協力詰における全駒煙詰の発見

探索手法の段階的な設計と改良による計算機支援創作

Keigo Oka[1,a)]

Discovery of a 40-Piece Smoke Helpmate in Shogi

Computer-Aided Composition through Stepwise Design and Refinement of Search Methods

概要　先後が協力して玉を詰める協力詰では，駒一組すべてが盤上に置かれた初形から始まり 3 枚で詰む全駒煙は従来不可能とみられていた．本研究はその予見を覆し，駒一組 40 枚の初形から，一意な最短解で 3 枚の詰みに至る協力詰の全駒煙「狼煙」を得た．探索は，詰上がりからの逆算による候補生成と，最短解の一意性を全合法手で調べる検証からなる．詰上がりからの全幅逆算は候補が急増するため，探索履歴から到達駒数を予測する学習評価でビーム探索の局面を選び，初形 39 枚に達した．既知の 39 枚解すべてに共通する局面に戻り，ビーム幅も広げて再探索し，初形が 40 枚の完全作を得た．発表図の一意性は独立の実装でも確認した．また，玉と歩・と金だけの豆腐図式の煙詰の最大枚数も求めた．

Abstract　In shogi helpmate, both sides cooperate to checkmate the defending king. A smoke composition starting with all 40 pieces on the board and ending with only three had previously been thought impossible for helpmate. We overturn this expectation with “Noroshi,” a 40-piece smoke helpmate with a unique shortest solution in 113 moves. Our search combines candidate generation by retrograde search from a checkmate position with verification of shortest-solution uniqueness over all legal moves. As full-width retrograde search produces rapidly growing numbers of candidates, we guide beam search with an evaluation function trained on search histories to predict the maximum reachable piece count, obtaining 39-piece initial positions. We then restart from a position shared by all known 39-piece solution lines and widen the beam, obtaining valid 40-piece compositions. The published composition is also verified using an independent implementation. We additionally determine the maximum initial piece counts for smoke helpmates restricted to kings, pawns, and promoted pawns.

1. はじめに

煙詰は，多数の駒が配置された初期状態から，手順の進行とともに駒が次々に消えていき，必要最低限の枚数（通常は玉を含めて 3 枚）で詰め上がる詰将棋の総称である．狭義には，攻方の玉も盤上に置く双玉では 40 枚，受方の玉だけを置く単玉では 39 枚の駒すべてを盤上に置いた初形から始まるもの（全駒煙）を指す．初形の盤上の駒がそれより少なく，玉を含めて 3 枚で詰め上がるものはミニ煙と呼ばれる[1]．煙詰の一号局は，1755 年の伊藤看寿『将棋図巧』第 99 番である[2]．2 作目の黒川一郎「落花」が現れるまでの約 200 年間，煙詰はこの 1 局だけであった[3] が，その後は多くの作品が作られ，都煙・小駒煙・貧乏煙などを含めて 2015 年の時点で 338 作が数えられている[4]．一方，攻方と受方が協力して詰みに向かう協力詰では，盤上の駒を増やすほど，狙った長い手順を保ちながら別解を排除することが難しくなることから，煙詰の創作は困難であり[6], [8]，2004 年には，39 枚（双玉なら 40 枚）から 3 枚にするのは「おそらく不可能」との見方が示されていた[6]．本研究は，標準の将棋駒一組 40 枚をすべて盤上に置き，最後に 3 枚を残す協力詰の作品を探索し，発見することで，この見方を覆した．

得られた作品が，図 1の「狼煙」（のろし）である．この作品は協力詰の完全作であり，113 手の最短解が一意に存在する．詰上がりに残るのは，双方の玉と攻方のと金の 3 枚である．

本稿の主題は，この作品の発見に至った探索設計である．探索では，詰上がりから 1 手ずつ局面をさかのぼり（逆算），各局面について最短の詰手順が一意かを調べる．候補の局面は手数とともに急増するので，残す局面を選ぶための評価が要る．本研究では，その評価を探索の記録から学習することで初形 39 枚に達し（4節），さらに得られた解手順の合流構造を分析して探索の起点を選び直し，ビーム幅を広げて再探索を行うことで初形 40 枚に達した（5節）．得られた候補の検証と作品化（6節）に加え，同じ逆算と検証を局面を間引かずに適用して最大枚数を確かめた豆腐図式の煙詰（6.4節）も報告する．各節の到達駒数は，発見に至った順序での記録として報告する．

2. 問題設定と関連研究

2.1 協力詰と本稿で扱う煙詰

協力詰は，攻方と受方が協力して受方玉を詰めるフェアリー詰将棋である．攻方は王手をかけ，受方は王手を解除する合法手を指す．協力詰の解は最短の詰手順であり[12]，本稿はその手順がただ一つである局面を扱う．より長い詰手順があっても，最短の手順が一つならこの意味で一意とする．通常の将棋と同様に，取った駒は持駒になり，再び打つことができる．「駒が消える」とは受方の持駒になることである．

協力詰は，1961 年に『詰将棋パラダイス』67 号で S・

[1] Google (Work done in a personal capacity)
[a)] ogiekako@gmail.com

© 2026 Information Processing Society of Japan



図 1 「狼煙」の初形（ogiekako 作，『詰将棋パラダイス』2026 年 8 月号）．協力詰 113 手，盤上 40 枚．逆向きの文字は受方の駒を表す（受方の玉を「玉」，攻方の玉を「王」と書く．杏・圭・全はそれぞれ成香・成桂・成銀）．

