価値を生んでいるが、能率向上には再考を要する。いまのところ無駄な探索への迷いこみを中絶する方法として並列計算を検討している。

謝辞 詰将棋プログラムについて、いろいろと討論をしていただいた CSA (コンピュータ将棋協会) のメンバの皆様、特に「統・詰むや詰まざるや」の編者であり、余詰についてご教示頂いた門脇芳雄氏に感謝

します。

## 参考文献

- 1) 伊藤: 最良優先方式による解探索アルゴリズム, *Proc. 44th Annual Convention, IPS Japan No. 3-49* (1992).
- 2) 門脇編: 詰むや詰まざるや, 平凡社, 東洋文庫 (1975).
- 3) 門脇編: 統詰むや詰まざるや, 平凡社, 東洋文庫 (1978).
- 4) 小谷, 吉川, 柿木, 森田: コンピュータ将棋, サイエンス社 (1990).
- 5) Levy, D. N. L. (ed.), *Computer Games I*, Springer-Verlag (1988).
- 6) Nilsson, N. J.: Searching Problem-Solving and Game-Playing Trees for Minimal Cost Solutions, *Proceedings IFIP Congress, Vol. 2*, pp. 1556-1562 (1968).
- 7) Nilsson, N. J.: *Problem-Solving Methods of Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, New York (1971).
- 8) 野下: 詰将棋を解くアルゴリズムについて, 信学研究会, COMP 91-56 (1991).

## 付 録

### 図 11 金問題の解答

▲9 六金 △8 四玉 ▲8 七香 △8 六飛  
 ▲8 五金 △同 飛 ▲同 香 △同 玉  
 ▲8 六飛 △7 五玉 ▲5 六飛 △8 四玉  
 ▲8 七香 △8 五角 ▲同 香 △同 玉  
 ▲8 六馬 △8 四玉 ▲5 七角 △7 五桂  
 ▲同 角 △同 歩 ▲5 四飛 △7 四桂  
 ▲9 六桂 まで 25 手詰。

### 図 16 「将棋図巧」36 番の解答

▲2 五金 △同 角 ▲3 六銀 △同 角  
 ▲2 五金 △同 角 ▲3 六飛 △同 銀成  
 ▲4 七桂 △同 成銀 ▲2 六金 △3 四玉  
 ▲3 三角成 まで 13 手詰。

(平成 5 年 4 月 2 日受付)

(平成 6 年 4 月 21 日採録)





伊藤 琢巳 (正会員)

1964年生. 1987年茨城大学工学部情報工学科卒業. 1989年同大学院修士課程修了. 同年, NTTに入社. NTTソフトウェア研究所に所属, 現在に至る. 人工知能, なかでもゲームにおける問題解決などに興味を持つ. コンピュータ将棋協会会員.



野下 浩平 (正会員)

1943年生. 東京大学工学部計数工学科卒業. 現職: 電気通信大学情報工学科教授. 工学博士 (東京工業大学). 専門: アルゴリズム解析, 組合せゲームの理論と実験. ACM, EATCS, CSA 等の各会員.