

Title	不完全情報ゲーム『ガイスター』における2種の詰め問題の提案と考察
Author(s)	石井, 岳史; 川上, 直人; 橋本, 剛; 池田, 心
Citation	情報処理学会研究報告. GI, 研究報告ゲーム情報学, 2019-GI-41(19): 1-8
Issue Date	2019-03-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/16081">http://hdl.handle.net/10119/16081</a>
Rights	<p>社団法人 情報処理学会, 石井 岳史, 川上 直人, 橋本 剛, 池田 心, 情報処理学会研究報告. GI, 研究報告ゲーム情報学, 2019-GI-41(19), 2019, 1-8. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p>
Description	

## 不完全情報ゲーム『ガイスター』における 2種の詰め問題の提案と考察

石井岳史<sup>†1,a</sup> 川上直人<sup>†2,a</sup> 橋本剛<sup>†2,b</sup> 池田心<sup>†1,b</sup>

**概要:** ボードゲーム『ガイスター』は6×6のボード上で青赤2種8つの駒を交互に動かし、「脱出」「青駒全取り」「赤駒全取られ」のいずれかを狙う、対戦相手の駒の色がわからない2人用不完全情報ゲームである。

不完全情報ゲームであるという点から運が影響しやすいが、駒の動きから非公開駒の種類を予測するなど心理戦の要素も多い。本ゲームにおいて上達するためには終盤の駒の動かし方について学ぶことが重要である。そこで詰将棋のような『詰めガイスター問題』を提案、実際に生成し有効性の考察を行うことで、対戦相手がいなくても初心者がガイスターに触れ、学ぶことができる環境の提供を目指す。本研究では通常のガイスターのルールに則った一般問題と、対戦相手の一部の駒を公開することで実戦での駒の種類予測を反映するような一部公開問題の2種を提案・考察する。一般問題では限られた勝利条件の問題しか生成できず、直感的に解くことができる問題が多かった。一部公開問題では、一般問題では生成できなかった青駒全取り問題を生成でき、アンケートでも高い評価を得ることができた。

**キーワード:** ガイスター, 詰め問題, コンテンツ生成

### Two Puzzles of Incomplete Information Game "Geister" and their Procedural Generation

TAKEFUMI ISHII<sup>†1,a</sup> NAOTO KAWAKAMI<sup>†2,a</sup>  
TSUYOSHI HASHIMOTO<sup>†2,b</sup> KOKOLO IKEDA<sup>†1,b</sup>

#### 1. はじめに

近年、ハードウェアや新たなアルゴリズムの提案により、ゲームにおける人工知能の発展は目覚ましい。特に Google 社が開発した『AlphaGo[1]』が世界ランキング首位のプレイヤーに勝利するなど、囲碁を始めとした完全情報ゲームでは大きな成果を挙げている。そういったエージェントの AI の研究が隆盛する一方で、人間を楽しませるコンテンツを生成する AI についての研究も行われている。例として石飛らが楽しさに重きを置いた詰将棋問題の自動生成[2]について研究している。そのように将棋などの完全情報ゲームについての研究が行われている一方で、不完全情報ゲームにおけるユーザーを楽しませる研究やコンテンツ生成についての研究は比較的に数が少ないと感じる。

世界的に親しまれている将棋やチェスなどのボードゲームに近いルールを持ちながら、不完全情報ゲームである『ガイスター (Geister) [3]』というボードゲームがある。ガ

イスターは2人で行う不完全情報ゲームで、互いのプレイヤーが2種4個ずつの駒を用い、特定の勝利条件の達成を目指すものである。駒の動かし方などは一見将棋やチェスに似通っているが、それらのゲームと違い対戦相手の駒の種類がわからないようになっている。そのため、このゲームでは対戦相手の駒の種類をそれまでの動き等から予測しながら自分の駒を動かさなければならない。そのことから、シンプルなルールでありながら心理戦の要素が多い。ガイスターにおける研究は多々報告されているが、強さや効率の良い探索法や駒の種類の見出し法を追求するもの[4][5][6][7]が多く、ユーザーを楽しませるといった観点の研究は確認できない。先行研究に関しては2.2で後述する。

このゲームを始めただけの初心者にとって、対戦相手の駒の予測や自分の駒を誤認させるテクニックなどの、上達するための技術を身に付けることは難しい。さらには、様々な盤面を想定しながら次の動きを考えなければならないため考えることが多く、本来では勝利が確定している盤面の見逃しなどが発生しうる。これらのことから初心者は理詰めよりも運や心理戦に頼りがちで、そのことが成長を困難にさせる。ボードゲームは対戦相手がいなくてもプレイできないということから、回数をこなして成長することも期待できない。そのため、成長を容易にするためにも、練習や教育のような技術向上支援を行う環境の提供が必要と

†1 北陸先端科学技術大学院大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology

a) s1810010@jaist.ac.jp

b) kokolo@jaist.ac.jp

†2 松江工業高等専門学校

National Institute of Technology, Matsue College

a) keimahatokusyu@gmail.com

b) hashimoto@matsue-ct.jp

なる。将棋において詰将棋というコンテンツがある。これは将棋を題材としたパズルであり、娯楽と実戦における技術力向上の手段として用いられる。同じボードゲームであるガイスターにおいてもこのようなコンテンツは有用だと考えられる。

