目次

概要 2

1 はじめに 2
- 1.1 研究背景 . . . 2
- 1.2 研究目的 . . . 2
- 1.3 本論文の構成 . . . 2

2 詰将棋とは 3
- 2.1 詰将棋の文化的背景 . . . 3
- 2.2 詰将棋のルール . . . 3
- 2.3 詰将棋創作 . . . 5

3 コンピュータと詰将棋 6
- 3.1 コンピュータ将棋 . . . 6
- 3.2 コンピュータと詰将棋 . . . 6

4 解答アルゴリズム 6
- 4.1 ＡＮＤ/ＯＲ木 . . . 6
- 4.2 証明数・反証数 . . . 8
- 4.3 df-pn-search . . . 8

5 逆算アルゴリズム 9
- 5.1 逆算 . . . 9
- 5.2 豆腐煙の逆算 . . . 9

6 攻方完全限定豆腐煙全検 10

7 全検の実行 10

8 おわりに 11

謝辞 12

参考文献 12

付録 12

概要

本研究では，攻方完全限定豆腐煙全検をする．創作法は逆算法，解答プログラムはｄｆ-ｐｎアルゴリズムを用いる．結果，要件を満たし, かつ最長手数（51 手）の詰将棋が 58 局面発見された．その内の一つは実際に専門誌で発表された物と同一の局面であった．全検を行っても局面数の爆発により，失敗に終わる例も多いが，攻方完全限定という条件を設けることにより，価値の高い詰将棋を漏らさず抽出することができた．

1　はじめに

1.1　研究背景

近年のコンピュータによる詰将棋解答の発展は目覚ましいものがある．df-pn 探索を筆頭とした効率の良い探索法の発見により，ほとんどの問題を人間とは比べものにならないほどの速さで解いてしまう．

一方，コンピュータによる詰将棋の創作は発展途上である．コンピュータにゼロから詰将棋を創作させることは稀で，人間が創作した詰将棋の完全性をチェックするための，補助的なツールとして使われることが一般的である．但し，駒の配置や使用駒数を制限する等，特殊な条件下においては一定の成果をあげている．駒の配置の特殊な例としては，初期配置は全駒使用で，詰上がりは必要最低限になるという**煙詰**という条件設定がある．また，使用駒制限の例として，玉 1 枚と，歩 (又はと金) を最大 18 枚用いる詰将棋がある．これを**豆腐図式**と言う．

1.2　研究目的

本研究では，攻方完全限定豆腐煙全検を行う．豆腐図式かつ煙詰の条件を満たしている詰将棋を**豆腐煙**と呼ぶ．今回はその中でも手数が最長なもの，さらに，攻方の着手は完全に唯一であるものを全て抽出する．厳密な定義は後述する．創作の手法は**逆算法**を用いる．また，解答プログラムは df-pn 探索を利用する．

1.3　本論文の構成

本論文は 8 つの章と，付録で構成されている．第 2 章では詰将棋のルールや歴史，魅力を述べる．さらに第 3 章では詰将棋とコンピュータとの関わりを解説する．第 4 章では詰将棋の解答アルゴリズムである df-pn-search を順に追って解説する．続いて第 5 章では創作法の一つである逆算アルゴリズムの紹介と，その有用性を述べる．第 6 章は本研究の核である攻方完全限定豆腐煙全検について詳述する．第 7 章では全検の方法と結果を述べる．第 8 章で本研究をまとめる．付録には生成された詰将棋と、逆算が困難だった詰将棋を収録する．

2 詰将棋とは

2.1 詰将棋の文化的背景

将棋の目的は，相手の王様を詰ますことである．詰将棋とは，その王を詰ます部分を抽出したパズルである．当初は練習問題と言う位置付けであったが次第に芸術作品へと昇華していった．

