JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	お邪魔ぷよを活用した作品的で面白いなぞぷよ問題の生成
Author(s)	青山, 泰志; シュエ, ジュウシュエン; 池田, 心
Citation	情報処理学会第51回GI研究発表会, 2024-3, 2024-GI-51(14): 1-8
Issue Date	2024-03-08
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/18826
Rights	社団法人 情報処理学会, 青山泰志, シュエ ジュウシュエン, 池田心, 情報処理学会第51回GI研究発表会, 2024-3, 2024. 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.
Description	情報処理学会第51回GI研究発表会, 2024-3, 国立情報学研究所

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Vol.2024-GI-51 No.14
2024/3/8

お邪魔ぷよを活用した作品的で面白いなぞぷよ問題の生成

青山 泰志[a)]　シュエ ジュウシュエン[b)]　池田 心[c)]

概要：近年，プレイして楽しいステージを作る，プレイして練習になるステージを作るといったコンテンツの自動生成の研究が行われている．コンテンツの一部は一種の芸術の域にまで高めることができ，例えば詰将棋では，盤上の配置の美しさや詰め上がり図の美しさなどの要素から“作品”として扱われる問題も多い．我々はなぞぷよ (ぷよぷよにおける詰将棋のようなもの) において，作品性の高い問題を作ることを目的とした．まず実際に作品性の高いとされるなぞぷよ問題を分析し，5 つの作品性を抽出した．ついでその作品性を満たすために「お邪魔ぷよ」の生成機能を追加した．最後に作品性を実現するための手法を提案し，実際に良い問題が生成できることを確認した．

1. はじめに

ゲーム分野での AI 研究の中心的な目的は人間よりも強い AI プレイヤを作成することであったが，AlphaZero や DQN の登場によって多くのゲームでその目的が達成できるようになった．そのため，近年では「人間を楽しませる・教える」といった目的が注目されるようになってきている．

人間を楽しませたり教えたりするのは，必ずしも人間と対戦する AI プレイヤの役割とは限らない．プレイして楽しいステージを作る [1]，練習になるステージを作る [2] といった，コンテンツの自動生成（PCG）にも，機械学習や生成 AI などの AI 技術がよく使われている．楽しく練習になるコンテンツを低コストで永続的に提供できれば，プレイヤはそのゲームに定着し，技術を高めることができる．

さらに，コンテンツの一部が芸術の域にまで高まることもある．例えば，詰将棋は 1 人で遊べるいわば将棋のミニゲームであるが，趣向を凝らした詰将棋問題は“作品”として扱われ，他の芸術作品と同様，長く愛されているものも多い．詰将棋を作品たらしめる要素は，盤上の配置や詰め上がり図の美しさ，ユニークな駒の軌跡，難しさ，不成や中合いといった意外な手など，さまざまである．本研究では，2 人対戦のぷよぷよをもとにした「なぞぷよ」[3] を題材に，作品性の高い問題を作ることを目的とする．

なぞぷよは，盤面 1 つと何組かの配ぷよが与えられ，「2 手で 3 連鎖せよ」「3 手で全消しせよ」などの要求を満たすような配ぷよの配置法（解）を見つける問題である．将棋における詰将棋や囲碁における詰碁と同様，これらの多く，特に良い作品とされるものは，これまで人手によって作成されてきたと推測する．

なぞぷよ問題を自動で作成し，教師あり学習による面白さ推定モデルでフィルタリングを行う試みもある [4]．しかし，人間がプレイして楽しい問題は一定程度作成されるものの，いわゆる作品と呼べるような問題は稀であるという問題点があった．これは，特定の作品性というものが明示的には意識されず，それを感じられる問題が稀にしか生成されないためであると考える．

そこで本研究では，なぞぷよの作品性にどのようなものがあるかを実際に高い評価を受けている問題の分析から考察し，ついで，その作品性を満たすために「お邪魔ぷよ」の活用が必要である場合が多いことから，その機能を生成部分に追加した．そして，作品性のいくつかを実現するための手法を提案し，実際に高頻度で良い問題が生成できることを確認した．

2. ぷよぷよとなぞぷよ

ぷよぷよとは，テトリスと並ぶ落下型パズルゲームの代表格であり，1991 年にコンパイル社が発売した．日本国内では，e スポーツとして JeSU のライセンス認定タイトルでもあり，国体の文化プログラムの競技として選ばれるなど今でもさかんに遊ばれている．ぷよぷよは 2 人対戦ゲームであり，“連鎖” と呼ばれる状況を発生させて相手のフィールド（盤面）を攻撃しあう．できるだけ強い連鎖をできるだけ効率良く作ること，敵の連鎖構成を邪魔したりタイミング良く攻撃したりすることなどが本ゲームの醍

1 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advance Institute of Science and Technology(JAIST), Nomi, Ishikawa 923-1292 Japan
a) s2210001@jaist.ac.jp
b) hsuehch@jaist.ac.jp
c) kokolo@jaist.ac.jp

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan

醐味である．本章では，文献 [4] を参考に，ぷよぷよとなぞぷよの概要を紹介する．

2.1 ぷよぷよのルール

本節ではあらためてぷよぷよのルールを簡単に説明する．ぷよぷよには 30 年以上の歴史があり，シリーズやゲームモードごとに様々なルールがあるが，ここでは中心的な部分だけを図 1 を用いて説明する．

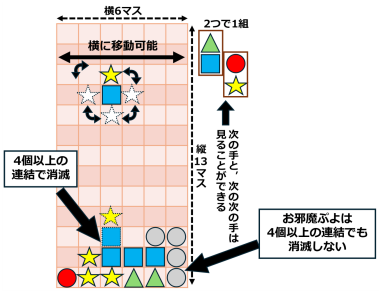

図 1 ぷよぷよのルール

[プレイ人数] 1 人のプレイヤが 1 つの盤面を持ち，通常 2 人でプレイする．相手の盤面には後述する「連鎖」によって攻撃を行うことでのみ干渉することができる．