本研究の目的は、ボードゲーム『ガイスター』における詰め問題2種の提案と考察である。本研究で生成する問題は詰将棋などのような『詰め問題』であり、対戦相手の駒についての情報を完全に非公開とした『一般問題』と、一部の駒を公開することでより実践的とした『一部公開問題』から成る。一般問題は情報を非公開とすることで実際のガイスターのルールに近づけイメージしやすい問題となっている。対して一部公開問題は対戦相手の駒の一部を公開し、ゲーム中盤終盤における対戦相手の駒の色予測を反映したような問題となっている。

本稿はガイスターの説明、関連する先行研究、詰めガイスター問題の定義と各勝利条件の考察、詰め問題の生成アルゴリズムの説明、生成された問題の例と考察、まとめから成る。

## 2. ガイスターとは

### 2.1 ガイスターの概要

ガイスター (Geister) は、2人のプレイヤーが青駒と赤駒、2種類の駒をそれぞれ4つずつ用いて遊ぶ、幽霊を題材とした不完全情報ゲームである。本稿ではガイスターの盤面を図1のように表現する。自身の駒は対戦相手側から見ると全て同様の真っ白な物に見え、自分から見ると着色されている部分が見える。よって、各プレイヤーは自身の駒色を確認することはできるが、対戦相手プレイヤーの駒色を確認することはできない。盤面は縦横に6マスずつ合計36マスとなっており、自身から見て一番奥の左右端マスをそのプレイヤーの脱出口としている。各プレイヤーはゲーム開始前に駒の初期配置として、盤面の自身側縦2マス横4マス合計8マスに所持している8駒を自由に配置する。各プレイヤーは自身の手番で盤面に配置してある自身の駒のうち1つを縦横4方向のいずれかに1マス動かす。自身の駒が既にある方向に動かすことはできないが、動かした先に対戦相手の駒があればそれを取ることができる。取った駒の種類は確認してよい。そうして勝利条件を目指して手番をお互いに繰り返す。勝利条件は以下の3種類となっている。

勝利条件 1. 青駒を脱出させる。(脱出口に辿り着いた上で、もう1手番使うことで盤面の外に出すことができる)

勝利条件 2. 青駒を全て取る。

勝利条件 3. 赤駒を全て取らせる。

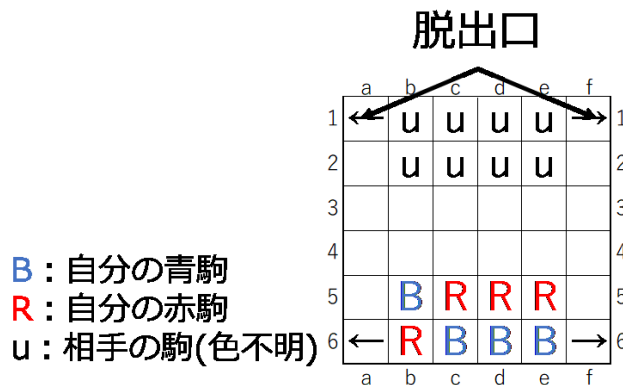


図 1 ガイスターの盤面表現

このゲームは自身の駒色を相手に悟られないように動かし、うまく勝利条件を満たすことが重要である。そのためシンプルなルールでありながらも、論理だけではなく勘やハタリを駆使した複雑な心理戦になることが多い。

### 2.2 先行研究

ガイスターに関する先行研究は、ユーザーを楽しませるという観点のものを見つけることができなかったがその他様々なものが行われている。

末續・織田はルールベースを用いて行動を決定する AI を開発した[4]。これは対戦相手駒の青らしさをそれまでの動きから評価し、それを基に予め決められたアルゴリズムで行動を決定するというものである。

佐藤は強化学習を用い、自己対戦を繰り返すことで行動価値関数を改善し、強い AI を開発することを試みた[5]。結果、AI が序盤の定石やブラフを指すことができるようになるなどの結果が得られている。

川上・橋本は完全情報ゲームとしての探索を行うことで強さが向上されるかを検証した[6]。結果、紫駒を用いた必勝判定法[5]も合わせり強力な AI となった。

Sehar らは機械学習を用い対戦相手の駒色の予測を行った [7]。競技リプレイデータから特徴を抽出し、様々な機械学習アルゴリズムを適用して推論した結果、高い精度を実現した。

## 3. 詰めガイスター問題

### 3.1 詰めガイスター問題の背景

ボードゲームにおけるコンテンツとして、将棋を題材にした『詰将棋』や、チェスを題材にした『チェスプロブレム』が存在する。特に詰将棋は人気もあり、世間に広まっている。実際の対局での技術向上を図ることもでき、トップ棋士もトレーニングに使用しており、特に藤井聡太七段は得意にしていることが有名である。一方でガイスターにおいて問題のようなコンテンツは広く用いられていない。詰将棋の例もあり、ガイスターにおいて実力をつけるため