詰将棋は江戸時代の初期に誕生したと言われている．現存する最古の詰将棋は初代大橋宗桂の「象戯造物」である．宗桂以来，名人襲位時に幕府に詰将棋の作品集を献上する習わしができ，詰将棋は大きく発展した．なかでも，三代伊藤宗看の「将棋無双」，伊藤看寿の「将棋図巧」の両図式集は，作品の質が突出しており，近年の詰将棋の発展にも大きな影響を与えている．献上が行われなくなった後，詰将棋の発展は一時期停滞したが，昭和に入り「将棋月報」に詰将棋が掲載されるようになり，その勢いが戻った．その後，様々な雑誌の発刊と廃刊が繰り返され，現在では 60 年以上の歴史を持つ詰将棋パラダイス誌を中心とした活動が見られる．[*1]

詰将棋の愛好家の中でもその楽しみ方は様々である．以下は私見であるが，一番多いのが解答者であろう．頭の体操に簡単な問題を数多くこなす者もいれば，難しい問題に挑戦する者，解答スピードを争って誰よりも早く解くことに快感を覚える者もいる．次の多いのが創作者（詰将棋作家）だと思われる．作家それぞれに作風というものがあり，解答者に楽しんでもらえるよう解後感の良いものを創る者もいれば，力試しとばかりに，難解作を創る者もいる．さらに，手順で独自の世界観を表現する人も多い．その他にも，よい詰将棋の解答を見て楽しむ鑑賞者，雑誌で解説する解説者，本を集めて楽しむ蒐集家などがおり，詰将棋の魅力はバラエティーに富む．

2.2 詰将棋のルール

創作者はあらかじめ，駒が配置された局面とその解手順を設定する．解手順を「作意」と呼ぶ．解答者は創作された局面から連続して王手をかけ続け，詰に至る手順，すなわち作意を導き出す．

詰将棋の基本的なルールは指将棋と同じである．**完全**である詰将棋は，以下の 3 条件を満たす．

条件 1：作意の詰上りの局面で，攻方に持駒があってはならない．（**駒余りの禁止**）

条件 2：攻方が作意以外の手を選んだ時，必ず不詰となる．但し，最終手に限り別の手段があっても良い．（**余詰の禁止，但し例外あり**）

条件 3：作意は攻方と玉方がお互いに**最善**を尽くした結果でなければならない．ここで言う最善とは以下の a,b,c の通りである．

a) 攻方は，詰に至る手があれば必ずその手を選ぶ．該当する手が複数ある時は任意に選んでよい．

b) 玉方は，不詰になる手があれば必ずその手を選ぶ．該当する手が複数ある時は任意に選んでよい．

c) 玉方がどの手を選んでも詰を免れることができない場合，攻方が最短手順で詰ますと仮定した

[*1] この段落は http://ja.wikipedia.org/wiki/詰将棋（2012/02/14 現在) を参考に執筆した

時に，詰まされるまでの手順が最も長くなる受け手を選ぶ．また，同じ長さの手順が複数存在する場合には，詰上り局面で攻方の持駒が余らない手があればそれを選ぶ．

図 1 は完全な豆腐図式の例である．作意は▲３二歩成△１一玉▲２二と迄 3 手詰である．図 1 の完全性を確認する．まず，条件 1 の**駒余りの禁止**であるが，この詰将棋の詰上がり（図 2）を見れば駒が余っていないのは明らかである．尚，初期配置が図 3 の場合，玉を詰める過程で２二の歩を取るため，詰上がり（図 4）で歩が余る．よって，図 3 は不完全である．駒余りの禁止についてさらに補足すると，駒余りを避けるのは解答者ではなく創作者である．すなわち，解答者は最終的に駒が余ろうが余らなかろうがとにかく玉を詰ませば良いのである．玉方が最善の応手をしても，最終的に駒が余る場合，それは問題設定が間違っているのである．次に条件 2 の**余詰の禁止**について調べる．初手は作意以外に３二と，２二と，１二との 3 種類の王手がある．しかし，それぞれに対して玉方が正しい応手をすれば詰を免れることができる．3 手目は同じ２二とでも，２三のと金が動くか３二のと金が動くかの 2 通りがある．しかし，3 手目は最終手なので例外的に複数の手が成立しても良い．ちなみに図 5 は，初手３二歩成の代わりに４三のと金で３二とと王手する手も成立する．３二歩成が作意なら３二と以下の手順は余詰である．すなわち図 5 は不完全である．最後に**最善性**の確認である．a) は条件 2 の時点で確認した．b) は 2 手目は玉は１一に逃げるしかないので問題ない．c) も玉方に選択権の発生する局面がないので考慮する必要がない．以上の確認により図 1 は完全である．