[盤とマス] 盤は通常 6 × 13 のマスからなり，下向きの重力を持つ．左右端，上下端に位相的繋がりはない．各マスには「ぷよ」が最大 1 つ配置される．

[ぷよ] ぷよには色があり，通常は 4 色が存在する．後述する「お邪魔ぷよ」と呼ばれるものも存在する．

[配ぷよ] プレイヤには 2 つのぷよからなる「配ぷよ」が与えられる（図右上）．ぷよの色は概ねランダムに決まり，2 手 4 個分の色が予告されている．

[着手] プレイヤは，2 つのぷよを回転・左右移動し，落下させる（図上の☆□）．下向きの重力のため，ぷよは自動でも落下する．ぷよは地面または他のぷよの上に着地する．

[ぷよの消滅] 同色のぷよが 4 つ以上上下左右に連結すると，そのぷよ集団は消滅する（図下の□）．消滅した集団の上にあるぷよは重力に従い落下するが，それにより新たに 4 つ以上の連結が生じた場合，これを「連鎖」と呼ぶ．

[攻撃] n 段階の「落下と消滅」が繰り返されたとき，それを n 連鎖と呼ぶ．n 連鎖を達成すると，およそ n の 2 乗に比例した数の「お邪魔ぷよ」が相手の盤上に落下する．

[お邪魔ぷよ] お邪魔ぷよは 4 つ以上連結しても消えない（図右下の○）．ただし，色ぷよが消えた場合，その上下左右にあるお邪魔ぷよが消える（図の□が消えれば，右端の□の上と右が消える）．

[相殺] 双方が攻撃を行った場合には攻撃力の大きい方のみ，その差分のお邪魔ぷよを落下させることができる．

[敗北] （主に相手に攻撃され）配ぷよを置く場所がなくなった場合，負けとなる．

2.2 なぞぷよ

なぞぷよは，1 つの盤面を用いたぷよぷよの派生ゲームである．まず，ぷよが配置された初期盤面（図 2 左）と，数手先までの配ぷよが与えられる（図 2 右上）．この配ぷよは，問題ごとに固定されており，4 手 5 手先まで与えられることも珍しくない．なぞぷよは一人ゲームであり，問題ごとに「2 手で 3 連鎖すべし」「全てのぷよを消すべし」などの固有のクリア条件（図 2 右下）が与えられる．図 3 はクリア条件を満たす解答例の一つである．

詰碁や詰将棋と同様，なぞぷよの問題は多種多様で，難易度もさまざま，実戦的なものも作品的なものもある．

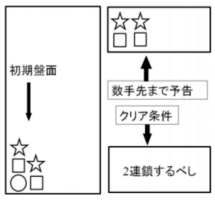

図 2 なぞぷよ問題例

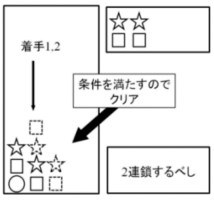

図 3 解答例

3. 関連研究

3.1 ぷよぷよにおける AI プレイヤ

ぷよぷよには配ぷよというランダムな要素があり，それに対応しつつ連鎖を組む必要がある．富沢らはいわゆる定型連鎖を組むための探索法を試み，人間らしさと連鎖の長さ（強さ）を向上させることに成功した [5]．

強くするための研究以外に，熟練支援や楽しさの提供を目的に「特定のプレイヤの模倣」を試みる研究がある [6]．隅山らは，ぷよぷよにおける「あるプレイヤらしさ」が，そのプレイヤが用いる「定石形」に現れると仮定して，ユーザのプレイデータから，特定のユーザの手を再現する試みをしている [6]．

3.2 なぞぷよ問題自動作成法

なぞぷよを自動生成する試みも行われている．高橋らは，ランダムな生成法に加え，広瀬ら [7] や山崎ら [8] が用いた逆算法（逆向き生成法）と呼ばれるパズル作成手法をなぞぷよに適用した．また，作成した問題の面白さや難しさの教師あり学習による推定も試みた．「ぷよ数が多いほど，また連鎖開始場所が多いほど，難しく感じやすい」「正解手順が多い問題はつまらない傾向が多い」などのある程度納得性の高い傾向分析も行っている [9]．

牧田らは教師あり学習のために新たに特徴量を加えることで推定精度の向上を試み，「面白い問題・難しい問題が高確率で抽出できていることが確認できた」，「人間でも作るのが難しいと思われるような名作も含まれている」と主張している [4]．

しかし高橋・牧田らの研究では，お邪魔ぷよを活用した

問題の生成を行っていない．我々は，お邪魔ぷよを活用することでより多様な問題が作成できると考える．

4. 作品性の調査

1 章で述べた通り，本研究では，なぞぷよの作品性にどのようなものがあるかを実際に高い評価を受けている問題をもとに分析し，考察を行った．

問題は，なぞぷよ傑作選 [10] から選出し，実際に解いてみて良い問題と感じた 30 問で分析を行った．これらの問題は，それぞれ実戦であまり出ないような特殊な消え方や置き方をしている点が，高い評価を受けていると言える．

分析の結果，以下の 5 つの作品性を抽出した．

作品タイプ 1　繋がりが分かりにくい問題

作品タイプ 2　同時消しが発生しやすい問題

作品タイプ 3　初期盤面で想像できる連鎖の順番と違う連鎖の順番で消える問題

作品タイプ 4　初期盤面とは違うぷよの繋がり方をする問題

作品タイプ 5　連鎖をする時に同色の連鎖が続く問題

今回分析を行った 30 問については，特殊なもの（条件が全てのぷよを消すべしであった問題 2）を除き，全てこの作品性を 1 つ，もしくは複数満たしている．今回分析した問題についてそれぞれ満たしている作品性を表 1 に示す．表 1 を見てもらえれば分かる通り，30 問中 24 問の問題でお邪魔ぷよが使われており，作品性を満たすために「お邪魔ぷよ」の活用が必要である場合が多いと考える．