に問題をプレイヤーに解かせることは非常に有用だと考えられる。

### 3.2 詰めガイスター問題の定義

詰めガイスター問題を定義する前に、広く普及されている詰将棋を比較対象として挙げる。一般的な詰将棋と通常の将棋の違い点として、王が存在するのは相手側のみで、自分側が詰まされることは想定しなくてもよい、持ち駒を使い切るように設計する必要がある、最短の勝ち方が本質的に一通りになるように設計しなくてはならない、などの点が挙げられる。これは詰将棋が実用性だけでなく、美しさを求められた結果、実戦とは異なる特徴を持たせられたためだと考えられる。

それに対し、今回提案する詰めガイスター問題はユーザーに解いて楽しんでもらうことと実力を向上させることを重視する。そのため前述した詰将棋特有の特徴を持たせる必要はなく、より実践的かつ高い自由度を持たせて設計することができる。以上のことより、本研究における詰めガイスター問題を以下のように定義する。

詰めガイスター問題はボードゲーム『ガイスター』のルールを用いたパズルであり、通常のガイスターのルールに加え以下のルールを持つ。

- ・ 先手側が勝利する最短の手順を見つける。
- ・ 問題として盤面、後手側の青赤それぞれの駒数、最短の手数が公開される。
- ・ 最善、最短手順は複数種類ある場合がある。
- ・ 問題には必ず先手側の必勝手が存在する。

この問題において、先手側の目的は非公開である後手駒のどんな色組み合わせであろうと、どんな行動であろうと勝利条件を満たすことができる最短の手順を探すことが目的となる。

本研究では大きくわけて2種類の問題を生成する。1つは後手側の駒についての情報を完全に非公開とした『一般問題』で、もう1つは一部の駒を公開することでより実践的とした『一部公開問題』である。一般問題は後手側の色組み合わせの情報を非公開とすることで実際のガイスターのルールに近づけた問題となっている。対して一部公開問題は後手側の駒色を一部公開し、ゲーム中盤・終盤における対戦相手の駒の色予測を反映したような問題となっている。

以降、詰めガイスター問題は図2のような形で表現する。盤面上部には後手側の残駒数と最短の手数を表示している。残駒数は青が**b**、赤が**r**である。盤面には先手側駒として青赤それぞれを**B**と**R**、後手側の色不明駒を**u**としている。

対戦相手駒				手数	
<b>b</b>	1	<b>r</b>	2	5手	

	a	b	c	d	e	f	
1	←				u	u	→
2					R	B	
3		u					
4							
5							
6	←						→
	a	b	c	d	e	f	

図2 詰めガイスター問題の例

### 3.3 各勝利条件の考察

ガイスターには前述した3種類の勝利条件がある。それらについて詰めガイスター問題の視点から考察する。

勝利条件1. 青駒を脱出させる。

この条件は後手駒の色組み合わせに依存しないので、一般問題、一部公開問題の両方においてこの勝利条件を満たす問題を作りやすいと言える。

勝利条件2. 青駒を全て取る。

詰めガイスター問題は後手駒の色組み合わせに依存されない手順を見つけなければならない。そのため、最悪な状況を想定する必要がある。後手駒を取った場合、それは赤駒であるとして考えなければならない。つまり一般的な問題である一般問題においては、先手側がこの条件を満たす前に必ず後手側に勝利条件3を満たされることになるため、この勝利条件で問題を生成することは不可能である。なお、例外的にこの条件を使用できる問題の提案を5.2.3で行う。

勝利条件3. 赤駒を全て取らせる。

後手側の手順は最善、最長を目指すものを考えることになる。そのため先手側に勝利条件3を満たされないような手順を取る。つまり先手側の駒を取らなければよいため、この勝利条件のみを達成するような問題を生成することは不可能である。しかしながらこの勝利条件を利用することで後手側の行動を制限することは可能である。例として図2のような問題の場合、直接的に脱出(勝利条件1)を目指すのであればf2の自分の青駒(B)を右上の脱出口f1に向かわせるのが最適に見える。しかしその駒をf1に動かすと、e1の後手側の色不明駒(u)がf1に移動して最後の青駒を取られ負けてしまう。一方、ここで1手目としてe2の赤駒(R)をe1に動かしてみると、先ほどの手順で先手側の青

駒を取ることができた後手側の駒を取ることができるため、青駒の脱出の支援をすることができる。そして、もし後手側が d1 の色不明駒を e1 に動かしてしまうと先手側の最後の赤駒が取られ先手側が勝利条件 3 を満たしてしまう。かといって赤駒を乗り越えようと遠回りしているとその間に青駒が脱出してしまふ。そのため先手側の勝ちとなる。

### 3.4 詰めガイスター問題の生成

以上のことを踏まえて問題を生成する。従来研究において、詰将棋問題を生成した広瀬らは詰め手順の逆算により芸術性を評価する機構を組み込んだ自動創作システムを構築している[8]が、本手法では盤面生成の簡易的な手法として、ランダム性を持たせた生成を行う。生成された盤面は必勝手が存在する盤面でなければ問題とすることはできないため、必勝手が存在するかの探索を行う必要がある。そして探索を行った後、必勝手が存在するとされた盤面から特定の条件をかけることで問題として相応しいものを絞り込む。