オギノ氏が「ばか詰」の名で提唱したルールである[9]．提唱後しばらくは顧みられなかったが，1970 年の中出慶一氏の新作発表をきっかけに広まった[9]．直後に発表された加藤徹氏の作品によって長編の可能性も認識され，1971 年には同誌に「ばか詰教室」が開設された[9]．1975 年には加藤徹氏作の「寿限無」19447 手が発表されている[9]．

現代の協力詰では，解がただ一つであることが重視される．成・不成の選択や，飛角香の打つ地点・移動先が一つに定まらない手を，非限定と呼ぶ．普通詰将棋では，煙詰を含め，非限定は余詰（攻方に作意以外の詰め方があること）とは区別され，許容範囲とされることが多い[10], [11]．フェアリー詰将棋でも，以前は多少の非限定が許容されていたが，現代では唯一解を基本とすることが多く[11]，WFP 作品展のルールも，注釈がない限り「唯一解」と「詰上り手余りなし」を協力詰などの完全作の条件としている[12]．本稿の一意性もこの意味であり，成・不成や打つ地点・移動先だけが異なる手順も別の解として数える．「狼煙」の最短解はこの意味で一意である（6.2節）．

本稿の対象は，双方の玉を盤上に置く双玉の煙詰である．初形では標準の駒一組（玉 2，飛 2，角 2，金 4，銀 4，桂 4，香 4，歩 18）をすべて盤上に置き，双方の持駒はなしとする．目標は，そこからの最短の詰手順がただ一つで，詰上がりの盤上駒数が 3 枚となり，攻方の持駒が残らない初形を得ることである．駒の成りの可否，二歩，行き所のない駒，打歩詰の禁止といったルールは，すべて普通の将棋に準ずる．手数は攻方と受方の着手を合わせて数える．

2.2 協力詰の煙詰と計算機創作

協力詰の煙詰で何枚まで駒を消せるかは 2004 年に話題になり，13 枚，15 枚，21 枚などの例が挙がった[5]．神無三郎氏の作が 25 枚から 3 枚に達したことも，図は非公表として報告された[5], [7]．「狼煙」は，記録に残る限り，協力詰における初の双玉の全駒煙であり，『詰将棋パラダイス』2026 年 8 月号に出題された．

著者は「狼煙」の完成に先立ち，使う駒種を限った単玉の煙詰を逆算探索で作り，第 182 回 WFP 作品展で発表した[8]．歩を使わない歩なし煙（初形 21 枚，51 手）と，金銀を使わない貧乏煙（初形 31 枚，75 手）である．同作品展の解説では，後者の初形 31 枚が単玉協力詰の煙詰として最大枚数記録とされている[8]．単玉で 39 枚すべてを盤上に置く全駒煙は，本稿執筆時点で未発見である．

普通詰将棋における逆算法による計算機創作には蓄積がある．広瀬正幸らは詰上がりから初形を構成する逆算法による自動創作を研究した[13]．普通詰将棋の煙詰について，広瀬稔・馬屋原は，配置駒数，駒の温存，玉の可動域などを考慮した評価関数を用いて 39 枚から 3 枚になる作品を自動生成した[15]．普通詰将棋の煙詰には『将棋図巧』以来の作品の蓄積があり，この評価関数はそこで培われた作家の知見を人手で関数にしたものである．一方，協力詰の全駒煙には手本となる既存作品がないため，本研究では同じ役割の評価を探索の履歴から学習した．また，黒瀧は，逆算の選択を深層学習によって誘導する詰将棋創作を報告している[16]．これらが評価関数や生成手法そのものを主題とするのに対し，本研究は，手本となる作品のない協力詰の全駒煙について，一気貫通の発見ではなく，単純逆算の限界，評価の学習，解構造の分析，作品の選択を含む創作の過程全体を扱う．

解図の側では，星らが協力詰を OR 木として扱い，反復深化探索と局面表を組み合わせた手法を示した[14]．普通詰将棋の攻方と受方の対立に対応する AND/OR 木とは異なり，協力詰では，双方の合法手すべてを，詰みへ向かう可能性として調べる．本研究で用いた自作プログラム fmrs は，逆算候補の絞り込みにはキャッシュ付き深さ制限 DFS を，最終候補の解の判定には幅優先探索によるソルバーを用いる[17]．

3. 逆算による候補生成と一意性の検証

3.1 逆算探索と検証

探索システムは，詰上がりから初形の方向に進む逆算探索と，候補局面から詰みに向かって解を調べる判定・検証からなる．逆算探索は作品の候補を作る発見的探索であり，計算量を抑えるために局面を間引きうる．探索中の候補判定には，後述する金類の正規化と局面表を用いた深さ制限 DFS を使う．最終候補の検証では，正規化せずに幅優先探索で最短解の一意性を確認する．

逆算では，合法な着手を逆向きに戻して一つ前の局面を生成する．移動を戻すほか，駒取りを戻して盤上に駒を復元する場合や，成りを戻す場合がある．持駒を打っ

© 2026 Information Processing Society of Japan

た手を戻すと，盤上の駒は持駒に戻る．このため盤上駒数は，逆算の 1 手ごとに増える場合も減る場合もある．逆算は詰みからの手数ごとに層をなして進む．各層では，生成した局面の重複を除き，駒数や駒の種類に関する探索用の制約（3.3節）を適用したうえで，一意性の判定を通った局面を次の層の候補とする．この各層の候補の集合をフロンティアと呼ぶ．フロンティアの局面をすべて次の層へ進める探索を全幅探索，評価値などに基づいて決まった数（ビーム幅）の局面だけを残して次の層へ進める探索をビーム探索と呼ぶことにする．

候補局面について，その期待される詰手順の手数を D としたとき，探索中の候補判定では，最短の詰手順の長さがちょうど D で，その手順が 1 通りであることを調べる．解が 2 通り見つかればその候補は棄却できるため，解数は 0，1，2 以上を区別すればよい．fmrs では，残り深さに関する情報を持つ局面表と深さ制限 DFS を用いて，この判定を繰り返す．局面表は判定結果の再利用にだけ使うので，局面表を捨てて探索を再開しても判定結果は同じで，計算の量だけが増加する．局面表は判定で訪れた局面ごとに項目を持つので，逆算が深くなるとメモリ使用量の大部分を占める（6.3節の探索の終盤で約 93 億項目，メモリ使用量は約 290GiB）．

メモリ使用量を抑えるために用いたヒューリスティックについて説明する．逆算で受方の駒取りを戻すとき，取られた攻方の駒は，受方の持駒にある駒種とその成駒のどれとしても復元できる．このうち金・と金・成香・成桂・成銀（以下，金類）は盤上での動きが同じなので，金類の駒種と，その分だけ入れ替わる受方の持駒の内訳だけが違う局面が多数生じる．そこで局面表の項目を減らす手段の一つとして，これらを同じ局面とみなし，判定と局面表の項目を共有する．実装では，攻方の金・成香・成桂・成銀を，できるだけと金に置き換える正規化（以下，金類の正規化）を用いる．これらの駒をいったん元の駒として受方の持駒に戻し，受方の持駒から歩・香・桂・銀・金の順に同じ枚数を取り直して，それぞれと金・成香・成桂・成銀・金として元の地点に置く．例えば受方の持駒に歩があれば，盤上の攻方の成香はと金になり，受方の持駒の歩 1 枚が香 1 枚に替わる．正規化した局面は一意性の判定と局面表の検索にだけ使い，フロンティアには元の駒種のまま残す．この同一視で判定が変わりうるのは，受方が持駒を打つ手が関わる場合である．このため，一意な局面を一意でないと判定して捨てることがあり，その分だけ逆算の網羅性は下がる．逆に一意でない局面を残すこともあるので，最終候補は駒種と持駒を元のまま扱うソルバーで改めて検証する．

逆算探索においては，局面に対してルールベースで課される制約や，ビーム幅による間引きを行うため，網羅性は保証されない．また，先に述べたヒューリスティックにより，調べる局面の解の一意性も厳密な意味では保証されない．よって，最終的な作品候補については改めて完全な一意性検証を行っている（6.2節）．

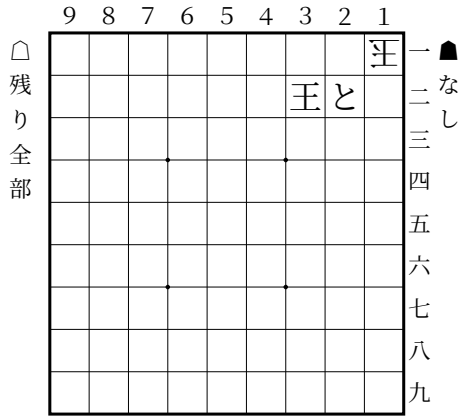


図 2 「狼煙」の詰上がり．受方 1 一玉，攻方 3 二王と 2 二とが残る．

3.2 詰上がりと探索起点の選択

全駒煙の探索に用いた詰上がりは，1 一玉，3 二王，2 二とからなる双玉 3 枚の形である（図 2）．

この詰上がりは，探索の結果を見て人手で選んだものである．単玉のミニ煙の探索を経て，双玉なら詰上がりの形の候補が増えると考え，双玉の 3 枚詰上がりの候補すべてから逆算を行った．得られたログで各層の候補数と到達駒数を目視し，有望と判断した詰上がりを選んで計算を集中した．途中では，有望と判断した中間局面を人手で起点として与えた探索も行っている．

3.3 全幅逆算の限界と駒構成の制約

初形 40 枚を得た探索では，標準の駒一組を超えないことに加え，歩の割合と飛角・香桂の使用時期を制限した．使用駒数を盤上と攻方持駒にある駒の合計とし，歩の割合は，詰みから 6 手以上の範囲で，使用駒数のうち玉以外の駒を分母として 44% 以上とする．成駒は元の駒種に含めて数える．飛角系（飛・角とその成駒）は，使用駒数 n が 31 枚以上のときに限り，盤上に $\lfloor (n-31)/2 \rfloor + 1$ 枚まで許す．香桂系も同様に，31 を 8 に替えた式で許容枚数を決める．また，受方の持駒に歩が残っている間は，攻方の自陣（7〜9 段）に成香・成桂・成銀を置かないこととした．同じ働きのと金で代わりが利く場合に，と金を優先するためである．これらは，完全作への逆算が成立しやすそうな駒種の残し方へ探索を誘導するために設けた制約である．

逆算のフロンティアは深さとともに大きくなるため，これらの制約を課してもなお，全幅探索はメモリ使用量の面で非現実的であった．詰上がりからの全幅探索は，歩の割合 60% 以上，駒を 1〜7 筋だけに置くという最終

© 2026 Information Processing Society of Japan

実行より強い制約（この制約ではそもそも置ける枚数が最大 32 枚）の下で，128 GB の計算機で 38〜39 手付近でメモリが不足した．

そこで，逆算をさらに進めるため，全幅探索からビーム探索へ移った．

4. 探索履歴から学ぶビーム評価

4.1 最大到達駒数を教師値とする

全幅探索から，各層で無作為に選んだ 10^5 局面だけを残すビーム探索へ移ると，初形 30 枚の煙詰まで到達した．さらに，有望な局面を多く残すため，ある局面から逆算を続けたときに到達できる最大駒数を予測する評価関数を学習した．目的は 40 枚に届く局面をビームに残すことなので，評価もその見込みだけを表すようにした．

局面 s の盤上の駒の枚数（玉を含む）を $\mathrm{pc}(s)$（piece count）と書く．また，s から逆算をさらに進めて得られる前局面のうち，探索で実際に生成し記録したものの集合を $R(s)$ とする．s 自身も含め，教師値を

$$y(s) = \max_{t \in R(s) \cup \{s\}} \mathrm{pc}(t) \tag{1}$$

と定める．これは，探索で実際に見つかった範囲で，その局面からどこまで駒数を増やせたかを表す値である．ビームで落とした局面や最終層の局面は前局面を展開していないので，教師値はその局面自身の駒数になる．つまり $y(s)$ は過去の探索が展開した範囲での下界であり，学習資料にはビームで落とした局面も含まれるので，モデルは過去のビームの選択の傾向も学びうる．

当初は，探索で得た初形側の局面（各手数の最多駒数の局面と，フロンティアからの標本）から一意な解を詰みまでたどり，その経路上の各局面に，たどり始めた局面の駒数を教師値として与えていた（複数の経路が通る局面には最大値）．ところが，ある局面に複数の逆算先があると，たどらなかった枝で発見済みの大きな駒数が教師値に反映されない．そこで，生成した局面の親子関係を記録し，探索済みグラフの全前局面から式(1)を集計するよう変更した．深い側から値を伝播すれば，直接の逆算先を $C(s)$ として

$$y(s) = \max\bigl(\mathrm{pc}(s),\ \max_{t \in C(s)} y(t)\bigr)$$

で計算できる．この変更は，すでに探索で得ていた情報を教師値に漏れなく反映させるためのものである．予測の精度は，同じ残り手数・同じ盤上駒数の局面の群ごとに予測値と教師値の順位相関（Spearman）を求め，群の局面数で重み付けて平均した値で測った．5 分割の交差検証では，同じ最多駒数局面への経路上の局面が学習側と評価側に分かれないよう，逆算で到達した各手数の最多駒数局面のうち最も初形側のものの手数が等しい局面をまとめて分けた（到達しない局面は 1 局面ずつ分けたので，似た局面が両側に入りうる）．旧教師値で学習したモデルは旧教師値に対して 0.264，新教師値で学習したモデルは新教師値に対して 0.494 であった（新教師値は 762 万局面と 1570 万の親子関係から作成）．両者は正解とする教師値と学習資料が異なるため，0.494 は，新しい教師値も局面の特徴から順位をある程度予測できることを示す参考値として扱う．

表 1 特徴量の構成．王手数の 1 特徴は通常設定で無効．

分類	次元	例
進行度・駒総数	6	残り手数，盤上・持駒総数
盤上の駒種	28	14 駒種の先後別枚数
持駒の駒種	14	7 駒種の先後別枚数
玉の位置・包囲	10	玉座標，近傍の駒と利き
盤面の広がり	8	使用範囲，歩の筋数
玉の自由度	8	空きマス，2 手先の余地
配置の散らばり	10	重心距離，外接矩形
攻方の王手数	1	合法な王手の数

4.2 特徴量と選択の多様性

局面から表 1の 85 次元の特徴量を抽出し，その値から教師値を回帰する評価関数を学習した．当初は線形モデルを用い，その後は勾配ブースティング木を用いた（4.1 節の順位相関と，表 3の 35 枚以降の実行は勾配ブースティング木による）．玉の周囲の空きマス，利きの密度，駒の広がりなどは，逆算の余地を数値として与えるための特徴である．攻方の王手の数を数える 1 特徴は計算が重いため，通常の設定では 0 に固定した．公開された最終モデルは 300 本の木からなる[17]．

評価値の上位だけを残すと，よく似た局面にビームが偏ることがあった．そこで，予測値に乱択を加える方式と，駒数ごとに選択枠を分ける方式を試した．乱択では，局面 s の予測値 $f(s)$ に対して独立な標準 Gumbel 乱数 g_s を用い，

$$f(s) + T g_s$$

を選択のスコアとする．温度 T が 0 なら予測値による貪欲な選択になり，T を大きくすると乱択の比重が増す．f は駒数の単位を持ち，$T > 0$ のとき，この選択は重み $\exp(f(s)/T)$ に比例する確率で，残った局面から 1 局面ずつ非復元抽出するのと同じである[18]．例えば $T = 15$ では，予測値の差が 1 枚なら抽出重みの比は約 1.07，15 枚なら約 2.7 になる．T は 5，15，40 などを試し，到達駒数を見て 15 を選んだ．候補が多い層では，ハッシュ値で選んだ幅の 16 倍までの候補に評価を適用する．駒数ごとの枠では，候補を盤上駒数で分け，各駒数から評価値の高い順に 1 局面ずつ順番に採用して，一部の駒数帯が候補枠を占有するのを抑える．この枠は乱択と併用でき，表 3の 36 枚は両者を併用した実行で得た．

選別方式の違いを見るため，全幅探索の記録と同じ起

© 2026 Information Processing Society of Japan

表 2 最終モデルの構造的寄与率の上位．モデルが各特徴を分岐にどれだけ使ったかを表す．

特徴	寄与率（%）
盤上駒数	22.71
詰みまでの残り手数	7.80
玉と駒重心のチェビシェフ距離	3.69
玉の 2 手先までの逃走余地	3.68
攻方の利きがある玉の近傍マス数	3.50
攻方の利きの盤面総和	3.18
玉近傍の空きマスへの平均被利き数	3.16
玉から 8 方向への空きマス総数	3.15

点・制約で，その記録から旧教師値で学習した線形モデルを幅 5×10^4 のビームに用い，評価値の上位だけを残す選択，$T = 5$ の乱択を加えた選択，無作為な選択を各 1 回比べた（駒数ごとの枠は用いていない）．評価値の上位だけを残す選択は，51 手・21 枚で候補が尽きた．49 手の時点では，$T = 5$ の乱択を加えた選択が全幅探索と同じ 22 枚，無作為な選択が 19 枚であった．28 枚には，乱択を加えた選択が 67 手で，無作為な選択が 71 手で達した．上位だけを残す選択が他の 2 方式より早く止まったのは，ビームが似た局面に偏ったためと考えている．乱択を加えた学習評価と無作為な選択の差は小さかった．

4.3 モデルが利用した特徴の分析

どの特徴が使われたかを把握するため，公開モデルの木構造を調べた．木の形から計算できる次の量を用いた．分岐ノード v の左右の部分木について，葉の予測値の単純平均を $\bar{a}_L, \bar{a}_R$，ノード以下の葉数を m_v，その木の全葉数を m_T とし，

$$q(v) = |\bar{a}_L - \bar{a}_R| \, m_v / m_T$$

をその分岐の特徴に加算した．全特徴の合計で正規化した値を，構造的寄与率と呼ぶ．

結果を表 2に示す．盤上駒数が最大となるのは，教師値が現在の駒数以上であることとも整合する．同じ残り手数・同じ駒数の候補を比較するときには，この二つは一定であり，玉の自由度や配置の広がりを表す特徴が候補間の違いを与える．3〜8 位の寄与率は 3.15〜3.69% とほぼ同程度で，そのうち玉の逃走余地と玉の周囲の空きマス・利きを表す 4 特徴は，広瀬・馬屋原が普通詰将棋の煙詰の評価関数に作家の知見として取り入れた玉の可動域[15] と同じ種類の量である．

5. 39 枚から 40 枚への探索の再設計

5.1 到達駒数の推移

探索構成を変更した際の到達点を表 3にまとめる．学習を導入する前には，3.2節で述べた人手で選んだ中間局面を起点に全幅で探索し，38 枚を得ていた．起点を一つの局面に固定すると，逆算はその局面の前局面に限られるので，詰上がりからの全幅探索より探索範囲がはるかに狭い．40 枚の起点は，3 系列の共通局面という基準で定めた（5.3節）．詰上がりを起点とする探索では，全幅探索で 22 枚（3.3節），無作為なビーム（幅 10^5）で 30 枚を得た．学習評価を導入すると，乱択（$T = 15$）を加えた同じ幅の構成で 35 枚，駒数ごとの枠を併用し幅を調整した構成で 36 枚となった．$T = 15$ では同じ設定でも実行ごとに最大到達駒数が 3〜6 枚程度上下したので，30〜36 枚の差はこの変動と同程度である．ビーム幅は，起点での基本幅から，指定した手数で指定した幅になるよう手数に対して幾何的に増やし，その先も同じ比率で増やして上限で止める．新しい教師値で学習した最終モデルを $T = 15$ で用いると，詰上がりからの探索（基本幅 20 万，残り 75 手で 200 万，上限 500 万）で 39 枚に到達した．

表 3 発見過程の到達点．38 枚の行は学習の導入前の実行で，ほかの行は時系列順である．詰上がりからの全幅探索の行は 3.3節の制約による．

探索構成	起点	駒数
全幅探索	人手で選んだ中間局面	38
全幅探索	詰上がり	22
無作為ビーム（幅 10^5）	詰上がり	30
学習評価と乱択（幅 10^5）	詰上がり	35
駒数ごとの枠を併用，幅を調整	詰上がり	36
新しい教師値の学習評価	詰上がり	39
3 系列の共通局面から再始動	詰みから 42 手の局面	40

表の行の間では，計算資源，中間局面の選択，探索制約，評価関数とその学習資料が同時に変わっている．この表が示すのは，各構成で実際にその駒数の一意解を持つ局面を得たことと，その結果を次の設計に使った順序である．

5.2 多数の初形が同じ手順へ合流する

39 枚の局面が 438 個得られた時点で，解手順を比較した．すべて 107 手詰であり，金類の正規化を行って解手順を比較すると，詰みに至る最後の 82 手を共有していた．差があるのは初形側の 25 手である．438 個の全手順が通る最も初形寄りの共通局面は，詰みまで 82 手，盤上 27 枚であった．一つの実行で得た解の集合について，そのすべての解が通る最も初形寄りの局面を合流点と呼び，その解の集合をこの合流点の系列と呼ぶ．438 個の系列を系列 A とする（図 3）．

解を指す方向には多くの初形が一つの手順へ合流するが，逆算の方向には一つの局面から多くの初形が分岐する．従って，この 27 枚局面を新たな起点にすれば，すでに共有されている 82 手の部分を逆算し直さず，初形側

© 2026 Information Processing Society of Japan

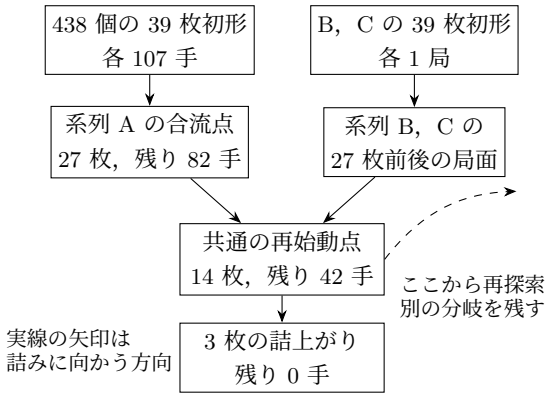


図 3 金類の正規化後の 39 枚解の合流構造と再始動の考え方.

の残りの部分に計算を集中できる．この部分を，同じ駒構成制約と金類の正規化の下で，ビームで間引かずに探索すると，最大は 39 枚だった．別の実行で得ていた 39 枚の初形 2 局（系列 B，C）は，系列 A の合流点を通らず，詰み側の手順の一部だけを系列 A と共有していた．この 2 局も，解手順上の盤上 27 枚前後の局面から初形側を全幅で調べると，最大は 39 枚だった．

これは，調べた局面と，用いた制約・正規化の設定の下での観測である．そこで 40 枚の探索では，既知の 39 枚の系列を延ばす代わりに，より詰みに近い側から別の分岐を探す方針を採った．

5.3 詰みに近い共通局面から再始動する

正規化して比較した三つの 39 枚系列が共通に通る最も初形寄りの局面は，詰みまで 42 手，盤上 14 枚であった．そこでこの局面を起点に戻り，初形側でビーム幅を増やす探索を行った．40 枚に到達した実行では 96 vCPU，768 GB メモリのクラウド計算機を用い（使用メモリのピークは 68 GB，局面表は約 9 億件），基本幅 100 万，残り 75 手で 300 万とし，候補が増える深さに多くの枠を配分した．評価には，39 枚の実行と同じ公開済みの最終モデル（新しい教師値で学習した 300 本の木）を $T = 15$ で用い，駒数ごとの枠は用いなかった．実行は約 8 時間以内に終わった．

この探索により，残り 113 手の位置で 40 枚・持駒なしの局面が 2618 個得られた．探索は 40 枚の発見後も続け，ビームに残した候補から先へ進める局面がなくなった時点で終えた．2618 個は，このビーム実行が保持した候補から得られた 40 枚局面の集合である．2618 個の解手順は，詰みから 82 手の時点でいずれも盤上 25 枚または 26 枚であり，系列 A の合流点（27 枚）も，系列 B，C の同じ手数の局面（いずれも 29 枚）も通らない．

6. 得られた作品と検証

6.1 近縁な候補から作品を選ぶ

2618 個の候補は終盤の手順を広く共有しており，手順に基づく分類では 169 類にまとまる（6.3節）．成駒の種類を置き換えたものや，初形側の配置だけが異なる近縁な候補も多い．

作品の選択では，盤上の成銀・成桂・成香の種類と枚数，馬・龍の種類と枚数，成銀・成桂・成香が敵陣の外にある数，受方玉から盤上の各駒までの距離の和をこの順に辞書式に比べ，小さい候補 3 個に絞った．その後，人手で角の位置を調整し，同じように働く駒をより自然な駒種や成否へ変更して初形を整えた．修正のたびに最短解の一意性を再検証した．図 1はこの仕上げ後の発表図であり，2618 候補のどれとも一致しない．上位 3 個のうち発表図に最も近いものからは，角を 8 四から 7 五へ動かし，8 マスの駒種や成否を変えた．保存候補の中で発表図に最も近いのは別の候補で，違いは 9 マスである（攻方の金類の駒種の入れ替えが 5 マス，攻方のと金を銀にしたものが 1 マス，受方の成駒を元の駒に戻したものが 3 マス）．

なお，初形の 3 七香は，取り除いて受方の持駒に移しても最短解が同じになる飾り駒であり，元にした候補の段階から飾り駒であった．協力詰の煙詰では飾り駒があっても作品の価値は認められるが，飾り駒のない条件で何枚消せるかも追求に値するとされている[8]．全駒煙の条件は 40 枚すべてが盤上にあることであり，飾り駒があっても条件は満たす．一方，飾り駒のない全駒煙も得られている．同じ基準で fmrs のソルバーを用いて各駒を一つずつ取り除いて調べると，2618 候補のうち 2576 個は飾り駒を 1 枚（1 五香または 3 七香）含んでいたが，42 個には飾り駒がなかった．6.3節で述べる 115 手の 67 個にも，飾り駒はなかった．飾り駒の有無は，作品の発表後に本稿のために調べた．これらのうち 2 個（2618 候補と 115 手から 1 個ずつ）は，独立の幅優先探索でも，どの駒を取り除いても最短解が変わることを確かめた．

本作の全手順を表 4に示す．

6.2 検証が保証する範囲

発表図の一意性は，神無次郎氏による独立の検討ソフト fm でも確認した[19]．この探索も 1 解 113 手を返し，手順は fmrs の結果と一致した．

発表図の SFEN（局面の文字列表記），探索コード，学習済みモデルおよび特徴分析コードは公開リポジトリで参照できる[17]．保存された 2618 候補も原局面のまま再検証し，すべて 1 解 113 手，標準の駒一組による 40 枚初形と，攻方の持駒が残らない 3 枚の詰上がりを確認した．

6.3 共通構造と起点を戻した探索

この探索で得られた 40 枚候補は終盤を共有しており，候補間の違いは初形側に集中する．探索がどれだけ異なる作品構造を見つけたかを見るため，初形の個数に加え

© 2026 Information Processing Society of Japan

表 4　「狼煙」の 113 手の解手順．数字は開始手数．

1	６七銀　同成香　５七銀打　同成香　同飛　同金　同飛　同と　６七金打　４七玉
11	５七金　３七玉　４七金　同と　４八角　同と　同角　同玉　４九香打　５八玉
21	５九香打　６八玉　６九歩打　６七玉　６八歩　６六玉　６五と　同玉　６四銀成　同玉
31	５四と　６五玉　６四と　６六玉　６七歩　同玉　６八歩打　同玉　６九歩打　７九玉
41	８九金　６九玉　７九金　５九玉　６九金　４九玉　５九金　３九玉　４九金　２九玉
51	１九金　同玉　１八金　２九玉　３九金　１八玉　２九金　１七玉　１八金　１六玉
61	１七金　同玉　１八歩打　２八玉　２九歩打　２七玉　２八歩　１六玉　１七歩　１五玉
71	１四と　同玉　２六桂打　同歩　同桂　１五玉　１六歩　２六玉　２七歩　２五玉
81	２六歩　１四玉　１五歩　１三玉　１四歩　同と　１二と　２四玉　２五歩　３四玉
91	３五歩打　４五玉　４六歩打　４四玉　４五歩　５五玉　５四と　４五玉　４四と　３五玉
101	３四と　２五玉　２四と　１五玉　１四と　同玉　１三と　同玉　１四歩打　１二玉
111	１三歩成　１一玉　２二と

て，手順に基づく分類を併記した．保存された 2618 候補を改めて集計すると，受方玉の位置の列は全候補で一致し，攻方が取る駒種の列は 146 通り，受方が駒を取る位置の列は 6 通りであった．これらを組み合わせた組が 169 類である．さらに，手数カウンタを除く盤面・手番・双方持駒をそのまま比較すると，最後の 43 手が全候補で共通していた．このうち 42 手は，起点が詰みから 42 手の局面であることによる構成上の共通部分で，それより初形側では 1 手が共通していた．従って，169 類は互いに，同じ玉の追い方の上で初形側の駒の取り方が異なる．

後に，起点を詰みから 34 手・盤上 11 枚の局面まで戻した探索（幅を 200 万から始め，残り 75 手で 1000 万，上限 3000 万）では，40 枚局面が 109 手で 92 個，113 手で 6765 個，115 手で 67 個得られた．同じ起点から幅を小さくした別の実行（基本幅 20 万，残り 75 手で 150 万，上限 300 万）でも 113 手の 40 枚局面が 1084 個得られ，そのうち 2618 候補と重なったのは 36 個であった．115 手の 67 個と別の実行の 1084 個は保存し，元の駒種のまま fmrs のソルバーで再判定して，すべて最短解が一意と確かめた．109 手と 113 手の件数は逆算時の判定（金類の正規化あり）によるもので，再判定は保存した代表の各 1 局面だけである．これらから，40 枚局面は 2618 個のほかにも多数あり，115 手のものもあることが分かる．

6.4　豆腐図式の煙詰

同じ逆算探索と検証は，候補を間引かずに尽くせる規模の問題なら，初形の最大枚数を確かめるのにも使える．その例として，盤上の駒が玉と歩・と金だけの豆腐図式の煙詰に適用した．詰上がりを 3 枚（受方玉を 5 五で詰める双玉の都詰では 4 枚）とし，玉・歩・と金だけの詰上がりをすべて列挙して，ビームによる間引きをせずに逆算候補が尽きるまで探索した．攻方の王手は歩・と金による隣接王手に限られ，合駒が生じないので，解手順の全局面で盤上を玉・歩・と金に限っても，すべての候補を調べられる．初形の最大枚数は，単玉で 11 枚（29 手），双玉で 16 枚（53 手），双玉の都詰で 12 枚（27 手）であった．それぞれの初形の例を図 4に示す．初形に攻方の持駒（歩に限る）を許して盤上と持駒の合計で数えても，最大枚数は変わらなかった．最大局面の最短解が一意であることは，全局面について fmrs のソルバーで，一部の局面について独立の幅優先探索で確かめた．これらが最大であることは，逆算探索がすべての候補を尽くしたことに基づく．

7.　考察

7.1　人間と計算機の役割

本事例では，計算機が合法な逆算候補を大量に生成し，その解を検証した．人間は，詰上がりと中間起点を選び，探索の停滞を調べ，評価の教師値と探索範囲を変更した．最後には作品の初形を選び，駒の配置と成否を整えた．このように本成果は，探索結果を人が解釈し，その結果を設計にフィードバックする計算機支援創作といえる．

本事例で探索の方針を変える契機になったのは，最大駒数に加えて，得られた解の集合の構造を調べたことである．39 枚の初形が多数あっても，後半の手順が同じなら，探索していたのは一つの系列だけである．合流点の先を全幅で調べても 39 枚にとどまったことが，より詰みに近い局面から分岐を探す方針に変える根拠になった．これは，各局面の評価だけでは見えにくい，解の集合の性質を使った設計変更である．

7.2　一般化に向けた課題

本手法を別の創作課題に適用することは必ずしも容易ではない．逆算は，煙詰という課題に極端によく適合する手法であり，その他の課題に無条件で適用できない．また，最大到達駒数という教師値は全駒煙の目標には沿うが，趣向や意外性，長手数などを重視する作品では目的に合わせた評価が必要になるであろう．