分析を行った 30 問の内，特に特殊であった 2 問（いずれの作品性も満たさなかった問題 2 と 4 つの作品性を満たした問題 22）をそれぞれ図 4，図 5 に示す．

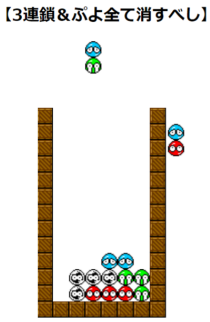

図 4　問題 2

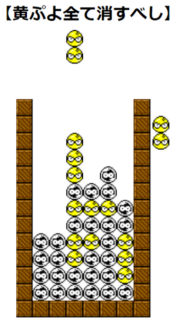

図 5　問題 22

問題 2 は，上記で述べた通り，連鎖の条件に加えて「ぷよを全て消すべし」という条件がある．この条件により，色ぷよだけでなくお邪魔ぷよも全て消す必要がある点でこの問題は特殊である．そのため，この問題は全てのぷよを消すために工夫が必要な面白い問題とは言えるが，やや例外的なので本研究の対象とはしない．

また問題 22 は，「黄ぷよ全て消すべし」という条件である．問題（図 5）を見て分かる通り，盤面が黄ぷよとお邪魔ぷよのみであり，「○連鎖するべし」といった条件がないという点でこの問題はやや特殊である．

表 1　分析した問題の作品タイプ（左端の数字は ID，条件は 3 が 3 連鎖，黄が黄ぷよ消す，全が全消しを意味する）

	手数	条件	作者	色ぷよ/お邪魔	作品タイプ 1	2	3	4	5
1	2	3	platinum	12/5	-	-	○	-	-
2	2	3 &全	qwer	12/4	-	-	-	-	-
3	2	4	redeye	16/4	-	-	-	○	-
4	3	4	pi	16/3	-	-	-	-	○
5	2	3	redeye	12/3	-	-	-	○	○
6	2	5	colo	20/0	-	-	○	○	-
7	2	3	redeye	14/5	○	○	-	-	○
8	2	3	redeye	12/3	○	-	-	-	-
9	2	4	Π	16/2	○	-	-	-	-
10	2	4	Π	16/4	-	-	○	-	-
11	2	3	redeye	12/3	-	-	-	-	○
12	2	5	hemios	20/0	-	-	○	-	○
13	2	3	redeye	12/6	-	-	○	-	○
14	3	5	Π	20/0	-	○	-	-	-
15	2	3	redeye	12/4	-	-	○	-	-
16	2	4	ウァルト	16/4	-	-	○	-	-
17	2	3	redeye	14/2	-	○	-	-	○
18	3	3	redeye	12/5	○	-	-	-	○
19	2	5	ウァルト	23/0	-	-	○	-	○
20	2	4	Π	16/6	-	○	-	-	-
21	2	5	りさ	24/4	-	○	-	○	○
22	2	黄	FELF	16/27	-	○	○	○	○
23	2	6	redeye	24/0	-	-	-	○	-
24	3	4	redeye	16/2	-	○	-	-	-
25	3	3	PON!	12/1	○	-	○	-	-
26	3	4	せりー	16/1	-	○	○	-	○
27	3	4	りさ	16/6	-	○	-	-	○
28	3	3	きのこぷよ	12/4	-	○	-	○	○
29	3	6	Π	24/0	-	○	-	○	○
30	3	4	わんりゅう	16/4	-	○	-	○	○

4.1 作品タイプ 1 繋がりが分かりにくい問題

初期盤面で他の同色のぷよと繋がっていないぷよ（以下，孤立ぷよ）が多く，どう連鎖するのか分からない問題を作品タイプ 1 としている．作品タイプ 1 の問題の一例として以下の問題（図 6）がある．問題の解答例，1 連鎖目，2 連鎖目の消え方を図 6 にそれぞれ示す．ここで孤立ぷよとは，初期盤面（図 6 左）にある青ぷよのようなぷよを指す．

この問題は，初期盤面に青の孤立ぷよが多く，それらの青ぷよが配ぷよや盤面上の同色のぷよとどう繋がって消えるかが，分かりにくくなっている．この問題は，青ぷよ，赤ぷよ，青ぷよの順番で繋がっていき，お邪魔ぷよや段差を利用して，最初は繋がっていなかった青ぷよ（図 6 で赤丸で囲ったぷよ）が 3 連鎖目として繋がって消える．この

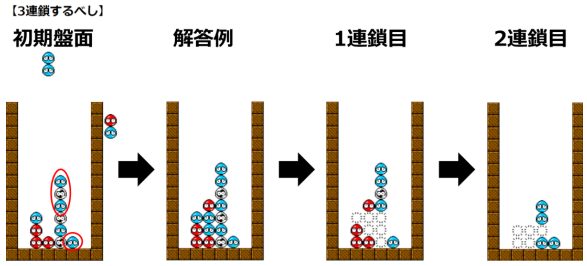

図 6　作品タイプ 1 の問題例

ように，初期盤面で連鎖時に繋がるぷよが分かりにくい問題が作品タイプ 1 にあたる．

この作品タイプ 1 は，上記で述べた通り，初期盤面での孤立ぷよの数に加えて，どう繋がるか分かりにくいという点を考慮しなければならない．人間にとっての繋がりの分かりにくさはなかなか数値化が難しい．

