Japan Society for Simulation Technology

《論　文》

論 17-2

詰め将棋の「中合い問題」における有効合い処理を用いた合い駒処理†

北村陽二*・半田志郎**・大下眞二郎**

ABSTRACT This paper describes an efficient search technique using an imaginary piece which we call "supergoma" to solve "chuuai problems" in "tume shogi" problems. In a mudaai algorithm which is well known as the method to decrease the search procedures for "aigoma," we need to check what kind of pieces are effective. Then we propose a "yukoai algorithm" using the supergoma which is substituted for any piece of 7 kinds in the search procedure. We confirm the effectiveness of the algorithm by simulations.

1. はじめに

古来より，日本では花札，すごろく，囲碁，将棋といった数多くのゲームがあり，これを楽しむ風土がある．なかでも将棋は囲碁と並んで国民的な支持を受けているゲームであり，その楽しみ方は対戦して勝敗を争うだけでなく，詰め将棋や次の一手といった一人で遊ぶものまで幅広い．対戦用の将棋ソフトも多数作られているが，指し手の価値を決めることが難しく，探索の際の場合の数が深さに対して幾何級数的に増大するため，いまだチェスに見られるような強力なアルゴリズムは実現されていない[1]．将棋においては，相手を詰ますという作業が不可欠であるが，この詰め将棋に限定しても，いまだ完全でかつ効率の良いアルゴリズムは得られていない．

これまでのところ，詰め将棋プログラムは20年以上の歴史があり，今では17手以下のものならほぼ人間と同レベルの能力を持つものや，なかには873手の詰め将棋を解くプログラムも出現している[1)~4)]．しかしながら，これまでのプログラムで解かれた詰め将棋には，「中合い問題」がほとんど含まれておらず，それゆえ完全とはいい難い[5),6)]．とりわけ対戦将棋では，単なる中合いだけでなく，いわゆる移動中合いにより王手が生じたり，中合いが連続的に出てくる場合も考えられるが，これらは未解決のまま残されているのが実情である．

「中合い問題」における問題点の1つは，中合いした駒が「無駄合い」か「有効合い」かを少ない探索数で判定することである．もとより全探索を行えば必ず解に到達することができるが，これが好ましい方法でないことは明らかで，そのため様々の試みがなされている．その代表的なものとして，飛車と角の能力を持つ「女王駒」やすべての駒の能力を持つが攻め手側に捕獲されても役に立たない「兎駒」などがある[7),8)]．実際，これらの仮想駒を「中合い問題」に適用してみると，ほとんどの場合，これで解決する．しかしながら，これまで発表されている「中合い問題」は数が少ないだけでなく，その内容は平易なものが大半であり，それゆえ，これらの仮想駒で総じて解決したとはいえない．例えば，これらの仮想駒は「この駒を使って詰むなら無駄合いである」ということを調べることのみに使われている．したがって「有効合い」と判断されたら，7種類の駒全部について調べる必要があるので，探索数の削減にはならない．更に，これらの仮想駒は1つの合い駒でありながら異なる2つ以上の駒の能力を使って詰みを防ぐ可能性があり，そのときは，本当は詰みであっても不詰みと誤って判断する可能性がある．

本稿では，これら仮想駒をより完全にした「スーパー駒」を提案する．スーパー駒は，合い駒として最初7種類の駒全部の能力を持ち，探索が進むにつれその能力が限定されてゆき，最終的には駒が特定される．

Yukoai algorithm with "supergoma" in "the chuuai problems" of tume shogi. by *Yoji Kitamura* (NTT Data Corporation), *Shiro Handa* and *Shinjiro Oshita* (Faculty of Engineering, Shinshu University).