© 2026 Information Processing Society of Japan

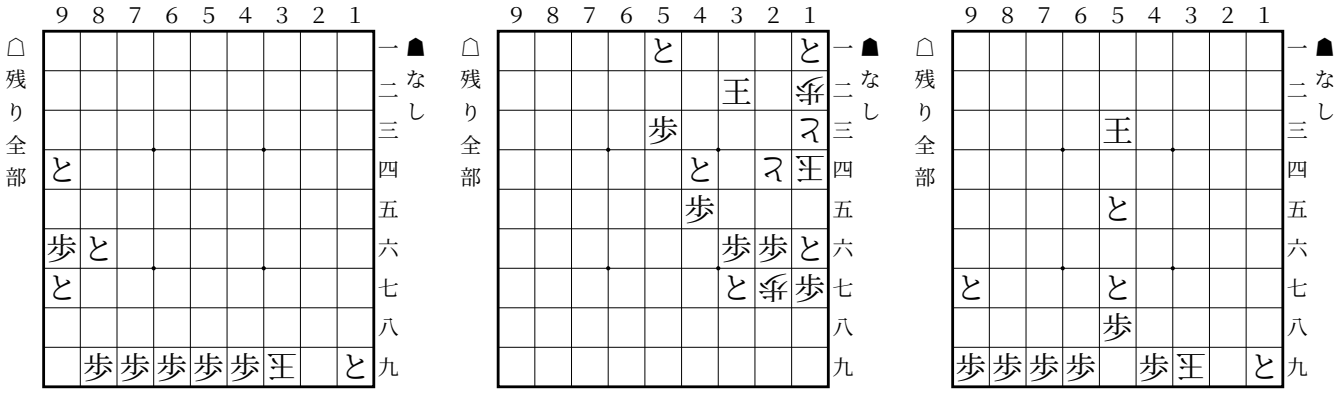


図 4 豆腐図式の煙詰で初形の最大枚数を達成する例．いずれも攻方持駒なし，受方持駒は残り全部．

謝辞

『詰将棋パラダイス』での特別出題を担当され，進捗報告のたびに励ましをくださった神無七郎氏に感謝します．

参考文献

[1] ウィキペディア日本語版：煙詰，版 109577244（2026-05-18）．https://ja.wikipedia.org/w/index.php?oldid=109577244（参照 2026-10-19）．
[2] 伊藤看寿：将棋図巧，第 99 番（1755）．
[3] TETSU：記録展示室 No.56，詰将棋おもちゃ箱．https://www.ne.jp/asahi/tetsu/toybox/challenge/ct056.htm（参照 2026-10-12）．
[4] TETSU：看寿賞作品の煙詰率，詰将棋メモ（2015）．https://toybox.tea-nifty.com/memo/2015/07/post-9f8e.html.
[5] TETSU：協力詰の煙詰，詰将棋メモ（2004）．https://toybox.tea-nifty.com/memo/2004/10/post_23.html.
[6] mozuyama：ばか煙，勝手に将棋トピックス（2004）．https://mozuyama.hatenadiary.org/entry/20041024/P20041024BAKAKEMURI.
[7] たくぼん：緩募！ナンマイダ〜コンテスト，Web Fairy Paradise，No.186，p.78（2023）．https://tsume-springs.com/web-fairy-paradise/WFP186.pdf.
[8] 神無七郎：第 182 回 WFP 作品展結果，Web Fairy Paradise，No.218，pp.28–34（2026）．https://tsume-springs.com/web-fairy-paradise/WFP218.pdf.
[9] 神無七郎：神無一族の氾濫，第 19 回（2003）．https://k7ro.sakura.ne.jp/overflow/hr19.htm（参照 2026-10-12）．
[10] スマホ詰パラ：詰将棋のルール．https://aws.tumepara.com/tsp/webs/rule（参照 2026-10-12）．
[11] 駒井めい：フェアリー詰将棋の細かなあれこれ，note（2025）．https://note.com/meikomai_tsume/n/n33ff86cfbe6b（参照 2026-10-12）．
[12] 神無七郎：WFP 作品展登場ルール一覧，Web Fairy Paradise（2026）．https://tsume-springs.com/web-fairy-paradise/wfprule.pdf（参照 2026-10-12）．
[13] 広瀬正幸，伊藤琢巳，松原仁：逆算法による詰め将棋の自動創作，人工知能学会誌，Vol.13，No.3，pp.452–460（1998）．
[14] 星由雄，野下浩平，柳井啓司：反復深化探索に基く協力詰将棋の解法，情報処理学会論文誌，Vol.43，No.1，pp.11–19（2002）．
[15] 広瀬稔，馬屋原剛：独自の評価関数に基づいた煙詰の自動生成，情報処理学会研究報告，Vol.2026-GI-57，No.4，pp.1–8（2026）．
[16] 黒瀧大地：深層学習を用いた逆算法による詰将棋の自動創作，第 66 回プログラミング・シンポジウム予稿集，pp.103–111（2025）．https://prosym.org/66/program.html.
[17] Oka, K.: fmrs，公開コード・作品・解析資料．https://github.com/ogiekako/fmrs（参照 2026-10-09）．資料の参照版は main の 546167f，求解に用いた公開版は gh-pages の 24a372d．作品再生：https://ogiekako.github.io/fmrs/noroshi.
[18] Kool, W., van Hoof, H. and Welling, M.: Stochastic Beams and Where to Find Them: The Gumbel-Top-k Trick for Sampling Sequences Without Replacement, *Proc. ICML*, PMLR 97, pp.3499–3508 (2019).
[19] 神無次郎：fm．https://k7ro.sakura.ne.jp/fm.html（参照 2026-10-09）．

© 2026 Information Processing Society of Japan