4.2　作品タイプ 2 同時消しが発生しやすい問題

初期盤面で同色のぷよや他の同色のぷよと繋がっているぷよが多く，同時消し[*1]や必要のない多連結（5 個以上の同色のぷよが繋がる）が発生してしまいそうな問題を作品タイプ 2 としている．作品タイプ 2 の問題の一例として以下の問題（図 7）がある．問題の解答例，1 連鎖目，2 連鎖目の消え方をそれぞれ図 7 に示す．ここで必要のない多連結とは，本来 4 個のぷよが繋がるところを 5 個以上のぷよが繋がることを指す（以下，無駄多連結）．

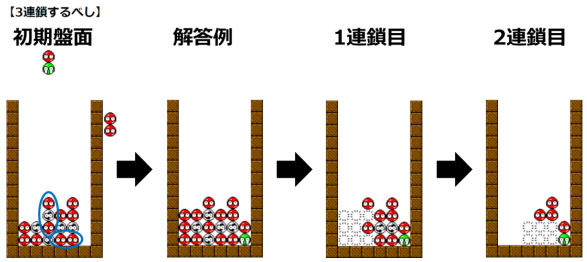

図 7　作品タイプ 2 の問題例

無駄多連結の例として図 8 を挙げる．問題（図 8 真ん中）に対して，それぞれ別の置き方をしたものが解答例（図 8 左）と多連結例（図 8 右）である．それぞれ 1 連鎖した後の残りのぷよ（図 8 で赤丸で囲ったぷよ）を見ると分かる通り，多連結例ではぷよが 3 つしか残らないため，クリア条件を満たすことができない．このようなクリア条件を満たすことができなくなるような多連結が無駄多連結である．

図 7 の問題は，初期盤面（図 7 左）で赤ぷよが多く，また他の同色のぷよと繋がっているぷよが多いため，同時消しや無駄多連結が発生しやすくなっている[*2]．この問題は，

[*1] マルチ（同時消し），ぷよプロ！．https://puyo-euphonic.com/puyo-word-multiple

[*2] なお，この問題は作品タイプ 1 で述べたような孤立ぷよがあるが，同色の 2 つ以上繋がっているぷよが多く，配ぷよを置いた時に連鎖が発生しやすいという点で作品タイプ 1 ではない．

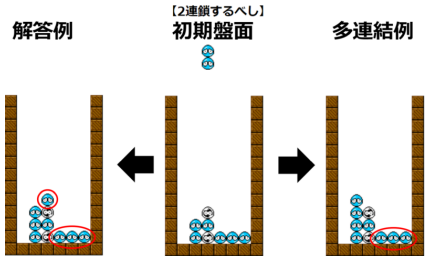

図 8　無駄多連結例

お邪魔ぷよを活用することによって，赤ぷよのみで 3 連鎖をしている．特に 2 連鎖目がお邪魔ぷよを活用した消え方をしており，図 7 の青丸で囲った 3 群 4 個のぷよが 2 連鎖目として繋がって消える[*3]．このような同時消しや無駄多連結が発生しやすい問題が作品タイプ 2 にあたる．

この作品タイプ 2 は，ぷよが繋がっている個数，同時消しや無駄多連結などの数値が関連している．これを計算することはできるが，人間にとっての感覚がこれら数値で予想できるかは，予備実験からは疑わしい．

4.3　作品タイプ 3 初期盤面で想像できる連鎖の順番と違う連鎖の順番で消える問題

初期盤面で連鎖が繋がりそうな形ができているが，その形とは違う形で連鎖が消える問題を作品タイプ 3 としている．初期盤面で連鎖が繋がりそうな形とは，GTR[*4]や階段積み[*5]といったいわゆる定型と呼ばれる積み方に近い形をしている積み方のことである．作品タイプ 3 の問題の一例として以下の問題（図 9）がある．問題の解答例，1 連鎖目，2 連鎖目の消え方を図 9 にそれぞれ示す．

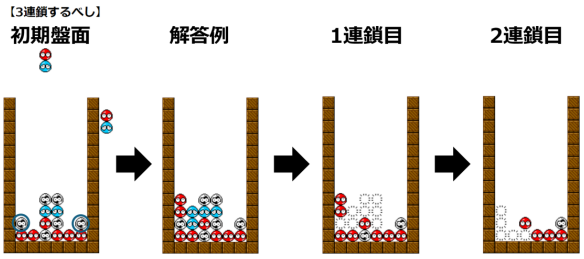

図 9　作品タイプ 3 の問題例

この問題は，初期盤面（図 9 左）において，青ぷよ，右の赤ぷよ，左の赤ぷよの順番で連鎖が繋がるように想像できる（図 10）．しかし，実際は中央の青ぷよから始まり，左の赤ぷよと右の赤ぷよと連鎖が繋がって消える．このような初期盤面で想像できる順番と違う連鎖の順番をする問題が作品タイプ 3 にあたる．

[*3] なお，左から 3 列目のお邪魔ぷよを 2 つとも消すことは大事であり，そうでなければ同時消し 2 連鎖となってしまう．

[*4] 9 割の人が使う形「GTR」のつくり方，ぷよぷよキャンプ．https://puyo-camp.jp/posts/169779

[*5] 「階段積み」を組んでみよう，ぷよぷよキャンプ，https://puyo-camp.jp/posts/68975

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan

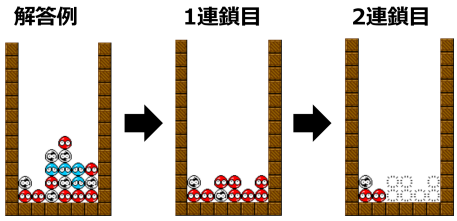

図 10　作品タイプ 3 の失敗例

この作品タイプ 3 は，上記で述べた通り，初期盤面で想像できる連鎖があるという点を考慮しなければならない．前述の GTR や階段積みに近い積み方をしているというのがこの作品タイプではあるが，人間にとっての想像できる連鎖というものはその人の技量やプレイスタイル[*6]にも大きく関係している．このことから，単に定型連鎖の形の類似度を検出するといった手法ではうまくいかない場合が多く，こちらも数値化が難しいといった課題がある．