以上のような条件があるため解答者は一意に作意を導くことができる．完全でない詰将棋を**不完全**と呼び，基本的に詰将棋として認められない．ただし，作品の内容や性質によっては，上記のルールを逸脱しても不問とされたり，キズ有りとされ評価は下がるものの，一応詰将棋であると認められたりするケースも多々ある．

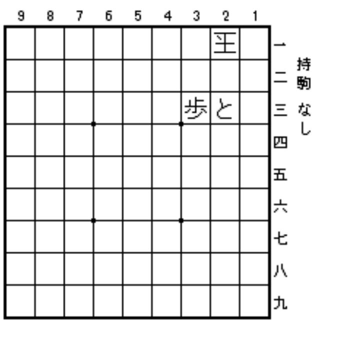

図 1　完全な豆腐図式

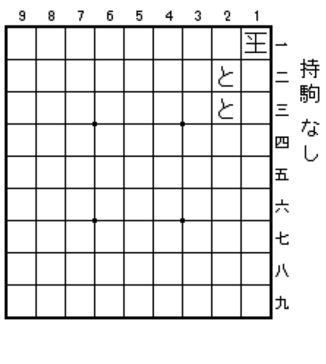

図 2　図 1 の詰上がり

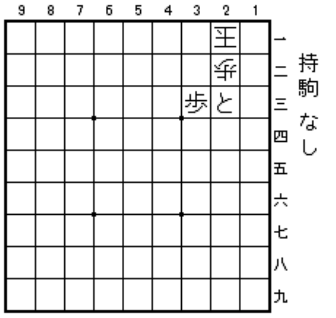

図 3　不完全（駒余り）な豆腐図式

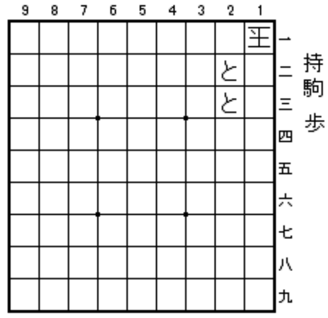

図 4　図 3 の詰上がり

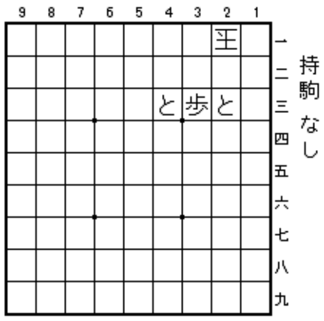

図 5　不完全（余詰）な豆腐図式

2.3　詰将棋創作

私見で恐縮だが，詰将棋の創作法を人に説明することは難しい．詰将棋はある種の閃きや経験を元に創られるのであり，それを初学者に言語化し説明することは困難を極める．ここでは，代表的な 3 つの創作法を紹介するにとどめる．

正算法：適当な駒配置から手順をひねり出す．指将棋派の中には実戦の終盤を題材にする者もいる．おそらく，一番最初に試してみるのはこの方法だろう．

逆算法：元になる完全な詰将棋を用意し，そこから手数を伸ばしていき長手数の詰将棋を作成する．慣れれば，お手軽な創作法である．詳細は，後に譲る．

構想法：始めからある構想を定め，それを実現するような手順を作り出す方法のこと．構想を具現化するのは，かなりの力量が入り，高度な「作図法」である．

3　コンピュータと詰将棋

3.1　コンピュータ将棋

コンピュータ将棋の開発は 1970 年代中頃から始まったと言われている．その後 1980 年代には市場に将棋ソフトが出回りはしたものの，棋力はとても弱く，人間の相手になるものでなかった．1986 年に「コンピュータ将棋プログラム」の会（現「コンピュータ将棋協会」）が発足．同会が主体となり，1990 年からコンピュータ将棋選手権が年 1 回開催されることになった．それを契機にコンピュータ将棋の発展は加速度を増した．昨年の同大会で優勝した「ボンクラーズ」が米長永世棋聖に勝利を収めたのは記憶に新しい．[*2]

3.2　コンピュータと詰将棋

初のコンピュータ解図プログラム登場は 1968 年であった．大型計算機によるもので解答スピードも遅かった．

1990 年代に入り，各種の解答アルゴリズムが次々と提案された．特筆すべきは，1997 年に脊尾詰が最長手数（1525 手）の詰将棋「ミクロコスモス」を解いたことである．それと同時にミクロコスモスの完全性を示したのも大きい．また，創作面でも進歩が見られ，同じく 1997 年に 3 × 3 金銀図式の数え上げ（全検）が行われた．

2000 年代に突入し，df-pn アルゴリズムが登場し解答プログラムはさらに強力になった．2012 年 2 月 14 日現在，コンピュータに解けない詰将棋は存在しない．但し，ただ解くことと正しい解答を得ることは別であり，その面においては課題が無いわけではない．一方創作プログラムはそれほど進歩していない．これからの研究が期待されるところである．[*3]

4　解答アルゴリズム

4.1　ＡＮＤ/ＯＲ木

詰将棋を解くにはゲーム木を探索する．詰将棋のゲーム木の場合，ノードは局面を表す．王手をする，もしくは回避することで，ある局面 A から局面 B へと移ることができる時，ノード A から子ノード B への有向エッジを定める．作者が設定した初期局面はルートノードとなる．各ノードは「詰」か「不詰」の評価値を持つ．先端ノードから逆にたどることで，ルートノードの評価値を判定できる．判定方法は以下の通りである．

・ノード n が攻方の手番

　n が子ノードを持つ・・・ある n の子ノードが詰なら n も詰

　n が子ノードを持たない・・・n は不詰

[*2] 将棋世界 2012 年 3 月号 pp38-46

[*3] この節は http://toybox.tea-nifty.com/memo/cat5092313/index.html を参照した

・ノード n が玉方の手番

　n が子ノードを持つ・・・任意の n の子ノードが詰なら n も詰

　n が子ノードを持たない・・・n は詰

上記のようにあるノードの評価値は，攻方の手番の時は子ノードの評価値の論理和（ＯＲ），玉方の手番の時は子ノードの評価値の論理積（ＡＮＤ）で計算される．このことから，このようなゲーム木を一般にＡＮＤ/ＯＲ木と呼ぶ．

以下の図を例に，木構造から詰・不詰を判定するやり方を説明する．ある詰将棋を探索した結果，図６のような木構造が得られた．まず，先端ノードの詰・不詰を判定する．攻方の手番で手が途切れていれば不詰，受方の手番で手が途切れていれば詰である．判定結果を図７に示す．その次に，子ノードの詰・不詰から親ノードの詰・不詰を上記の定義に従って判定する．図８にその様子が示されている．さらに，判定を繰り返すと最終的に，ルートノードの詰・不詰が判定できる．図９から明らかなように，この詰将棋は詰であることがわかった．

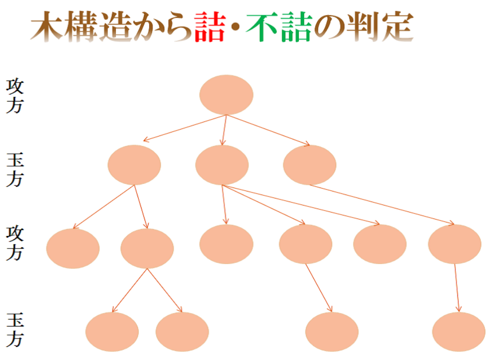

図６　ＡＮＤ/ＯＲ木１

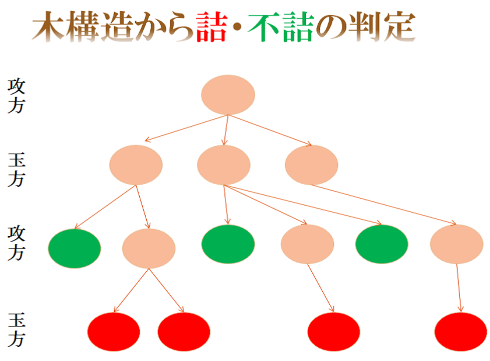

図７　ＡＮＤ/ＯＲ木２

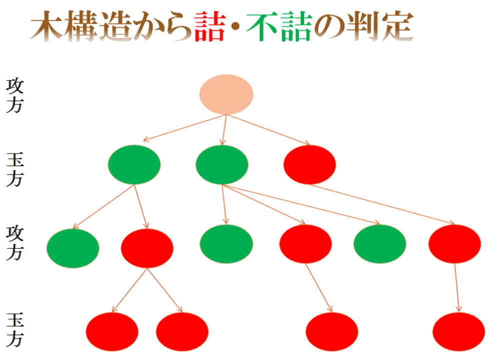

図８　ＡＮＤ/ＯＲ木３

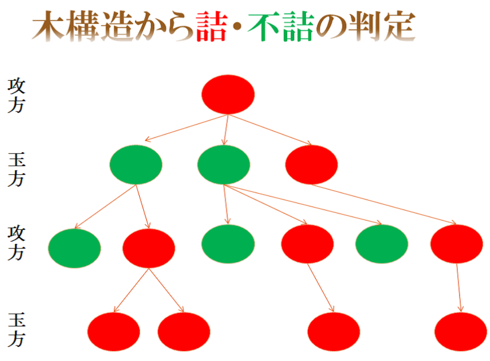

図９　ＡＮＤ/ＯＲ木４

4.2 証明数・反証数

効率のよい探索をするため，各ノードの評価値を表す，証明数 (proof number)・反証数 (disproof number)[1] という概念を用いる．定義を (1)，(2) に示す．ここで，ノード n の証明数・反証数はそれぞれ pn(n), dn(n) と記す．先端ノードとは子ノードの展開を行っていないノードである．

(1) ノード n が先端ノード

(a) 最終的な評価値が詰

$\mathrm{pn}(n) = 0$, $\mathrm{dn}(n) = \infty$

(b) 最終的な評価値が不詰

$\mathrm{pn}(n) = \infty$, $\mathrm{dn}(n) = 0$

(c) 最終手な評価値が不明

$\mathrm{pn}(n) = 1$, $\mathrm{dn}(n) = 1$

(2) ノード n が内部ノード

(a) n がＯＲノード

pn(n) = 子ノードの pn の最小値

dn(n) = 子ノードの dn の和

(b) n がＡＮＤノード

pn(n) = 子ノードの pn の和

dn(n) = 子ノードの dn の最小値

定義より，証明数はその局面を詰を証明するために，詰を示さないといけない先端局面の個数を表す．また，反証数はその局面の不詰を証明するために，不詰を示さないといけない先端局面の個数を表す．

これらの性質から，攻方は証明数が最小の手，玉方は反証数が最小の手を優先的に探索することで，より良い探索が可能となる．

4.3 df-pn-search

証明数・反証数を用いれば最良優先探索が実装できる．pn-search がその例である．但し，最良優先探索はメモリの消費が激しい．そこで，深さ優先探索でありながら，pn-search と同様の振る舞いをする df-pn-search[1] が発見された．df-pn は探索に閾値を用いる．閾値の計算方法を (1)，(2) に示す．ここで，ノード n の証明数，反証数の閾値はそれぞれ thpn(n)，thdn(n) とする．また，n の子ノードの内，証明（反証）数が最小の子ノード，二番目に小さい子ノードはそれぞれ n_c, n_2 と表す．

(1) n が OR ノードの時

$\mathrm{thpn}(n_c) = \min(\mathrm{thpn}(n)\ , \mathrm{pn}(n_2) + 1)$

$\mathrm{thdn}(n_c) = \mathrm{thdn}(n) + \mathrm{dn}(n_c) - \mathrm{dn}(n)$

(2) n が AND ノードの時

　thpn(n_c) = thpn(n) + pn(n_c) - pn(n)

　thdn(n_c) = min(thdn(n) , dn(n_2) + 1)

<u>df-pn-search の手順</u>

ルートノードの閾値は ∞ とする．初めはルートノードから処理を始める．

1．証明（反証）数が閾値以上であれば，処理を親ノードに返し 1．から開始

2．子ノードを展開し，証明（反証）数を再計算

3．証明（反証）数が閾値以上であれば，処理を親ノードに返し 1．から開始

4．証明（反証）数が最小の子ノードの閾値を計算し，子ノードへ移り 1．から開始

ルートノードの反証数が ∞ になれば詰，証明数が ∞ になれば不詰.

5　逆算アルゴリズム

5.1　逆算

先にも触れたとおり，逆算とは完全な詰将棋をその前の局面に戻していくことでより長い詰将棋を創る手法である．とはいうものの創作経験の無い者にとってはイメージすることは難しいだろう．そこで，数学の単純な計算問題を例として逆算を説明する．

$$1 + 1 = 2 \tag{1}$$

$$(\frac{1}{1}) + 1 = 2 \tag{2}$$

$$(\frac{1}{1}) + (\sin^2 x + \cos^2 x) = 2 \tag{3}$$

$$(\frac{1}{-e^{i\pi}}) + (\sin^2 x + \cos^2 x) = 2 \tag{4}$$

数学の問題を計算する時は，各項をより簡潔に表現していくことが求められる．これ以上簡単にできなくなった時が解となる．一方問題を創る時は，逆に各項を複雑な形にしていく．一番上の式 (1) から最下段の式 (4) を見ていくことで，小学校一年生レベルの式が大学生レベルへの問題へと変貌していく様子が見て取れる．数学の問題なら，この要領で一つの式から何個でも新しい式を創ることができる．新しい式からもさらに新しい式を生み出すことができその可能性は無限である．一方，詰将棋の場合，様々な制約があるので，一つの詰将棋から創り出せる局面は有限である．一つの局面から複数の局面を逆算できる場合もあれば，全く逆算できずに終わってしまう場合もある．よって，より長手数の問題を作成するには元になる詰将棋の選び方が重要となる．

5.2　豆腐煙の逆算

豆腐煙の要件は，初期配置と詰上がりが以下の要件を満たす．初期配置は盤面に玉 1 枚と，歩，又はと金が合計 18 枚，計 19 枚配置されてなければならない．歩及びと金は 18 枚の内，何枚が攻

方，残りの何枚が受方でも構わない．そして，詰上がりの条件であるが，通常の煙詰であれば，玉を詰上げることのできる最小枚数，即ち玉を含めて 3 枚の駒しかあってはならない．しかし，豆腐煙の場合，歩やと金の捕獲力の弱さから 3 枚しかない詰上がりで逆算を初めてもすぐに行き詰まってしまう．そのため詰上がりの条件を満たそうとすると，初期配置の条件を満たすができない．実際，3 枚では 9 手詰が最長であることを岡村孝雄氏が証明している[*4]．従って本研究では，煙詰の詰上りの要件を岡村氏発案の“詰上りで全ての盤上の駒が働く”とし，詰上りの使用駒数を 4 枚とした．

煙詰と逆算は相性がよい，さらに言うならばよほど卓越した能力が備わってないかぎり逆算法以外で煙詰を創ることは不可能である．なぜなら，初期配置の条件に比べて，詰上がりの縛りが極めてきついためである．

逆算は，盤面配置及び持ち駒から機械的に行うことができる．ただし，余詰や不詰が発生している可能性があるため，別途調べる必要がある．

6 攻方完全限定豆腐煙全検

本研究では，**攻方完全限定豆腐煙全検**を行った．以下に用語の説明を記す．

【攻方完全限定】

余詰の禁止により当然満たされているはずであるが，先にも触れたとおり，そうではない詰将棋も多い．ここでは条件 2（余詰の禁止）を完全に満たしている詰将棋だけ抽出した．**この制約により，局面数の爆発を抑えつつ，質の高い詰将棋の発見が可能となった．**

【豆腐煙】

煙詰とは，初期状態で全ての駒を盤上に配置し必要最低限の枚数で詰上る詰将棋の総称を表す．狭義には，39 枚の駒を配置し玉を含めて 3 枚の駒で詰める作品を指す．一方，広義には，特定の駒を全て配置し，最低限の駒で詰める作品を指す．

本稿の特定の駒は歩 (又はと金) にあたる．本研究では，先に触れた通り，岡村氏の定義をもとに，詰上りの使用駒数を 4 枚とした．この時該当する詰上りは 224 局面であった．

【全検】

ある条件を満たす詰将棋を，コンピュータを用いて漏れなく調べ挙げることを**全検**という．上述の 224 局面に対して，**攻方完全限定**及び，**豆腐煙**の条件において全検を行った．

7 全検の実行

元となる詰上がり局面は，岡村氏の定義に該当する 224 局面を用意した．図 10 がその内の一つである．ただし，左右反転して同じ局面になる場合は 1 局面と数えた．該当する全ての詰上がりに

[*4] http://toybox.tea-nifty.com/memo/2009/10/post-a700.html

逆算プログラムを用いて 1 手詰を生成した．最終手余詰は許容範囲内としたため，この段階での余詰のチェックは行っていない．その後生成された n 手詰を逆算することを繰り返した．但し，n が偶数の時は余詰，奇数の時は不詰の検討を行い不完全なものは逐一排除していった．
実験中，解答プログラムを走らせている最中にメモリオーバーになってしまった局面が多数現れた（付録 A 参照）それらに関しては市販の将棋ソフト「柿木将棋」に解答を行わせた．最終的に 51 手詰が 76 局生成され，53 手詰は 0 局面だった．さらに，盤面に全ての駒が配置してあるものを抽出すると，58 局面となった．このことから，攻方完全限定豆腐煙の最長手数は 51 手だと初めて証明された．

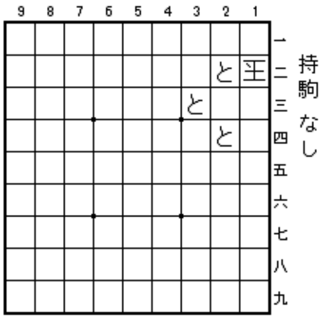

図 10　詰上がりの例

8　おわりに

詰将棋の専門誌 [2] に発表された岡村氏作（図 3）は，今回の実験で抽出された 51 手詰の一つと一致した．これは，本研究で得られた詰将棋が専門誌での発表に値するレベルだと言うことを示している．尚，岡村氏は，20 手台の素材から柿木将棋を用いて創作したと述べている．

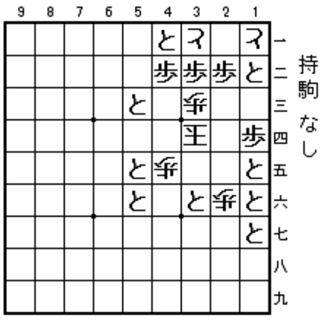

図 11　岡村孝雄氏作　詰将棋パラダイス２０１１年１２月デパート

本研究は，余詰の禁止の原則を厳守することにより，局面数の爆発を防ぎ全検するに至った．一

方，余詰の禁止をできるかぎり緩く解釈した豆腐煙の現時点での最長手数は 69 手詰（岡村氏作）であり，今回得られた 51 手詰よりもかなり長い．しかし，現在の詰棋界は，非限定は嫌われ排除されていく方向にあり，必ずしも本作が岡村作と比べて見劣るわけではない．今回は豆腐煙にとどまったが，駒種を増やしても，攻方完全限定の縛りをもうけることは有効だと思われる．

謝辞

本研究に際して，多くのご指導をいただいた宮本裕一郎准教授に感謝いたします．また，同じ詰将棋作家として，専門的な内容を教えていただいた岡村孝雄氏に御礼を申し上げます．

参考文献

[1] 長井歩，今井浩 : df-pn アルゴリズムの詰将棋を解くプログラムへの応用 , 情報処理学会論文誌 Vol.36,No.12,pp.1769-1777,2002.

[2] 月刊詰将棋パラダイス，669 号，p.101 全日本詰将棋連盟機関誌，2011.

付録

付録 A では，逆算プログラムではうまく行かず，柿木将棋に頼った局面の内，6 局面を掲載する．

付録 B では，生成された攻方完全限定最長手数豆腐煙全 58 局の中から，4 局紹介する．

A. 逆算失敗局面例

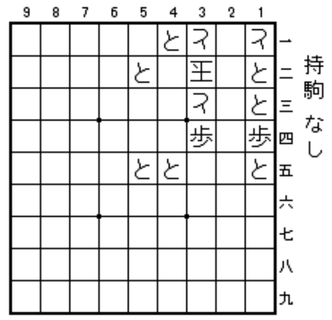

図 12　逆算失敗局面例 1

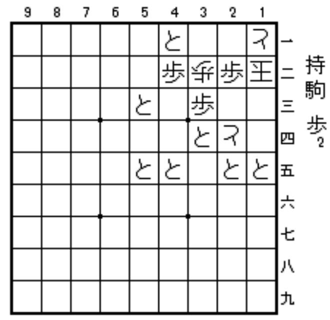

図 13　逆算失敗局面例 2

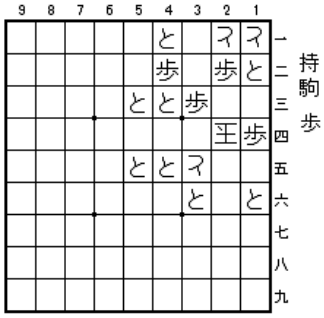

図 14　逆算失敗局面例 3

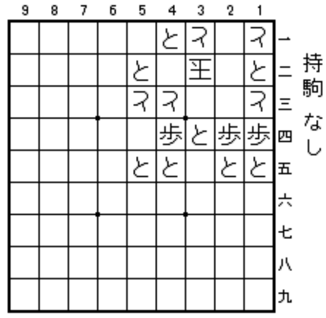

図 15　逆算失敗局面例 4

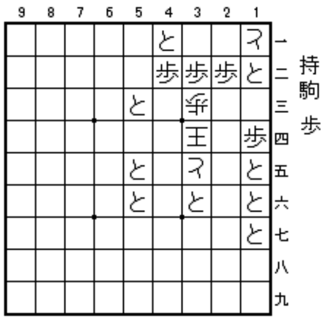

図 16　逆算失敗局面例 5

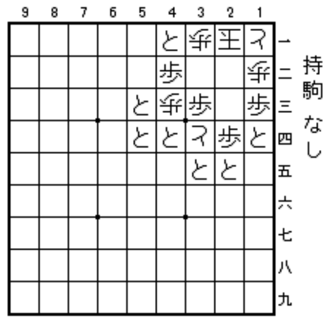

図 17　逆算失敗局面例 6

B．攻方完全限定最長手数豆腐煙例

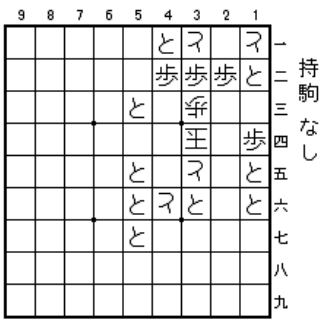

図 18　攻方完全限定最長手数豆腐煙例 1

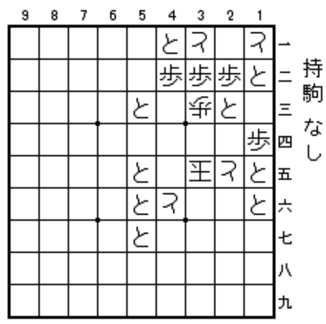

図 19　攻方完全限定最長手数豆腐煙例 2

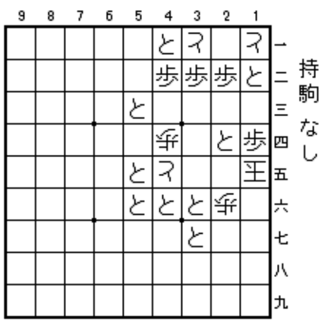

図 20　攻方完全限定最長手数豆腐煙例 3

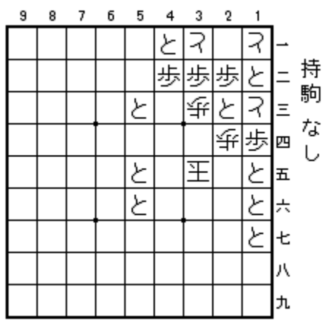

図 21　攻方完全限定最長手数豆腐煙例 4