

パソコンで詰将棋

脊尾昌宏／松下電器

▼はじめに

詰将棋とは、先手（攻め方）は王手の連続で攻めて後手の王様を詰めることを目的としたもので、ゲームというよりも1人用のパズルである。同時に一種の芸術作品として鑑賞でき、コンピュータによる自動創作も試みられるようになった^{2),13)}。詰将棋の問題を解くとは、先手はなるべく短い手数で詰むように攻め、後手はなるべく手数が長くなるように逃げるという解答ルールのもとで、詰みに至るまでの手順を解答することである。通常、正解手順は一意的に求まる。複数の詰手順が存在する場合は「余詰」があるといい、不完全作とみなされる。

詰将棋を解くアルゴリズムの研究は近年大きな進歩を遂げ^{5),6)}、1997年4月、現存する最長手数（1525手詰）の詰将棋「ミクロコスモス」が筆者の開発したプログラム「脊尾詰」によって解かれた。本稿では筆者のプログラムの特徴およびその用途について述べる。

▼探索手法について

海外ではコンピュータチェスが人間の世界チャンピオンを破るまでに研究が進んでいるが、日本でもコンピュータ将棋（指し将棋）とともにコンピュータに詰将棋を解かせる試みがなされてきた。詰将棋を解くことは、局面を節点、指し手を枝とした木の探索問題として表現される。さらに詰将棋のルールから、先手番の局面をOR節点、後手番の局面をAND節点としたAND/OR木の探問題として一般化できる。

この章では、従来の2種類の探索手法およびそれらの長所を組み合わせた新しい探索手法について解説する。

■従来型反復深化法

詰将棋解図プログラムで一般的に用いられている探索手法は深さ優先探索と呼ばれるものである。ただし通常は正解手数があらかじめ分からないので、単純な深さ優先探索ではなく、深さをしきい値とした反復深化法を用いている。反復深化法はもともとコンピュー

タチェスの分野で開発され、自動定理証明など他の分野にも広く応用された探索手法であり、まず1手で詰むかどうか探索し、詰まなければ3手、それでもだめなら5手、といった具合に徐々に探索の深さを大きくしながら、解が見つかるまで探索を繰り返すものである。反復深化法に「柿木の無駄合判定アルゴリズム」⁹⁾やハッシュ法などの工夫を加えて、17手以下の短編と呼ばれる詰将棋に対しては、人間の専門家を凌ぐ解答能力を持つようになった¹²⁾。1992年に野下により開発されたプログラムT2は反復深化法の決定版である³⁾。

現存する詰将棋の大半は反復深化法で解ける範囲内であり、最初に見つかった解がそのまま最短手数の正解（いわゆる変化別詰でない）になるという実用的な利もあって、商用ソフトのほとんどでこの手法を用いている。しかし25手を超える中長編の詰将棋になると、計算時間の指数的な増加により現在の計算機の能力では解くことが難しくなる³⁾。詰将棋では各局面での可能な手の数の平均値は5程度であり、N手詰の問題を解くための計算量を単純に評価すれば5のN乗になるからである¹⁴⁾。これに対し、詰将棋作家など作品の厳密な検討を必要とする専門家にとっては、長手数の問題も解けるプログラムが必要とされていた。それではこれら中長編の問題が人間にとっても同様に難しい問題かという点、必ずしもそうではなく、手数が長くても変化が少ない一本道の手順であれば、比較的容易に解ける。そこで人間の専門家の思考法に近い探索アルゴリズムを用いれば、解ける問題の範囲が広がると考えられる。こうした考え方から生まれたのが、次節で述べる「共謀数による最良優先探索」である。

■共謀数による最良優先探索

共謀数（Conspiracy Numbers）という概念は、1980年代中頃にMcAllesterにより提案されたもので¹¹⁾、最初はチェスプログラムを強くすることを目的として、共謀数によるミニマックス木の最良優先探索が研究された。結果として、駒の取り合いや駒取りのかかっている局面など、探索の必要性の高い局面を優先的により深く探索することになり、人間の専門家に近い思考を実現できると考えられた。

共謀数をAND/OR木の探索に適用した場合、証明

数 (Proof-number) と呼ばれる¹⁾。これは探索の途中段階において、初期問題 (ルート局面) の詰みを証明するために、証明しなければならない部分問題 (先端局面) 数として定義される。簡単にいえば、後手の応手の選択肢が多い手ほど、共謀数の値は大きくなり、詰みにくくなることを表す。AND/OR木の共謀数は表-1にまとめた規則により、再帰的に計算される。

- (1) 末端の局面の共謀数は、すべて1と数えられる。ここでアプリケーションに依存した知識やヒューリスティックによる静的評価関数を使って数え方を工夫する手法もあるが、共謀数の本来の考え方は、信頼性の低い静的評価に時間をかけるよりも、より多くの局面を探索して動的な評価に置き換える、ということである。
- (2) 末端以外の局面の共謀数について、先手番の局面ではどれか1手でも詰みに至る指し手が存在すればその局面は詰みになるので、子局面の最小値をとればよい。
- (3) 後手番の局面では、後手の指し手すべてについて、それに対応した詰手順が存在しなければならないので、子局面の共謀数の総和ということになる。

共謀数による最良優先探索は、直感的に言えば後手の応手の選択肢が少ない王手から優先的に探索していく手法である。共謀数を使った探索が有効になるのは、合法手の数 (分岐因子と呼ばれる) が局面によって大きく変動する場合である、といわれている。詰将棋の場合、この1手という応酬が続くこともあれば、合駒により数十通りの受け方がある場合もある。これに対して指し将棋では、それほど大きな分岐因子数の変動がないこともあり、有効であったという報告はされていない。

なお、伊藤、野下、河野らの最良優先探索のプログラムでは、「玉の自由度」という評価基準を用いているが、これは共謀数とほぼ同じ概念と考えてよい^{5),6)}。最良優先探索の欠点は、一度探索した局面はすべてメモリに残しておく方式であるため、数十メガバイトの記憶領域も数分で使い切ってしまう、長時間探索を続けることができないことである。

■多重反復深化法

最良優先は長手数の問題も解ける反面、大量のメモリを必要とする。反復深化はメモリをあまり必要としない反面、長手数の問題が解けない。そこで、筆者はこの2つの相異なる探索アルゴリズムの長所を組み合わせた手法を開発した¹⁴⁾。すなわち、記憶領域をあまり必要としない縦型の反復深化であると同時に、最良優先と同じように長手数の問題も解けるものである。

共謀数による反復深化は、しきい値として深さの代わりに共謀数を使う。しきい値1から始めて、2, 3と徐々に増やしながら、深さ優先探索を繰り返す。後手

表-1 AND/OR木のCN (Conspiracy Numbers) の計算法

(1) 未展開の局面 (先手番, 後手番ともに)	$CN = 1$
(2) 先手番の局面 (すでに展開された局面)	合法手ありの場合 $CN = \text{MIN}(1 \text{ 手先の局面のCN})$ 合法手なしの場合 (不詰) $CN = \infty$
(3) 後手番の局面 (すでに展開された局面)	合法手ありの場合 $CN = \sum(1 \text{ 手先の局面のCN})$ 合法手なしの場合 (詰み) $CN = 0$

番の局面を展開するときに、後手の応手の個数を共謀数に加算していき、共謀数の値がしきい値を超えると、それ以上深く探索しないで、別の手の探索に移る。ただし「共謀数」の値は「深さ」と違い単調増加ではなく、途中である局面が解けると値が減少するので、ルート局面だけで反復深化を行う従来の手法だと局所的には単なる深さ優先探索になることがあり、性能が低下する。そこでルート局面だけでなく、すべての先手番の局面において反復深化を行う「多重反復深化」とした。

また深さ優先探索では最良優先探索と異なり、一度探索した局面をメモリに保存しておくことはしないで、すべて捨ててしまうため、同じ局面の探索を何度も再計算するという無駄が生じる可能性がある。そこで過去の探索結果を以後の探索に利用するためにハッシュ法を用いた。一度探索した局面の情報および共謀数の値をハッシュ表に記憶しておき、以後その局面を評価するときは、ハッシュ表を参照して動的な評価を行う。

多重反復深化法とハッシュによる動的評価を組み合わせることにより、データ構造的には深さ優先探索であっても、挙動としては最良優先と完全に同じ振る舞いを示すという実用的なアルゴリズムを実現できた。その結果、次に解説する超長手数問題のような難問に対しても、メモリが不足することなく、長時間探索を続けられるようになり、解答率が大幅に向上した¹⁵⁾。

▼詰将棋プログラムの用途

詰将棋解図プログラムの用途としては主に2通りある。1つは、いろいろな問題集を解かせてみることで性能を評価する、研究目的の用途であり、もう1つは、一般の将棋ファンが詰将棋の解答を確認したり、詰将棋作家が自作の詰将棋の完全性を検討するのを支援する、実用・商用目的の用途である。

■研究目的：超長手数問題への挑戦

ここ数年、長手数の問題を解く技術は飛躍的に進歩しており、詰将棋解図プログラム開発の大きな動機付

表-2 超長手数問題の解図結果

	作品名	作者	手数	最初に解かれた年と名前
1	マイクロコスモス	橋本孝治	1525	1997年 脊尾
2	メタ新世界	山本昭一	941	×
3	新扇詰	奥菌幸雄	873	1995年 脊尾
4	イオニゼーション	橋本孝治	789	1996年 脊尾
5	桃花源	添川公司	767	×
6	寿	伊藤看寿	611	1994年 伊藤, 河野, 野下
7	風神	相馬康幸	589	×
8	竹生島	黒川一郎	551	1995年 脊尾
9	赤兎馬	山崎 隆	525	×
10	将棋墨酔第88番	七篠兼三	463	1996年 脊尾
11	天国と地獄	添川公司	431	×
12	SWING II	河原泰之	403	1995年 野下

けにもなっている⁴⁾。江戸時代から1997年前半までの間に発表された詰将棋の中で、詰手数が400手以上でなおかつ完全作とされている問題のリストおよびそれを最初に解いたコンピュータプログラム名を表-2に掲載する。×印はまだコンピュータによって解かれていないことを表す。

1994年に伊藤, 河野, 野下による3詰将棋プログラムがほぼ同時期に611手詰の「寿」(将棋図巧第100番)を解いた⁴⁾。このうち、河野のプログラムは無駄合判定アルゴリズムを拡張した「近似局面」という概念を導入し、寿を約8分で解いた⁸⁾。1995年になって筆者が修士論文研究用として開発したプログラムが873手詰の新扇詰を解いた^{14),15)}。そして最後の難関として、いつ最長手数のマイクロコスモスがコンピュータによって解かれるのか、注目を集めるようになった¹⁰⁾。筆者のプログラムはこの間アルゴリズム的な改良と同時に、ワークステーションからウィンドウズへ移植され、商品化された¹⁷⁾。

1997年4月、ついにマイクロコスモスをメモリ256MB、ペンティアム166MHzのパソコンで約1日かかって解いた。マイクロコスモスは1986年に橋本孝治氏が「詰将棋パラダイス」という専門紙に発表した作品で、発表時は1519手詰であったが、数年前に導入部分を少し改良して1525手まで記録を伸ばしていた¹⁶⁾。マイクロコスモスの問題図を図-1、解答図を図-2に示す。正解手順については、文献16)などを参照していただきたい。

マイクロコスモスを解くのに要した256MBのメモリのうち、大部分はハッシュ表として使っている。前節では、反復深化法はメモリをあまり必要としないと解説したが、このクラスの問題になると、かなり大きなサイズのハッシュ表を確保する必要があるからである。それでも最良優先が同じ探索を行うのに必要とする記憶領域と比較すれば圧倒的に少ない。

表-2からも分かるように、最長のマイクロコスモスは解かれたものの、それよりも短い手数でまだ解けてい

ない問題がいくつかあり、これらを単一のプログラムですべて制覇することが今後の課題の1つといえる。参考までに、その他の問題集に対する実行結果として、1995年に筆者のプログラムが江戸時代の有名な作品集「将棋図巧」100題中99題、「将棋無双」98題中95題を解いたという記録がある^{7),15)}。

商用目的：作品の検討用として

詰将棋作家が詰将棋解図ソフトを利用して作品の検討を行う場合、プログラムに要求される機能は、主として次の2つである。

- (1) 正解手順を答えること。
- (2) 正解手順以外の詰手順、つまり余詰がないか検討すること。

余詰検討を行う場合でも、まずは問題を正確に解く必要がある。共謀数を使った最良優先探索の欠点は、詰手順が複数個あった場合に必ずしも最短手順の解を選んで答えるとはかぎらないことである。完全作の場合は、正解手順、つまり後手が最長手順になるように逃げた場合には、詰手順は1通りのみであるが、詰みに至る途中の後手の着手の変化に対しては、複数の詰手順が存在するのが普通である。最良優先探索では最短手順での解が保証されないため、後手の応手の選択を誤って、正解手順とは異なる、いわゆる「変化別詰」と呼ばれる手順を解答してしまう場合がある。この場合でも、すべての後手の応手に対する詰め方を読み切っているのだから、問題を解いたことには変わらないが、専門紙の懸賞などでは不正解として扱われることがある。

筆者のプログラムでは変化別詰を解答してしまうケースは3割程度あったが、最近になって、変化別詰を補正する「変別フィルター」を開発した。これは問題が解けたとき即座に解答しないで、より短手数で詰まないか自動的に検査するものである。これにより、中長編も解けるという最良優先探索の優位性を保ったま

ま、変化別詰を解答する欠点を解消できた。

また従来、反復深化の解図プログラムT2を応用して作成した、野下の余詰検討プログラムがあった³⁾。このプログラムを使えば、25手以内位までの詰みの完全検討が可能であったが、それより長手数数の詰みの検出はほとんど不可能であった。最近になって筆者のプログラムにも余詰検討機能を追加した。これは、解答手順を出力後、オプションとして他の詰手順がないか否か調べることを可能にしたもので、長手数数の詰みも検出可能である。

詰将棋に不完全作品は付き物で、これまで発表された作品の1割は余詰があるといわれている。最近では筆者のソフトを使って検討していただいているせいか、不完全作品の割合は減少しつつあるようである。ソフトの進化、普及にともない、数年後には専門紙から不完全作品がなくなることが期待される。(ただしそういう状況になると、余詰を見つける楽しみがなくなる、ともいえる。)

▼おわりに

本稿では、筆者の詰将棋解図プログラムで用いているアルゴリズムについて解説した。従来の「深さ」による反復深化法では25手位までの詰将棋しか解けなかったものが、「共謀数」の考え方により長編が解けるようになり、さらに「多重反復深化法」により超長手数数の詰将棋の多くが解けるようになった。そしてついに最長手数数のマイクロコスモスが筆者のプログラムにより解かれた。今後の目標は、あらゆる詰将棋の正解手順および余詰の有無が実用的な時間内で計算できるプログラムを開発し、世の中に普及させることである。

参考文献

- 1) Allis, L.V., Meulen, M. and Herik, H.J.: Proof-number search, *Artificial Intelligence*, Vol.66, pp.91-124 (1994).
- 2) 広瀬正幸, 伊藤琢己, 松原 仁: 逆算法による詰め将棋の自動創作, *Game Programming Workshop in Japan '96*, pp.34-43 (1996).
- 3) 伊藤琢己, 野下浩平: 詰将棋を速く解く2つのプログラムとその評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.35, No.8, pp.1531-1539 (1994).
- 4) 伊藤琢己, 河野泰人, 野下浩平: 超長手数数の詰将棋への挑戦, *情報処理学会夏のプログラミングシンポジウム報告集* (1994).
- 5) 伊藤琢己, 河野泰人, 脊尾昌宏, 野下浩平: 詰将棋を解くプログラムの進歩, *人工知能学会誌*, Vol.10, No.6, pp.853-859 (1995).
- 6) 伊藤琢己, 河野泰人, 脊尾昌宏, 野下浩平: 詰将棋, 「bit別冊ゲームプログラミング」第3章, pp.130-138, 共立出版 (1997).
- 7) 門脇芳雄: 詰むや詰まざるや, 平凡社東洋文庫 (1975).

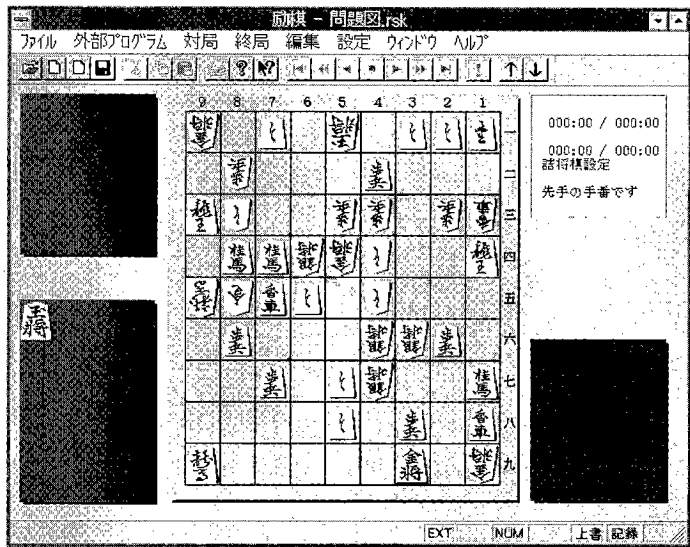


図-1 ミクロコスモス問題図

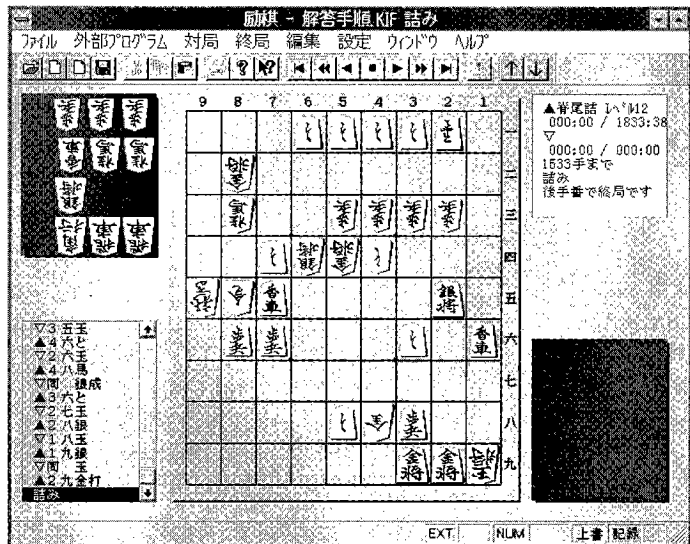


図-2 ミクロコスモス解答図

- 8) Kawano, Y.: Using Similar Positions to Search Game Trees, *Combinatorial Game Workshop*, Berkeley (1994).
- 9) 小谷善行, 吉川竹四郎, 柿木義一, 森田和郎: コンピュータ将棋, サイエンス社 (1990).
- 10) 小谷善行: おわりにかえて—コンピュータ将棋の今後—, 「コンピュータ将棋の進歩」第7章, pp.141-149, 共立出版 (1996).
- 11) McAllester, D.A.: Conspiracy Numbers for Min-max Search, *Artificial Intelligence*, Vol. 35, pp.287-310 (1988).
- 12) 野下浩平: 詰将棋を解くアルゴリズムについて, *電子情報通信学会研究会資料*, COMP91-56 (1991).
- 13) Noshita, K.: A Note on Algorithmic Generation of Tsue-Shogi Problems, *Game Programming Workshop in Japan '96*, pp.27-33 (1996).
- 14) 脊尾昌宏: C*アルゴリズムによるAND/OR木の探索および詰将棋プログラムへの応用, *情報処理学会人工知能研究会資料*, 99-14 (1995).
- 15) 脊尾昌宏: 共謀数を応用した詰め将棋プログラムについて, *Game Programming Workshop in Japan '95*, pp.128-137 (1995).
- 16) 角 建逸: 詰将棋探検録, *週刊将棋編*, pp.215-220 (1995).
- 17) 山田修司: 「脊尾詰」進化のドキュメント, 詰棋めいと第21号, pp.29-41 (1996).

(平成10年1月27日受付)