4.4　作品タイプ 4 初期盤面とは違うぷよの繋がり方をする問題

初期盤面で繋がっている消えやすそうなぷよが，正解手順での連鎖（以下，正解連鎖）時には他の同色のぷよと別々に繋がって消える問題を作品タイプ 4 としている．作品タイプ 4 の問題の一例として以下の問題（図 11）がある．問題の解答例，1 連鎖目，2 連鎖目の消え方を図 11 にそれぞれ示す．

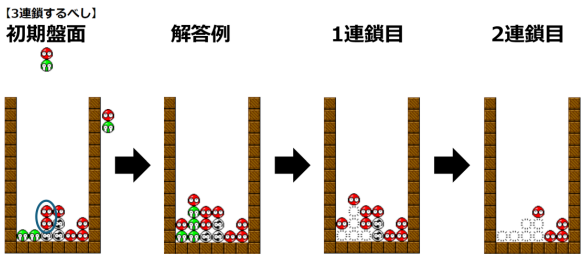

図 11　作品タイプ 4 の問題例

この問題は，初期盤面中央の赤ぷよが青丸で囲ったぷよと囲っていないぷよで別々に消える．初期盤面では，右と中央にそれぞれ赤ぷよが 3 つずつ繋がっている．そのため，それらのぷよがまとまって消えるように感じるが，実際はお邪魔ぷよを活用して青丸で囲ったぷよが 2 連鎖目，囲っていないぷよが 3 連鎖目として別々に繋がって消える．このように，初期盤面で繋がっているが，正解連鎖時には別のぷよと繋がって消えるぷよ（以下，スプリットぷよ）の問題が作品タイプ 4 にあたる．この作品タイプ 4 の抽出法は 5.1.3 項で述べる．

*6　通常，ぷよぷよは GTR や階段積みといった定型連鎖をもとに連鎖を組んでいくプレイヤが多いが，中には不定形連鎖と呼ばれる連鎖を好むプレイヤもいる．

4.5　作品タイプ 5 連鎖をする時に同色の連鎖が続く問題

正解連鎖時に同色の連鎖が続く（以下，同色連続消し）問題を作品タイプ 5 としている．作品タイプ 5 の問題の一例として以下の問題（図 12）がある．問題の解答例，1 連鎖目，2 連鎖目の消え方を図 12 にそれぞれ示す．

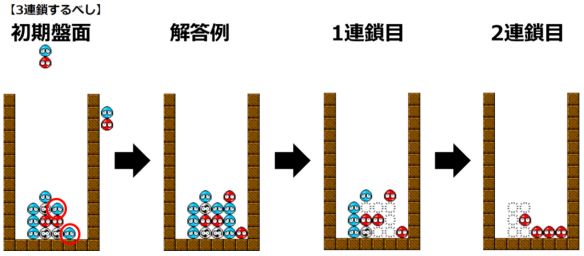

図 12　作品タイプ 5 の問題例

この問題は，初期盤面の赤丸で囲った青ぷよ，赤丸で囲っていない青ぷよ，赤ぷよの順番で消える．通常お邪魔ぷよを介さない連鎖を行う際には，同色連続消しが起こることは少なく（本来，別々に消えて欲しいぷよが繋がる「暴発」[*7]が発生しやすいため），別の色ぷよが挟まることが多い．しかし，この問題ではお邪魔ぷよを活用することによって，同色連続消しになっている．このようなお邪魔ぷよを活用した同色連続消し問題が作品タイプ 5 にあたる．

この作品タイプ 5 の抽出法は 5.1.3 項で述べる．

5.　提案手法

5.1　お邪魔ぷよの追加

本研究では，4 章で述べた通り，抽出した作品性を満たすために「お邪魔ぷよ」の活用が必要である場合が多いことから，お邪魔ぷよを生成する機能を生成部分に追加した．生成部分は [4] の逆向き生成法を利用している．

5.1.1　逆向き生成法

逆向き生成法とは，最終連鎖盤面を最初に作ってから，徐々に問題盤面へと逆向きに近づけていく方法である．2 手 3 連鎖問題における具体的な手順の概略を図 13 を用いて説明する．

(a) 4 つのぷよの繋がり方（19 通り）の中からランダムに選び，3 連鎖目を盤上のランダムな場所に接地する（図 13a）．

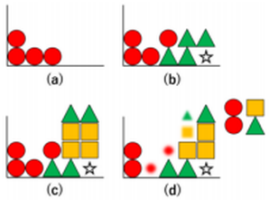

図 13　逆向き生成法

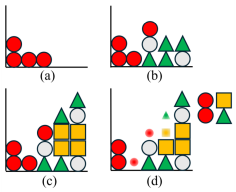

図 14　お邪魔ぷよの挿入

*7　暴発，ぷよプロ！．https://puyo-euphonic.com/puyo-word-outburst-2

(b) 2 連鎖目の 4 つのぷよを同様ランダムに選び，先ほど置いたぷよ（○）を“一部押し上げるように”挿入する（図 13b）．ぷよが宙に浮いてしまうような場合は別の色のぷよを使って下を支える（図 13b の☆）．

(c) 1 連鎖目について同様に，2 番目に消えるぷよ（△）を一部押し上げるように挿入する（図 13c）．これで，□から始まる 3 連鎖が構成できる．

(d) 盤上から 2 組 4 個のぷよを取り除いて，配ぷよとする（図 13d）．その際，各組は着手として置けるように取り除く．つまり，埋まっていない，左右に離れていない場所から取り除く．また，配ぷよの 2 手目には，1 連鎖目のぷよ（□）を含める．