## 4. 自動問題生成アルゴリズム

本研究での詰めガイスター問題生成アルゴリズムについて述べる。本アルゴリズムは大きく分けて以下のようになる。

### 4.1 盤面のランダム生成

入力として、先手側と後手側の各駒数を指定し、図 3 のような配置および色組み合わせをランダムとした盤面を生成する。この際、勝利条件 1 が即満たされないように先手側の青駒は脱出口に配置されないようにする。

### 4.2 必勝手の探索

盤面から必勝手を探索する、本手法では探索手法として  $\alpha\beta$  法を用いている。さらに、探索に紫駒[5][6]の概念を導

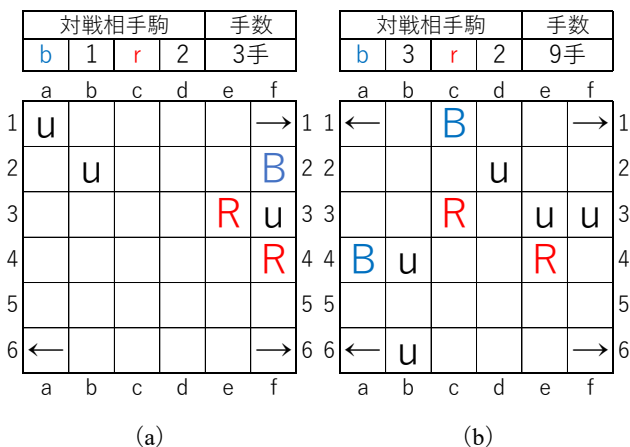


図 3 ランダム盤面の例

入する。詰めガイスター問題は不完全情報ゲームであるという点ゆえに考えられる色組み合わせを全て探索する必要があるように思えるが、後手側の駒の色組み合わせに依存しない必勝手があることを証明するためには、最悪の駒色組み合わせのみを考えるだけでよい。つまり先手側が後手側の駒を取ればその駒は赤色、後手側の駒が脱出すればその駒は青色であると考えてもよい。このように最悪の状況に変化する駒を紫駒とし、後手側の駒全てを紫駒とすることで完全情報ゲームとして扱うことができる。こうすることで一種類の盤面のみ探索すればよいので探索コストを大幅に削減することができる。

### 4.3 様々な条件による絞り込み

以上の手法により盤面を生成したが、その殆どが 3 手や 5 手などの少ない手数の問題や、単純に脱出口に一番近い青駒が真っ直ぐ向かうだけの問題であった。そのため簡単・単純すぎる問題などを意図的に外すべく、盤面に様々な条件をかけ絞り込むことで狙った問題を生成する。本研究で用いた条件は以下のものである。

- 手数に下限を設ける
  - 最短手数が一定数に満たない問題を切り捨てる。
- 直行防止
  - 脱出口に一番近い先手側の青駒が真っ直ぐ向かうだけの問題を切り捨てる。その青駒と脱出口間のマンハッタン距離を測定し、最短手数と比較することで識別する。
  - 上記の 2 つの条件を用いて問題を生成したところ、様々な手数・手順の問題が生成されたが、勝利条件 1 のみを利用した問題が殆どであった。そこで問題に多様性を持たせるべく以下の条件を追加し、勝利条件 3 を利用した問題を生成した。
- 赤駒を壁として利用

3.3 の勝利条件 3 考察で述べた、赤駒を利用することで後手側の行動を制限する問題を生成する条件。通常通り必勝手を探索した後、先手側の赤駒を全て青駒に変化させ再探索させる。そうして最短手数が増えるか必勝でなくなれば赤駒の特性を利用している問題として、この条件を満たしているとする。

さらに、勝利条件 2 を満たす問題を生成する条件も追加したが、こちらについては 5 章で追記する。

以上のアルゴリズムにより生成された盤面を問題として出力する。

## 5. 生成された問題と考察

自動問題生成アルゴリズムにより生成された問題の特徴によって問題セット 1、問題セット 2 と大別して紹介する。



### 5.1 問題セット 1 (一般問題)

実際のガイスターのルールに則り、後手駒の情報を非公開とした詰め問題を作成した。一般問題は原理上、勝利条件 2 を利用した問題や、勝利条件 3 のみを用いた問題は生成されない。そのため勝利条件 1 を目指す問題のみとなる。先手側の青駒を脱出させることで勝利する「青駒脱出問題」と、それに先手側の赤駒を利用する要素を追加した「赤駒壁利用問題」に大別して紹介する。