*現在　NTTデータ通信㈱
**信州大学工学部

†1997年2月20日受付　1997年6月12日再受付

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Simulation Technology

本稿は，このスーパー駒を使用する詰め将棋探索のアルゴリズムを示し，シミュレーションによりその効果を明らかにするものである．

2. 「中合い問題」に対する合い駒処理

図1に詰め将棋の探索木の様子を示す．探索木の節点は探索する局面，最も上の根節点は問題の局面，節点から出る枝は攻め手または受け手に対応している．ここで，最も簡単な例として，全ての節点からA本ずつ枝が出ている深さNの均質な探索木のモデルを考える．この探索木の末端のN手の局面の数はA^Nとなる．詰め将棋は3手，5手，7手詰めというように2手ずつ手数が増えていくので，深さ（$N+2$）の探索木では末端の局面の数は$A^{(N+2)}=A^N \cdot A^2$となる．すなわち，手数が2手増すごとに探索木の末端の局面の数はA^2倍に増えていく．このようにコンピュータが詰め将棋を解く場合，手数すなわち探索の深さに対して，探索数が爆発的に増加することが大きな問題となっている[1]．そこで，詰め将棋のプログラムに一般的に用いられている縦型探索では，詰め将棋を効率的に解く工夫が数多くなされている[1)~4)]．

詰め将棋は，通常の指し将棋のルール以外にも，以下のルールが規定されている．ここで，先手とは攻め側のことを指し，後手とは玉を守る受け側のことを指している．

・先手は王手の連続で玉を詰めること
・先手は最短手順で詰め，後手は最長手順を選ぶこと
・盤上の駒と先手の持ち駒以外の駒を後手の持ち駒とすること
・後手は逃げ手順で同手数の2つの手順がある場合，先手に駒を与えない方を正解とすること
・後手は無駄合いをしないこと

最後の「後手は無駄合いをしないこと」というルールは，「中合い問題」と関係している．中合いとは，玉よりも1マス以上離れた位置から，先手が香車，角，飛車，馬，竜のいずれかの駒で王手をかけたとき，後手がその王手を防ぐために持ち駒を合い駒としてその中間に打つことを指す．そして，中合いの合い駒をしたとき，この合い駒が，単に取られるだけで手数を延ばす以外に何の意味も持たない手を無駄合いといい，それ意外で，合い駒を打つことにより，詰みまでの手数が延びたり詰みがなくなったりする合い駒を有効合いという．

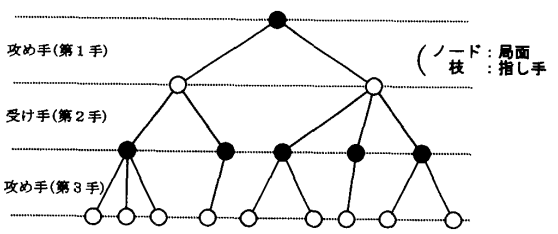

図1　詰め将棋の探索木

図2は1一飛車成りで詰む1手詰めの詰め将棋の問題である．図2では，先手が1一飛車成りと王手をかけた場合に「中合い問題」が生じる．このとき後手は，図2に×で示した8一から2一の7ヶ所に後手が持っている歩，香車，桂馬，銀，金，角，飛車の7種類の駒を打つことができる．この場合，後手が2一に合い駒を打ちそれを先手が取り，更に後手が3一に合い駒を打つというように，玉に遠い位置から順に合い駒を打つこともできる．それらの組み合わせ1つずつについて無駄合いか有効合いか判定していくと，調べるべき場合の数は幾何級数的に増加する．更に詰め手数を考慮しない探索では正解を探索できないという問題も起こる．

このように全ての合い駒の組み合わせを1つずつ調べる探索で，実際にパソコンで図2の問題を解いた場合，後手の8一から2一までの合い駒はすべて無駄合いと判定するのには615秒もの時間がかかってしまう．（ただし，パソコンはNEC PC-9821Xa Pentium100 MHzを用い，1秒間におよそ4000の局面を探索することができる）また，図2の問題では探索の深さは15手先まで調べる必要がある．

図3の問題で先手が9三に持ち駒の飛車を打ち，ついで1一に竜が移動する場合を考えると，後手の9二の合い駒と8一から2一までの合い駒が無駄合いかどうかを判定する必要があり，これを解いたところ2095

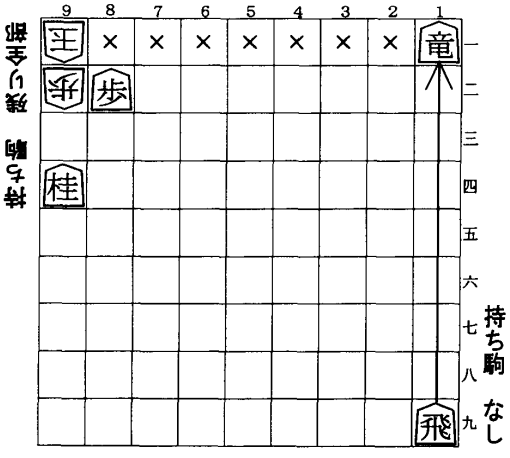

図2　中合い問題(1)

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Simulation Technology

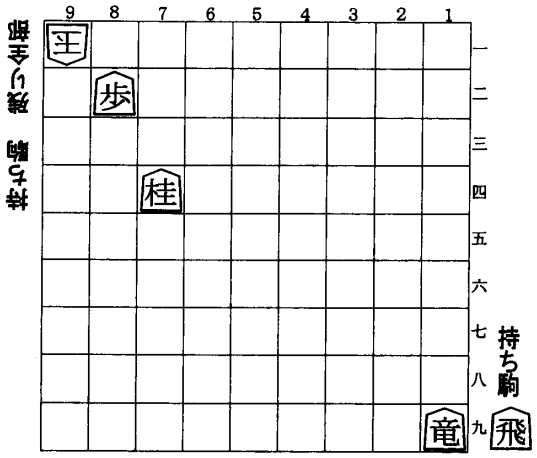

図3　中合い問題(2)

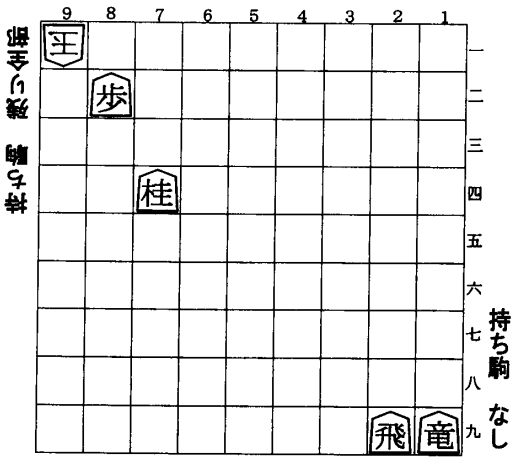

図4　中合い問題(3)

秒（約35分）かかった．

また，図3で先手が9四に飛車を打った場合は，更に9三の無駄合いの判定が必要であるが，後手は9三に7種類の持ち駒をおくことができるので，この場合には，更に7倍の時間がかかる．図4の問題では，約2400日もかかることになる．

このように，「中合い問題」で全ての合い駒の組み合わせについて調べると，莫大な時間がかかってしまう．したがって，「中合い問題」を高速に解くためには，適切な合い駒処理が必要となる．

3.　無駄合い処理

「中合い問題」の対策としては，詰め手数を考慮した無駄合い処理が一般に知られている．無駄合い処理は以下の無駄合い判定アルゴリズムを用いて行う[1]．

「合い駒以外の受け手ではN手の詰みがあるとき，合い駒を取って王手をかけ，その取った駒を使わずに，取った手を含めずに数えて，N手以下で詰めば，その合い駒は無駄合いである．ここで，N手の詰みを調べるときにも，上述の無駄合い判定を行い，正確な詰め手数を得なければならない．したがってアルゴリズムは再帰的となる．」

探索している合い駒が無駄合いである場合，すなわちこの処理で詰む場合には，この無駄合い処理は有効であるといえる．しかし，この処理で詰まなかった場合は，その場所への合い駒は有効合いの可能性があるということがいえるだけで，直ちに有効合いであると判定することはできない．したがって，無駄合い処理で詰まなかった場所は有効合いの候補地となる．この有効合いの候補地では，最大で7種類ある後手の持ち駒を実際に合い駒として置き，N手以下で詰むかどうかを1つずつ調べなければならず，このような探索は効率的ではない．

4.　有効合い処理

上述のように，無駄合い処理で詰まなかった場合の探索は効率的ではない．そのため，これまで「女王駒」や「兎駒」といった仮想駒を用いて効率化が提案されてきた[7),8)]．しかしながら，これらの仮想駒は「この駒を使って詰むなら無駄合いである」ということを調べることのみに使われ，それゆえ「有効合い」と判断されると，7種類の駒すべてについて調べる必要があり，その場合には探索数の削減にはならない．また，これらの仮想駒で2つの異なった駒の能力を使って詰みを防いでいる可能性がある．例えば，ある局面では飛車の働きをし，別の局面では角の働きをするというような欠陥があり，その様な場合は本当は詰むものが不詰と誤って判断されることになる．そこで本研究では，有効合いの候補地においてスーパー駒を用いた有効合い処理を提案する．

スーパー駒とは，有効合いの候補地に後手が合い駒を打つ場合に，7種類の駒の代わりに置かれる仮想駒である．スーパー駒は後手が合い駒として盤上に置いた時点では，初期能力として歩，香車，桂馬，銀，金，角，飛車の7種類の駒の能力を併せ持っており，探索が進むにつれてその能力が限定され，最終的に7種類の駒のどれかに固定される．本研究の有効合い処理は，最大で7種類の合い駒をスーパー駒で代表させ，7回分の探索を1回もしくは7回以下の探索で行おうとするものである．

4.1　スーパー駒の能力削除

スーパー駒は以下の4つの場合においてその能力が

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Simulation Technology

削除される．

①後手がスーパー駒を動かす場合

②先手がスーパー駒を動かす場合

③スーパー駒の王手があり玉が逃げる場合

④2つ以上のスーパー駒があるとき，どちらかの能力が削除された場合

以上4つの場合は，スーパー駒がどの方向に移動できるか①②，スーパー駒で王手をするときに更に王手ができるか，玉の逃げ道を制限できるか③，駒数の制限④（例えば飛車や角は3つありえない）に対応しており，能力削減が生じるのは，上記以外に存在しない．単に取られるだけで使われない場合は，無駄合いである．

それぞれの能力削除の方法は異なり，以下の例のように能力削除を行う．

①後手がスーパー駒を動かす場合

図5のように，後手盤上のスーパー駒が，後手からみて右方向に2つ動いた場合，スーパー駒の能力からその能力を持たない駒すなわち飛車以外の全ての駒の能力を削除する．

②先手がスーパー駒を動かす場合

図6のように，先手盤上のスーパー駒が，先手からみて左上方向に1つ動いて王手をかけた場合，スーパー駒の能力からまず左上方向に動けない駒すなわち銀，金，角以外の全ての能力を削除する．ただし，図6の場合は角の能力は既になくなっている．またこのとき，後手陣の3マス以内を動いた場合は成ることができるので，能力削除をした後スーパー駒の能力として残っている駒について成った場合の利きも考慮する．（後手の場合も同様）

次に，動いた後王手方向の利きを持たない駒の能力を削除する．図6の場合は金と銀がスーパー駒の能力として残っているが，金は王手方向すなわち先手からみて左の方向へ動くことができ，また銀についても成った場合の利きも考慮するので王手方向への利きを持っている．したがって，図6の場合は王手方向の利きによるスーパー駒の能力削除はない．

また，スーパー駒の能力削除をした結果，スーパー駒に能力が1つも残っていない場合，先手はそのスーパー駒による王手はできない．

③スーパー駒の王手があり，玉が逃げる場合

図7に示すように，先手盤上のスーパー駒による王手がある場合，玉の逃げ手としては図7の1一または2二へ玉が移動する手が考えられる．このときスーパー駒は1一，2二のどちらにも利きを持っているが，異なった駒の能力を同時に使うことはできないので注意しなければならない．

図7では，スーパー駒が実際には歩か香車か飛車であるとすると，玉は2二へは動くことができる．した

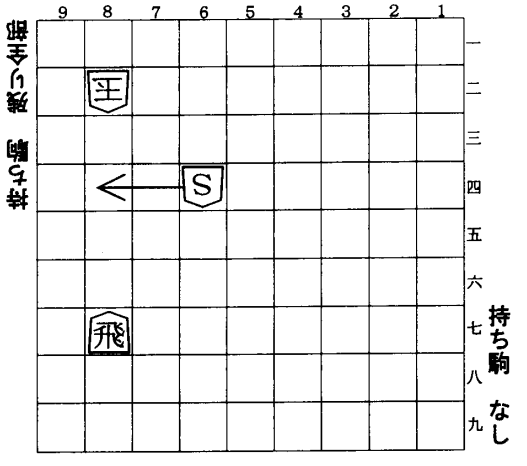

図5　スーパー駒の能力削除(1)

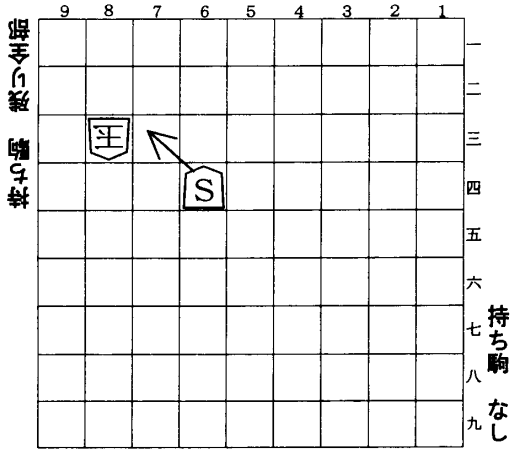

図6　スーパー駒の能力削除(2)

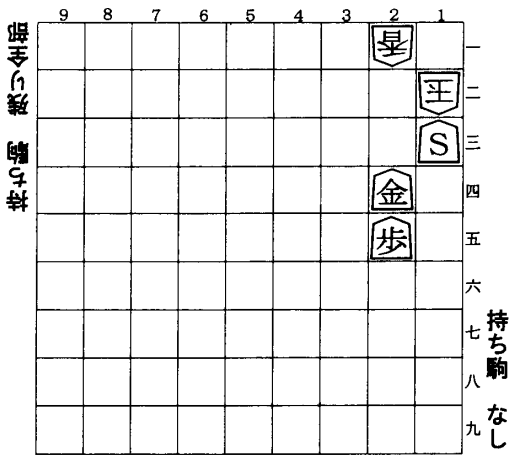

図7　スーパー駒の能力削除(3)

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Simulation Technology

がって，スーパー駒の能力から2二への利きを持っている金と銀の能力を削除して，玉が2二へ動く．また，スーパー駒が歩か金または銀であるとすると玉は1一へは動くことができる．したがって，1一への利きを持っている香車と飛車の能力を削除して，玉が1一へ動く．

④スーパー駒が2つ以上あり，どちらかの能力が削除された場合

図8に示すように，スーパー駒が2つ以上ある場合は，後手の持ち駒の残りの駒数を考慮しなければならない．

図8のスーパー駒S1, S2はともに初期能力として7種類の駒の能力を併せ持った能力を持っている．図8のS1が先手からみて左に3マス動いて王手をかけたのでS1の能力から飛車以外の能力はすべて削除される．このときS1には飛車の能力しか残っていないので，S1は飛車であると決定されたことになる．また，後手の持ち駒に飛車は1つしかないためS2が飛車になることはあり得ない．したがってS2の能力から飛車の能力を削除する．このようにスーパー駒が2つ以上ある場合は後手の持ち駒の残りの駒数を考慮して能力削除を行う．

以上のことを実現するため，**図9**に示すように，スーパー駒のあるベクトル方向への移動可能数及び現実の駒との対応を示す2つのレジスタを用いている．同図は最初すべての駒の能力を持っているスーパー駒が，横方向に2マス動くことによって，それが飛車に限定される過程を示している．

4.2 有効合い処理の探索

このように能力を削除していくスーパー駒を用いた有効合い処理の概要を**図10**に示す．

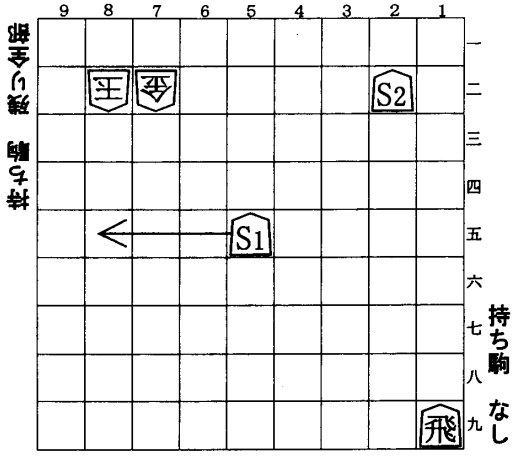

図8 スーパー駒の能力削除(4)

合い駒以外の受け手では，N手詰みであるとして探索を行う．また詰まない合い駒が1つみつかるか，あるいは後手の持ち駒のどれを合い駒として使っても詰むとわかった時点で有効合い処理は終了する．

まず，有効合いの候補地で後手が合い駒としてスーパー駒を使いN手以下で詰むかどうか探索する．探索の過程で，スーパー駒は既に述べたような能力削除を伴う洗練過程を経て最適な合い駒に決定される．また，先手はスーパー駒をとってもよく，先手がスーパー駒を使って詰んだ場合はそのときのスーパー駒の能力を記憶しておく．

この探索で詰みがなかった場合は，先手はスーパー駒を取ることができるので，先手はスーパー駒を使っても玉を詰めることができないことがわかる．先手がスーパー駒を取らなかった場合でも，後手はスーパー駒の能力のいずれかにより詰みを妨げることがわか

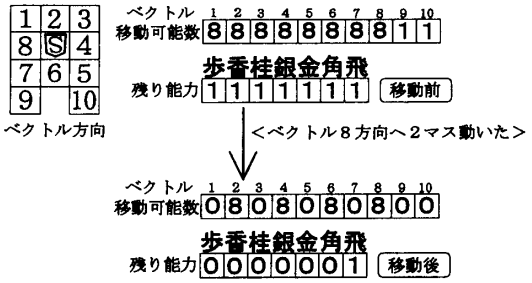

図9 スーパー駒の内部表現

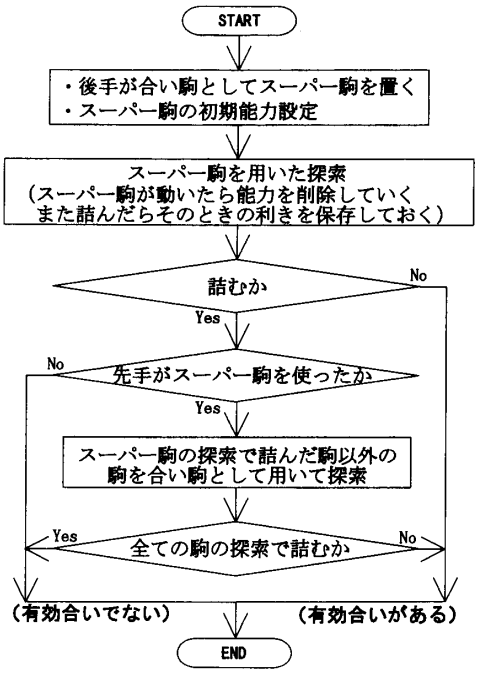

図10 有効合い処理の探索手順

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Simulation Technology

る．したがって，スーパー駒を用いた探索で詰まなかった場合は有効合いがあったとして探索を終了する．この場合には，最適な場合7回の有効合いの候補地での探索を1回で済ますことができる．

この探索で詰んだ場合の探索は，先手がスーパー駒を使ったときと使わなかったときとで処理が異なる．先手がスーパー駒を使わずに詰んだ場合は，後手はどの駒を合い駒として用いても先手は詰めることができるので，有効合いではないとして探索を終了する．この場合にも，7回の有効合いの候補地での探索を1回で済ますことができる．

先手がスーパー駒を使って詰んだ場合は，後手の持ち駒のどれを合い駒として用いても詰むことを確かめる必要がある．これは，先手がスーパー駒を動かしたときにスーパー駒の能力から削除された駒を，後手が合い駒として使った場合に詰みを妨げる可能性があるからである．そこでスーパー駒を用いた探索で先手がスーパー駒を使って詰んだ場合は，先手が玉を詰めるのにスーパー駒の能力として使った駒以外の駒を合い駒として使った場合に，詰むかどうか探索する．このうち詰みを防ぐことができる合い駒が1つでもあれば有効合いがある，なければ有効合いではないということになり探索を終了する．

有効合い処理を用いることで，スーパー駒を用いた探索で詰まなかった場合と，詰んだ場合でも先手がスーパー駒を使わなかった場合は，最大で7回分の探索をスーパー駒による1回の探索だけで，無駄合いであるか，それとも有効合いがあるのかを判定でき，探索数を減らすことができる．したがって，有効合い処理により詰め将棋の「中合い問題」を効率的に解くことができる．

4.3 有効合い処理を用いた合い駒処理

以上の合い駒処理をまとめると図11のようになる．これを図12を例にとって説明する．

玉から王手をかけている飛車まですなわち8二から2二までの合い駒をひとまとめとして合い駒処理を行う．まず玉の直近の8二の位置の無駄合い処理を行う．無駄合いとなったら次の7二の合い駒を探索する．無駄合いとはならず有効合いの候補となったら8二の位置で有効合い処理を行う．有効合い処理で8二の合い駒が有効合いとわかったら8二合いで王手は防げるとし探索を終了する．有効合いでなかったら7二の合い駒を探索する．

7二の合い駒を調べる場合は8二の合い駒は無駄合いであるとわかっているので，8二に更なる合い駒を

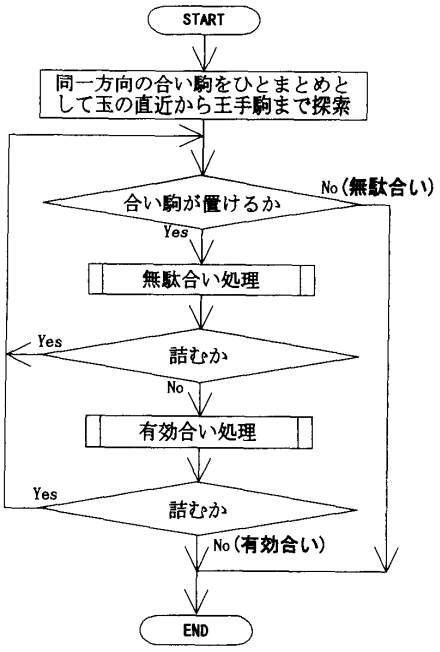

図11 有効合い処理を用いた合い駒処理の探索手順

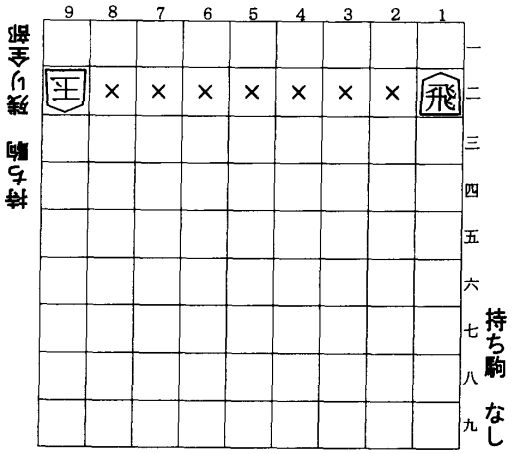

図12 合い駒処理の例

置くことはしない．このようにして8二から2二までの合い駒がいずれも無駄合いであるのか，それとも途中に有効合いがあるのかを探索する．

5. シミュレーション

合い駒の変化のある「中合い問題」を含んだ詰め将棋の問題に対して，有効合い処理を用いた合い駒処理と，有効合い処理をしない場合の合い駒処理についてシミュレーションを行い，それらの比較を行った．有効合い処理を用いた合い駒処理は，まず無駄合い処理を行い，無駄合いではないと判定される有効合いの候補地で有効合い処理を行う．有効合い処理をしない場

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Simulation Technology

合は，有効合いの候補地では後手の持ち駒を実際に置いて探索する．シミュレーション結果を図13～15に示す．

無駄合い処理で合い駒が有効合いの候補と判定される局面が多いほど，有効合い処理をする機会が増えて探索回数を削減することができる．図13の問題では，後手からみて玉の左方向と前方向の両方に合い駒を打つことができる．そのため，この問題では有効合い処理を行う機会が増え，有効合い処理が探索の大部分を占めることになり，有効合い処理をしない場合と比べると5倍以上速く解くことができた．図14，図15の問題でも探索数を大幅に減らすことができた．

詰め将棋はパズル的な要素が大きいのでスーパー駒のような仮想駒を用いた探索は有効であると考える．

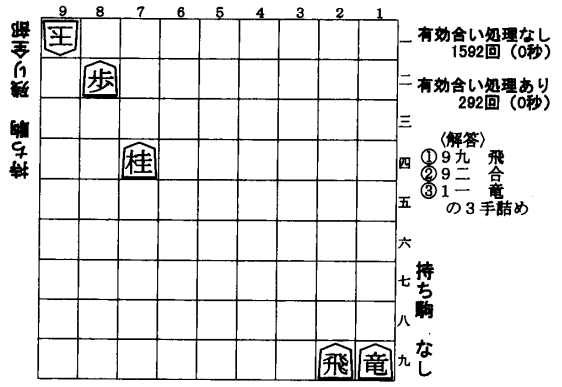

図13 シミュレーション結果(1)

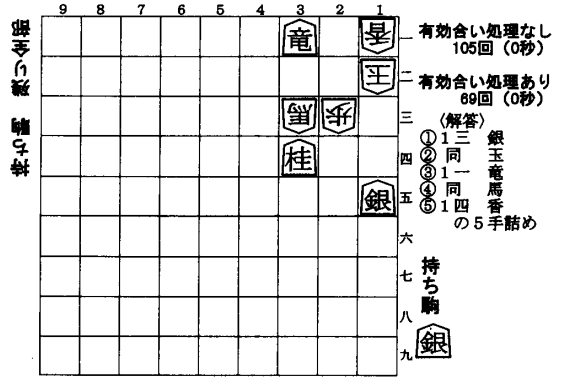

図14 シミュレーション結果(2)

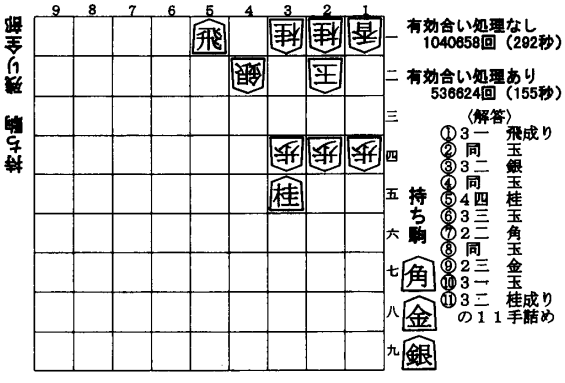

図15 シミュレーション結果(3)

6. むすび

コンピュータが詰め将棋を解く場合，「中合い問題」において幾何級数的に調べるべき場合の数が増加することが問題となる．「中合い問題」の対策としては無駄合い処理がよく知られているが，無駄合い処理を行った結果，無駄合いではないと判定される場合には，合い駒として最大で7種類ある後手の持ち駒すべてについて探索する必要がある．

そこで本稿では，無駄合い処理の結果，有効合いの候補地となる位置で，スーパー駒を投入した有効合い処理を提案した．スーパー駒を用いることで，能力の重複した駒について1つずつ調べる必要がなくなり，最適な場合7回分の探索を1回もしくは7回以下で終わらせ，詰め将棋を効率的に解けるようになった．また，「中合い問題」を含む詰め将棋の問題に対してシミュレーションを行い，有効合い処理を行わない場合と比較した結果，有効合い処理をすることで探索数を減らすことができ，その有効性が示された．

しかし，スーパー駒を用いた探索で先手が捕獲したスーパー駒を使って詰んだ場合は，スーパー駒の探索だけで有効合い処理を終了することはできず，後手の持ち駒を実際に合い駒として使った場合の探索をしなければならない．このような場合にも，効率的に詰め将棋を解くことなどが今後の課題としてあげられる．

参考文献

1) 松原：将棋とコンピュータ，共立出版（1994）
2) 伊藤，河野，脊尾，野下：詰め将棋を解くプログラムの進歩，人工知能学会誌，10-6, 853/859（1995）
3) 松原：コンピュータ将棋の進歩，共立出版（1996）
4) 伊藤，野下：詰め将棋を速く解く2つのプログラムとその評価，情報処理学会論文誌，35-8, 1531/1539（1994）
5) 小谷，吉川，柿木，森田：コンピュータ将棋，サイエンス社（1990）
6) 田原，大下：詰め将棋CAIにおける「中合い問題」の解決法について，電子情報通信学会技術研究報告，ET91-79, 31/38（1991）
7) 吉川：将棋プログラムの研究，programmer's Σ，vol. 3（1987）
8) 笠本：将棋プログラム「棋帝」(4)，PCマガジン（1989）

NII-Electronic Library Service