(e) 与えられた盤面と配ぷよで深さ 2 の全幅探索を行い，「2 手 3 連鎖ができること」「4 連鎖以上にはならないこと」「1 手目で 3 連鎖にならないこと」「初期盤面で 4 つ以上繋がっているぷよがないこと」などをチェックする．失敗していれば (a) に戻る．

5.1.2 お邪魔ぷよ生成

逆向き生成法のステップ (b) では，4 つの連結した色ぷよを挿入する．この際に，その 4 つの色ぷよの上下左右にランダムでお邪魔ぷよを配置したうえで挿入をすることで，お邪魔ぷよを持った問題を作ることができる．ぷよが宙に浮いてしまうような場合に支えが必要なのは色ぷよと同じである．

5.1.3 ぷよの色変更

逆向き生成法のオリジナル論文では，ぷよの色について特段の言及はなく，実際，1，2，3 連鎖目では違う色のぷよが消えていた．しかし，本研究で提唱する作品タイプ 4 や 5 では，2 連鎖目と 3 連鎖目などが同じ色であることが望ましい．そこで，お邪魔ぷよ生成に加えもう一つの拡張として，5.1.1 項の手順 (e) の直前に一定の確率でぷよの色を変更し，かつ**重複を許す**こととした．

ただしこれにより，3 連鎖が生じない（いわゆる暴発）あるいは初期盤面にぷよが 4 つ以上接続するような好ましくない事象も比較的高い割合で発生してしまう．この点は 5.1.1 項の手順 (e) でチェックする．

5.2 一部フィルタの導入

一般に，特定の個性を持ったコンテンツを作成するためには，「個性が出やすいような生成アルゴリズムの工夫」，「生成された問題を検査し，合格したもののみ提供」という 2 つのアプローチが用いられる．5.1.3 項で述べたぷよの色変更は前者にあたるが，これだけでは得られた問題が作品性 4 や 5 を満たすとは限らない．そのため，作品タイプ 4，5 それぞれの要件を満たしているかの検査（フィルタリング）も行うことにする．作品タイプ 1 から 3 については定量的な評価が困難な部分もあり今後の課題とする．

5.2.1 作品タイプ 4

作品タイプ 4 は 4.4 節で述べたように正解連鎖で 1 つの色が 2 回以上消えることやスプリットぷよがあるかで判断する．以下に，2 手 3 連鎖問題の場合の手順を示す．この条件では，2 連鎖目と 3 連鎖目が同色である必要がある[*8]．

1. 逆向き生成法でなぞぷよ問題を生成し，ランダムに色変更する．
2. 生成した問題に対して，各ぷよが何連鎖目で消えるかを格納する．
3. 2 連鎖目で消えるぷよと，3 連鎖目で消えるぷよが，連鎖開始時の盤面で繋がっている場所があるか確認する．
4. 3. で該当箇所が見つかるまで，1. から繰り返す．

5.2.2 作品タイプ 5

作品タイプ 5 は 4.5 節で述べたように正解連鎖で同じ色のぷよの連鎖が 2 回以上続くかで判断する．以下に具体的な手順を示す．

1. 逆向き生成法でなぞぷよ問題を生成し，ランダムに色変更する．
2. 生成した問題に対して，各連鎖で消える色を格納する．
3. 1 連鎖目と 2 連鎖目，または，2 連鎖目と 3 連鎖目で消える色が同じか確認する．
4. 3. で消える色が同じになるまで 1. から 3. を繰り返す．

6. 問題生成・評価

6.1 問題生成・評価内容

本節では，問題生成と評価の結果を具体例を交えて説明する．5.2 節のフィルタを用い，作品タイプ 4，5 の問題の候補を 20 問ずつ生成し，これらに対して主観評価を行った．

評価は，「作品性があるか」，「良い問題か悪い問題か」，「難しさ」の 3 項目を用いて行う．「作品性があるか」は，問題が目的とした作品タイプの要件を満たしているかを評価している．「良い問題か悪い問題か」は，意外な手や意外な消え方をする問題であるかを評価したものである．後述するように「作品性はあるが悪い問題」，「意図したものとは違う作品性がある良い問題」などもあるため，その精度を確認するための評価である．

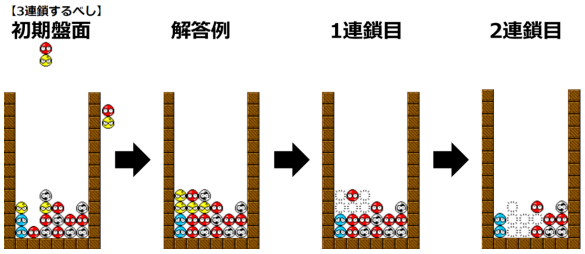

図 15 作品性がある悪い問題

*8 繋がっているぷよが別々に消えるという条件は，1 連鎖目のグループでは満たせない．従って，3 連鎖ならば同色のぷよは 2，3 連鎖目に限定される．4 連鎖以上の場合はこれに限らない．

図 15 は，「作品性がある悪い問題」の例である．これは，作品タイプ 5 の問題として生成された問題である．図 15 の消え方を見てもらえれば分かる通り，2 連鎖目，3 連鎖目が赤ぷよの同色連続消しとなっているため，作品タイプ 5 を満たしている．しかし，そもそも黄ぷよを消すために配ぷよが盤面左側に置かなければいかない点や，3 連鎖目の赤ぷよの繋がりが分かりやすく正解手順の置き方が分かりやすい点で悪い問題と言える．