#### 5.1.1 青駒脱出問題

勝利条件 1 を満たす問題で、主に手数の下限や直行防止の条件を用いて生成された。以下に生成された問題 (図 4) と解き方を示す。

図 4 (a) の問題を見てみると、脱出口に近い e2 の青駒を脱出させることが目標だと予想できる。さらに先手側の一番脱出口に近い駒 e2 よりも、a6 の後手駒の方が脱出口に近いことがわかる。このことから、後手側の脱出を阻止しつつ、先手側の青駒を脱出させる問題であることが予想できる。手順としてはまず a5 の赤駒を a6 に移動させる。そうすると後手側の a6 駒を取ることができ、眼前の脅威はなくなる。後手側が次に脱出口に近い a4 駒を a5 に移動してきても、次の手で b5 青駒か a6 赤駒を用い、取ることができ。詰めガイスター問題における最短手数は後手側の動きによって一番引き延ばされた場合になるため、後手側は a4→a5 と動かし、先手側は b5 (a6) →a5、その後 e2 の青駒を f1 の脱出口から脱出させればよい。これで 9 手である。このようにある程度の深さで探索し直行防止を追加すれば、ただ脱出口に向かうだけでなく後手側の脱出防止などの要素が入った問題が生成されやすくなる。

図 4 (b) の問題を見てみると、d1 の青駒を脱出させる問題であることがすぐに予想できる。しかし、青駒が一番近い脱出口である f1 に隣接している f2 に後手側の駒があるため、真っ直ぐに向かうわけにはいかない。一方、もう片

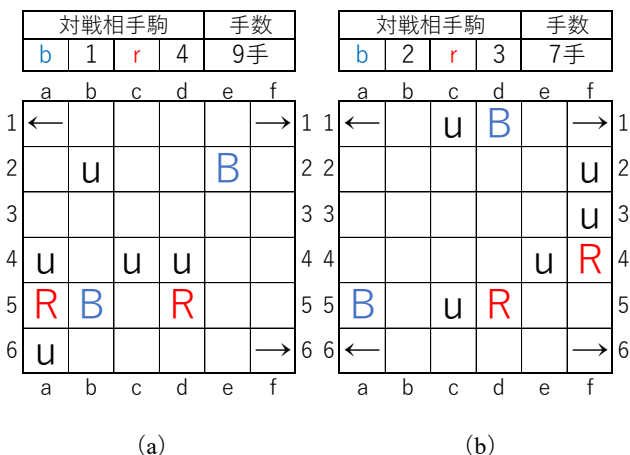


図 4 問題セット 1, 青駒脱出問題の例

方の脱出口である a1 には障害もなく簡単に向かえてしまう。c1 に後手側の駒があるが、初手で青駒によって取ることができてしまい、そのまま真っ直ぐ脱出口から脱出できる。このように、ただ一番近いだけの脱出口ではなく他のルートを探す必要があるような問題も生成された。

#### 5.1.2 赤駒壁利用問題

勝利条件 1 と勝利条件 3 を組み合わせた問題で、先手赤駒の最後 1 つを壁として利用する問題である。前述した赤駒を壁として利用する条件を用いると意図的に生成することができる。以下に生成された問題 (図 5) と解き方を示す。

図 5 (a) の問題を見てみると、脱出口に近い a3 の青駒を脱出させること、a6b6 の後手側の駒を脱出させないことが目標だと予想できる。まずは a6 駒の脱出を阻止するべく赤駒を a5 から a6 に移動させて後手側の駒を取る。次に後手が b6 から a6 に移動させてしまえば先手側の駒は取られ、そのままゴールされるように思えるが、取られる赤駒は先手側最後の赤駒であるため、勝利条件 3 を満たされ後手側は敗北してしまう。そのため、取ることはできず f6 の脱出口を目指さざるを得なくなる。このように、最後の赤駒を脱出口に置き、蓋をする戦法は実戦でも有効であり後手の行動に大きな制限をかけることができる。

次に図 5 (b) の問題を見てみる。一見して a2 の青駒を a1 から脱出させることを目指すことが予想できる。しかし、b1 に後手側の駒があるため、脱出口に直行すれば取られてしまう。そのため脱出口に移動する前に b1 の駒を取るか移動させる必要がある。ここで先手側の赤駒は最後 1 つであるため、取られると勝利条件 3 を満たすことを利用する。赤駒を c3 から c2, c1 と動かしていくことで b1 の駒を取ることができ。その間、後手がどう b1 の駒を動かそうとも、先手側は赤駒か a2 の青駒で取ることができ。そうして b1 の駒を取った後、a2 の青駒で a1 から脱出すればよい。

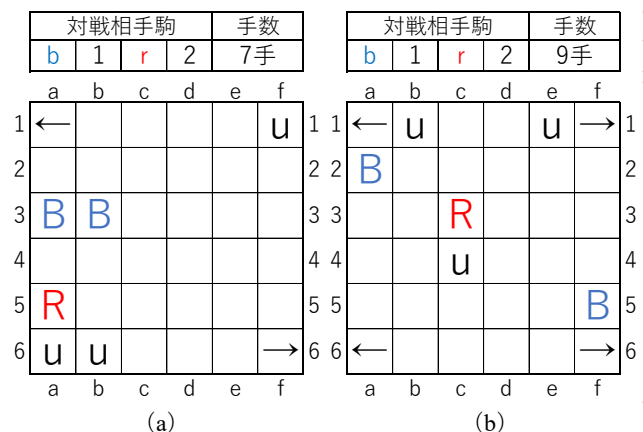


図 5 問題セット 1, 赤駒壁利用問題の例

このように、取られることがメリットになる最後の赤駒を後手側の駒に向かわせ道を開く戦法や、頭数を減らす戦法は実戦でも有効である。

### 5.1.3 考察

5.1.1 の青駒脱出問題において、ある程度の手数がある問題であれば後手側の脱出を阻止しつつ先手側はゴールを目指すという、ガイスターの基本を抑えた問題が生成された。

5.1.2 の赤駒壁利用問題において、脱出口に蓋をする問題と後手側の駒に突撃させるという2種の赤駒利用法を活かした問題が生成された。脱出口に蓋をする問題は単純でパターンに多様性があまり見られなかったが、実戦では有効な戦法であるため解かせる価値は十分にあると考えられる。

これら大きく分けて2種の問題を生成したが、勝利条件2が使われる問題は原理的に生成されないため(3.3参照)、勝利パターンに多様性があまり見られなかった。さらに情報を完全に非公開としているため、実際のゲームでの駒予想に基づく練習ができない。そのため、それらの練習を可能とした以下の問題セット2(一部公開問題)を生成した。それに伴い、問題セット1のような一般的なルールに従い全ての駒が非公開である問題を「一般問題」と呼ぶこととする。

## 5.2 問題セット2(一部公開問題)

実際のガイスターのルールと違い、後手駒の情報を一部公開した問題を考える。ガイスターは対戦相手の動かし方から色組み合わせを予測するゲームであるため、一般問題と比較して情報が一部公開されている問題は現実的・実用的である。一部公開問題を生成する際は、アルゴリズム4.1のランダム盤面生成の時点で一部の駒を公開し、4.2の探索の際に紫駒ではなく公開された後の駒として探索する。なお公開する駒の選出はランダムとしているが、公開されている駒から消去法で非公開駒が全て絞り込めず実質的に完全情報ゲームとならないよう、最低限各色非公開駒が1つずつ在るようにしている。

一般問題同様に先手側の青駒を脱出させることで勝利することを目的とした「青駒脱出問題」と、一般問題同様に赤駒を利用する要素を追加した「赤駒壁利用問題」と、後手側の青駒を全て取ることで勝利することを目的とした「青駒全取り問題」に大別して紹介する。

### 5.2.1 青駒脱出問題

勝利条件1を満たす問題で、主に手数の下限や直行防止の条件を用いて生成された。以下に生成された問題(図6)と解き方を示す。なお以降、盤面の図には公開されている後手側の青駒をb、赤駒をrと表現する。

図6の問題では、d1に後手側の青駒、e6に赤駒が公開されている。そしてa3かb2の青駒をa1の脱出口に向かわせればよいと予想できる。これが一般問題であれば、e6の赤駒の色がわからず、f6からの脱出を防ぐ必要があったが、本問題では色が公開されているためその必要はない。そしてこちらの脱出口に近い青駒は2つあるため、片方を犠牲にするつもりで動かすことで後手側のe5が脱出する前にこちらの脱出が成功する。このように実戦でも後手側の駒が予想できていれば、無駄な行動をとらずに動くことができる。

### 5.2.2 赤駒壁利用問題

勝利条件1と勝利条件3を組み合わせた問題で、先手赤駒の最後1つを壁として利用する問題である。一般問題と大きな違いが見られなかったため割愛する。

### 5.2.3 青駒全取り問題

勝利条件2を満たす問題。一般問題では勝利条件1と勝利条件3を利用する問題しか生成できなかった。しかし、一部公開問題においてはもう1つの勝利条件である勝利条件2の問題が生成可能となる。

紫駒の概念を導入しているため、取った後手側の駒は赤駒に変化するが、それには問題に定められている後手赤駒の数という上限がある。そのため、その上限を超えて取った駒は全て青駒である。しかし赤駒数の上限いっぱいまで取ると後手側に勝利条件3を満たされ敗北してしまう。そのため一般問題においては後手側の青駒を全ては取れず勝利条件2を満たすことができなかった。

一方、一部公開問題において後手側の赤駒が最低1つでも公開されていると、そのうち1つを避けて全駒を取ることによって赤駒を1つ残しつつ青駒を全て取ることができる。つまり勝利条件2を満たす問題を生成することが可能である。この問題を意図的に生成するにあたって以下の絞り込み条件を追加した。

対戦相手駒						手数
b	2	r	3			7手
a	b	c	d	e	f	
1	u		R	b		→ 1
2		B				2
3	B					u 3
4					R	4
5					u	B 5
6	←				r	→ 6
	a	b	c	d	e	f

図6 問題セット2、青駒脱出問題の例

・ 青駒を全取り

勝利条件 2 を満たす一部公開問題を生成する条件. 必勝手が見つかった際, その必勝手が全て勝利条件 2 を満たすものであった場合, この条件を満たしているとする.

以下に生成された問題 (図 7) と解き方を示す. 図 7 (a) では, f3 に後手側の赤駒が公開されている. 勝利条件 2 を満たすためには b2, c2 の色不明駒を両方取ればよい. まず a2 の赤駒を b2 に移動させ駒を取る. 後手側は c2 の駒も取られると敗北するため逃げる必要があるのだが, b2 に移動すると最後の赤駒を取ってしまい, c3 か d2 に移動すると d3 の青駒に取られてしまう. そのため c1 に逃げることになる. 先手側は次に d3 の青駒を d2 に移動する. すると後手側は c1 の駒を 3 方向のいずれかに動かしても先手側に取られてしまう. よって f3 の赤駒を動かすしかないのだが, 先手側は次の手番で b2 の赤駒を b1 に動かすと, 後手側は次に c1 の駒を動かしても動かさなくても先手側に取られることになるため先手側の勝ちである. このように, この問題は赤駒を壁にする問題でもあるため, 勝利条件 2 と勝利条件 3 を合わせた問題となっている.

図 7 (b) では, d1 に後手側の赤駒が公開されている. 勝利条件 2 を満たすためには d5, f2 の色不明駒を両方取ればよい. 青駒全取り問題においては対戦相手の駒を追い詰めることが重要になる. そのため初手は逃げる選択肢が多い d5 の駒を取るべきである. よって e5 の赤駒を d5 に動かす. 後手側は f2 の駒を取られるわけにはいかないため, f1 に逃がすことになる. 先手側は e3 から e2 に動かす. すると後手側は追い詰められた f6 を動かすわけにはいかないため d1 の駒を動かすことになる. その後先手側は f3 の赤駒を f2 に動かせば, 後手側が次にどう動かそうと最後の色不明駒を取ることができる. よって先手側の勝ちである.

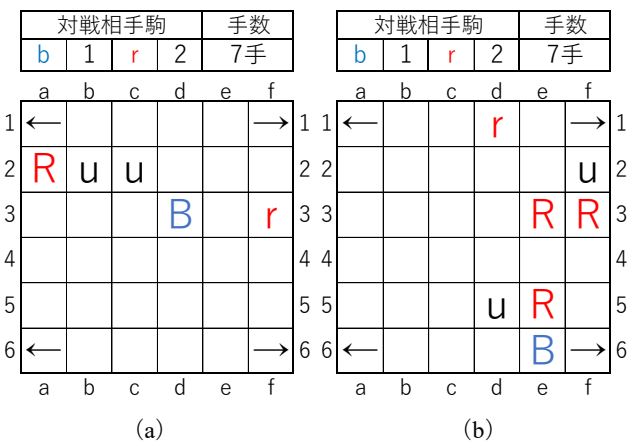


図 7 問題セット 2, 青駒全取り問題の例

5.2.4 考察

5.2.1 の青駒脱出問題において, 赤駒が公開されており, もしそれが脱出口の近くにあれば無視することができるような問題が生成できた. しかし, これはバリエーションとしては弱く, 面白さも一般問題のものと同じ変わらない.

5.2.3 の青駒全取り問題において, 勝利条件 2 を使った問題を生成できた. これにより問題にも多様性が生まれ, さらにはその中でも面白い問題が特に多かったように思えた. 生成された問題には赤駒を壁として利用する問題が多く, これは赤駒壁利用が, 後手側の行動を制限し追い詰めるというこの問題の攻略法と相性がよいためであると考えられる. 以上により, この問題を解くことにより, 駒の追い詰め方等を学ぶことができると考えられる.

6. アンケート・評価

生成した問題の評価はアンケートを基に行う. アンケートは, ガイスターをプレイしたことがない被験者にルールを説明した後, 問題を 5 問解いてもらい, 面白さ・難しさを 5 段階で評価してもらった. 5 問の問題はそれぞれ, 「簡単な一般問題 (青駒脱出問題)」「簡単な一般問題 (赤駒壁利用問題)」「少々難しい一般問題 (赤壁利用問題)」「少々難しい一般問題 (青駒脱出問題)」「少々難しい一部公開問題 (青駒全取り問題)」とした. 問題はそれぞれ図 8 (a), 図 2, 図 5 (b), 図 8 (b), 図 7 (b) である. このアンケートは被験者 5 人を対象に行った. 表 1 にアンケート結果を示す.

いずれの被験者も図 8 (b) の直行防止の条件をかけていないような簡単な問題には面白さを感じないことがわかった. しかし「ルールの確認をするには適切だった」とのコメントがあった. これより, 簡単すぎる問題は何度も解くには適さないが, 初心者を対象としたチュートリアルとしての役割を果たすには十分だということがわかった.

赤壁利用問題に対してはある程度の面白さを感じて貰えた. 特に少々難しい問題として用いた図 5 (b) の問題は高い評価を得ることができ, さらには「実践的のように思える. テクニックとして確立してよさそうだ」とのコメントがあった. これにより, 赤壁利用問題はある程度の面白さを確保しつつ, 実戦に用いることができるテクニックを身につけることができる有用な問題であることがわかった.

図 7 (b) の一部公開問題の青駒全取り問題に対しては高い面白さを感じて貰えた. 一部の被験者から「これまで通り青駒を脱出させる問題だと思いきや始めたため, 意外性があった」とのコメントがあった. これより, 青駒全取り問題はそれまでにない新鮮さを提供できることがわかった.



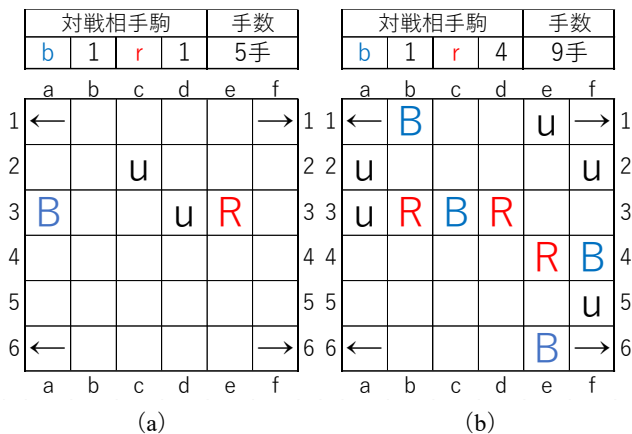


図 8 アンケートに用いた問題

表 1 アンケート結果

	1: 図8(a)	2: 図2	3: 図5(b)	4: 図8(b)	5: 図7(b)
面白さ平均	1.6	2.8	3.4	3.6	4.0
難しさ平均	1.0	1.4	2.8	3.4	2.6

## 7. おわりに

### 7.1 まとめ

本稿では、不完全情報ボードゲーム『ガイスター』における詰め問題 2 種の提案及び考察を行った。ガイスターのルールに則り、後手側の駒を非公開とした一般問題は生成が容易く、様々な問題を生成することができた。しかし、ガイスターにおける 3 種の勝利条件のうち「青駒を脱出させる」「赤駒を全て取らせる」という勝利条件を満たす問題しか原理的に生成されない、全ての情報が非公開であると色予測の要素が入ってくる実戦とは大きく違うなどといった問題があった。そこで後手側の駒色を一部公開し、より実践的な問題である一部公開問題を提案した。これにより一般問題において生成することができなかった「青駒を全て取る」という勝利条件を満たす問題が生成することができた。これにより問題に多様性を持たせることができた。さらに、一部公開問題はアンケートにより高い評価を得ることができた。

### 7.2 今後の課題

本稿では問題となる盤面を生成するためのアルゴリズムとして、ランダムで生成をした後、絞り込みを行うという手法を用いた。しかし、この手法は非常に効率が悪く、問題の傾向に大きな偏りが見られた。そのため、面白さや難しさに繋がる特徴量を分析した後、それを用いて狙った問題を効率よく生成するなどの手法が必要であると考えられる。特徴量を得るためにはアンケートが有効であると考えられるが、本稿でのアンケートでは被験者の人数や、問題の種類が少なすぎる。加えて、初心者のみならず中級者や

上級者もアンケートの対象にすべきである。さらに必勝手の探索法にも課題が残る。本稿では簡易的な手段として  $\alpha$   $\beta$  法を用いたが、与えた探索深さまでしか探索を行わない本手法では、より深い位置に必勝手がある場合は探し出すことができない。よって本手法によって作られた問題は必勝手がある詰め問題ではあるが、全ての詰め問題が生成できるとは言えない。そのため詰将棋で成果を挙げた長井らの df-pn アルゴリズム[9]など証明数を用いる探索法で改善する必要があるだろう。

詰めガイスター問題の出題の方法も一考の必要がある。本稿では盤面と共に最短の手数を提示していたが、これを「○手以下」という表記に変えると、ユーザーは指定された手数の手順を見つけた後「もっと少ない手順があるのではないか」と考えるだろう。そうすると問題にさらにのめり込むことが期待できる。

今回は終盤の詰め盤面のみにと絞って問題としたが、序盤・中盤力や、対戦相手の色予測法などを鍛えられる問題も技術向上には必要だと考えられる。さらにユーザーの弱点分析などを可能にすれば、教育システムとして成立するようになるであろう。

## 参考文献

- [1] David Silver, et al. :Mastering the Game of Go without Human Knowledge. Nature 550, pp354-359, 2017
- [2] 石飛太一, 飯田弘之:詰将棋問題の自動生成アルゴリズムに関する研究, 北陸先端科学技術大学院大学課題研究報告書, 2013
- [3] “ガイスター”:<http://www.mobius-games.co.jp/Gester.htm>, (参照 2019-02-10).
- [4] 末續鴻輝, 織田祐輔:機械学習を用いないガイスターの行動アルゴリズム開発, GAT2018 論文集, pp13-16,2018
- [5] 佐藤佑史:ガイスターにおける自己対戦による行動価値関数の学習, 電気通信大学学術機関リポジトリ, 2015
- [6] 川上直人, 橋本剛:完全情報ゲームの探索を用いたガイスター AI の研究, ゲームプログラミングワークショップ 2018 論文集, pp35-42, 2018
- [7] Sehar Shahzad Farooq, et al. : Inference of Opponent’s Uncertain States in Ghosts Game using Machine Learning. Proceedings of the 18th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems - Volume 2, pp335-346, 2015
- [8] 広瀬正幸他: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, pp452-460(1998)
- [9] 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の応用, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.6(2002)