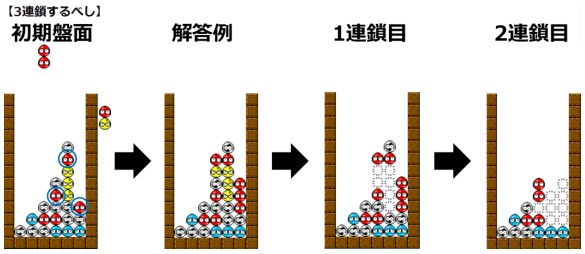

図 16　意図と違う作品性がある良い問題

図 16 は，「意図と違う作品性がある良い問題」の例である．これは，作品タイプ 4 の問題として生成された問題であるが，解答例の 7 段目が別のタイミングで消えることはそれほど以外でなく，作品タイプ 4 の作品性は薄い．一方，図 16 初期盤面で青丸で囲ったぷよがどう繋がるか分かりにくい点と 2 連鎖目，3 連鎖目で同色連続消しがあるという点で作品タイプ 1，5 のある良い問題と言える．

6.2　評価結果

20 問ずつの評価の結果，作品タイプ 4 については，十分作品性がある問題は 10 問，良い問題は 12 問，難しさは 5 段階評価平均 2.6 となった．悪い問題の難しさは全て 1，2 である一方，良い問題には 1 問難しさ 2 のものがあるだけだった．難しさを予測して簡単すぎる問題をフィルタリングすれば，良い問題提供が可能になるだろう．

作品タイプ 5 については，作品性がある問題 19 問，良い問題 17 問，難しさ平均 2.5 と良好な結果となった．良い問題の難しさは 2 から 5 まで分布しており，多様な問題が生成できていると言える．

6.3　典型的な生成問題例

本節では，生成した問題の典型的な良い問題，悪い問題の例を紹介する．

6.3.1　作品タイプ 4 の生成問題例

本項では，作品タイプ 4 の生成問題の典型例を紹介する．

まず，典型的な良い生成問題例（図 17，18）を紹介する．図 17 は，初期盤面（図左）中段の青丸で囲ったぷよと囲っていないぷよがそれぞれ 2 連鎖目，3 連鎖目として消える．お邪魔ぷよを活用して上手く 2 連鎖目と 3 連鎖目が繋がらないようにしている点で良い問題と言える．なお，

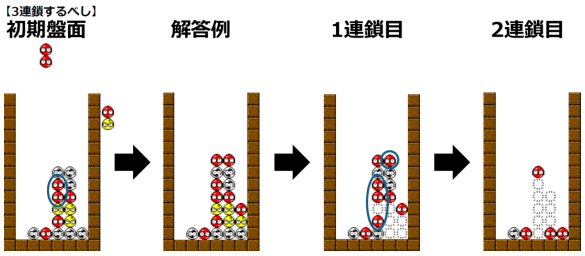

図 17　作品タイプ 4 の良い生成問題例 1

2 連鎖目に消えるぷよは 1 連鎖目（図右から 2 個目）の青丸で囲ったぷよとなっている．

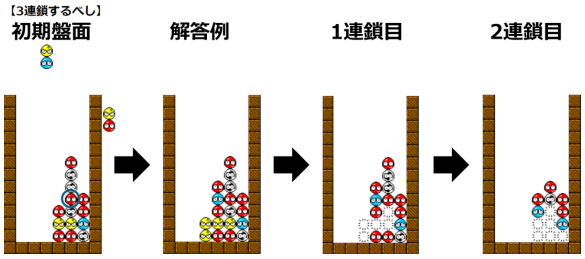

図 18　作品タイプ 4 の良い生成問題例 2

この問題は，初期盤面（図 18 左）で青丸で囲ったぷよと囲っていないぷよがそれぞれ 2 連鎖目，3 連鎖目として消える．1 連鎖目，2 連鎖目は比較的繋がり方が分かりやすいが，3 連鎖目がどう繋がるかが分かりにくくなっている．お邪魔ぷよが 2 つあることで 2 連鎖目との多連結消しを防ぎつつ，3 連鎖目がうまく繋がっており，一見繋がらなそうなぷよが繋がる点で良い問題と言える．また，配ぷよ 1 つ目の組みの青ぷよを右から 3 列目に置くことで，赤ぷよが多連結消しにならないようにおく必要もある．

次に，典型的な悪い生成問題例（図 19 ）を紹介する．こ

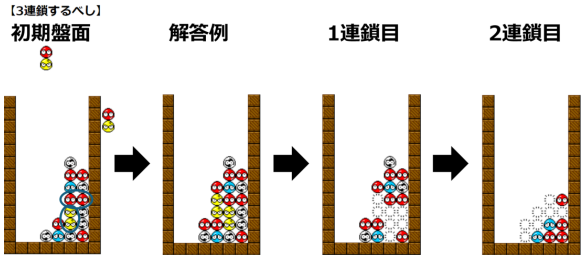

図 19　作品タイプ 4 の悪い生成問題例 1

の問題は，上段の赤 2 つがスプリットぷよとなっている点や赤ぷよがばらばらになっており，繋がりにくそうな点で良い問題に見える．しかし，実際は青丸で囲った赤ぷよと黄ぷよの組みのどちらでもクリア条件を満たせるため，ある程度適当に置いても正解してしまう点で悪い問題と言える．これは，解答が複数あるとき，2 色のぷよが 1 連鎖目の候補になる問題を却下することで改善できるのではないかと考える．

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan

6.3.2 作品タイプ 5 の生成問題例

本項では，作品タイプ 5 の典型的な生成問題例を紹介する．

まず，典型的な良い生成問題例（図 20，21）を紹介する．この問題は，初期盤面（図 20 左）の青丸で囲ったぷよを含

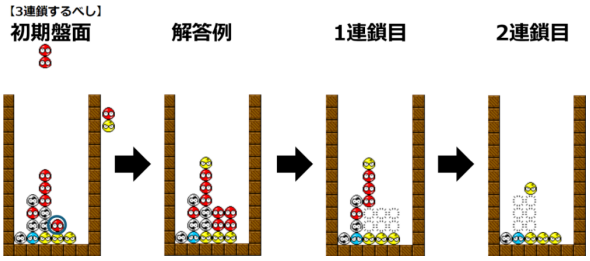

図 20 作品タイプ 5 の良い生成問題例 1

む 1 連鎖目によって 2 連鎖目以降が繋がって消える問題である．連鎖の消え方自体はシンプルだが，黄ぷよからも連鎖が繋がりそうであり，1 連鎖目が分かりにくい点で良い問題と言える．

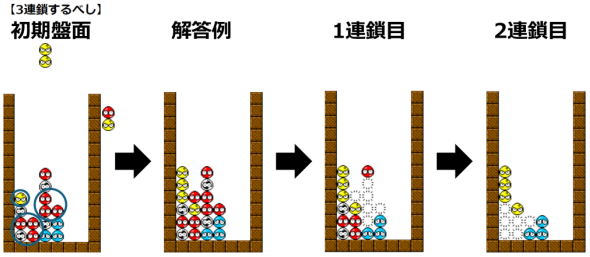

図 21 作品タイプ 5 の良い生成問題例 2

この問題は，初期盤面（図 21 左）の中段の赤ぷよから連鎖が繋がる問題である．青丸で囲った 3 組のぷよがいずれも 1 連鎖目の候補となっており，かつ正解手順が 1 通りしかないため，1 連鎖目が分かりにくい点で良い問題と言える．また，この問題は赤ぷよが多く，無駄多連結消しや同時消しが発生しやすい点で作品タイプ 2 でもある．

次に，典型的な悪い生成問題例（図 22 ）を紹介する．

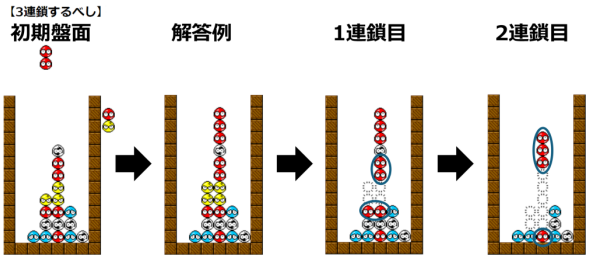

図 22 作品タイプ 5 の悪い生成問題例 1

この問題は，黄ぷよ，赤ぷよ，赤ぷよの順番で連鎖が繋がるが，消え方が単純で分かりやすい点で悪い問題と言える．この分かりやすさの原因は盤上の一部ぷよが高すぎるからではないかと考える．図 22 の解答例を見てほしい．明らかに高く詰みあがっているぷよがある．この高いぷよ群によって，単純な落下で消える連鎖が多く，分かりやすくなっていると考える．また，図 22 の 1 連鎖目，2 連鎖目で青丸で囲ったぷよがお邪魔ぷよを挟んで単純に積みあがっている点も分かりやすさの理由であろう．そのため，盤面の高さに 4 つ分（1 連鎖分）の差があるか，もしくは 1 列に連鎖に関係するぷよの総数（3 連鎖であれば 4×3 の 12 個）の半分以上のぷよがある場合却下することで改善できるのではないかと考える．

7. おわりに

本研究では，“なぞぷよ”における作品性の高い問題を作ることを目的に，逆向き生成法，お邪魔ぷよの挿入，ぷよの色変更，作品性フィルタリングからなる生成手法を提案した．実際に 2 つの作品性について問題を生成したところ，高頻度で作品性の高い問題・良い問題が生成できることを確認できた．

今後の展望としては，今回実装できなかった残りの 3 つの作品タイプの実装や，生成アルゴリズムの工夫により作品性の高い問題を効率よく生成できるようにしたい．また，被験者実験を行うことで客観的に作品性の高い問題が生成できるかも検証し，フィルタリングの改善に繋げたい．

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23K11381 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] Barbara De Kegel, Mads Haahr, Procedural Puzzle Generation: A Survey, IEEE Transactions on Games, Vol.12(1), pp.21-40, 2020.
[2] Yubin Liang, Wanxiang Li and Kokolo Ikeda, Procedural Content Generation of Rhythm Games Using Deep Learning Methods, ICEC & JCSG, pp.134-145, 2019.
[3] なぞぷよのご紹介, SEGA 公式 Web サイト. https://vc.sega.jp/3ds/nazopuyo/. （2024/02/13 アクセス）
[4] 牧田光平, 池田心. 連鎖構成力向上のための多様で面白いなぞぷよ提供法の提案, 第 41 回 GI 研究会, 2019.
[5] 富沢大介, 池田心. 落下型パズルゲームの定石形配置法とぷよぷよへの適用, 情報処理学会論文誌, Vol.53,No.11,pp.2560-2570,2012-11.
[6] 隅山淳一朗, 橋山智訓, 田野俊一. ぷよぷよにおける人間のプレイデータの特徴量抽出,31st Fuzzy System Symposium(2015).
[7] 広瀬正幸, 伊藤琢巳, 松原仁. 逆算法による詰将棋の自動創作, 第 18 回 GPW, 2013-11.
[8] 山崎隆介, Reijer Grimbergen. 連鎖型パズルゲームにおけるパズル問題の自動創作, 第 18 回 GPW, 2013-11.
[9] 高橋竜太郎, 池田心. 連鎖構成力向上のためのぷよぷよの問題作成，情報処理学会 第 39 回ゲーム情報学 (GI) 研究発表会 (2018).
[10] なぞぷよ傑作選，ぷよぷよキャンプ. https://puyocamp.jp/posts/81250. （2024/02/13 アクセス）

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan