

## 商用自動迷路生成システムの開発

山下 明 博

On the Development of an Automatic Maze Generation System for Commerce

Akihiro YAMASHITA

### 要 旨

筆者は、ディープラーニングにより迷路を自動的に探索するシステムを開発する前提として、迷路を自動生成するシステムを開発した。本論文は、自動生成迷路を採用したゲームを概観するとともに、迷路自動生成システムに使用したアルゴリズム、生成速度性能などを示し、商用の迷路を自動生成するシステムの開発について論じるものである。

キーワード：迷路自動生成、ディープラーニング、人工知能

### はじめに

従来の人工知能アルゴリズムの研究においては、取得したデータの特徴を人間が抜き出し、学習プログラムで使いやすいよう変換する前処理が必要であった。しかし、ディープラーニングの人工知能アルゴリズムの研究では、多くのデータを集めることにより、データの特徴を詳しく知らなくても、前処理を行うことが可能である。筆者は、ディープラーニングにより迷路を自動的に探索するシステムを開発する前提として、任意のサイズの迷路を大量に自動生成するシステムを開発した。

本論文は、自動生成迷路を採用したゲームを概観するとともに、商用の迷路を自動生成するシステムの開発について論じるものである。

## I. 自動生成迷路の歴史

### 1. ローグ

自動で迷路を作成するゲームを開発する試みは、これまで数多く行われてきた。古くは、コンピュータによるRPG<sup>1)</sup>の先駆けである、1980年に発表された、「ローグ (Rogue)」が有名である。ローグは、BSD UNIX上でプレイすることができるゲームであり、その特徴は、迷路が自動生成され、毎回新しい迷路を探索することができるため、飽きがこないことにあった。しかし、当時のコンピュータはCUI<sup>2)</sup>を採用しており、迷路やキャラクタ等の全ての情報は、ASCII文字<sup>3)</sup>で表示されるため、現在のGUI<sup>4)</sup>のゲーム画面とは程遠いが、UNIXに実装されているCURSESライブラリを利用することにより、キーボードから上下左右に主人公を移動させるゲー

ム画面を実現していた。

このローグに似た特徴を持つゲームは、ローグライクゲーム（Rogue-like Games）と呼ばれ、数多くのソフトウェアが開発されていくことになる。

図1に、ローグの迷路で自動生成された迷路の例（1階）を示す。自動で生成されたこの迷路では、「#」が通路、「+」が扉、「-」および「|」が壁、「@」が主人公を表している。

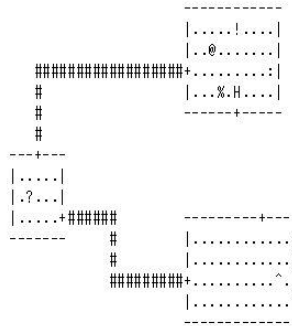


図1 ローグの迷路の例<sup>1)</sup>

## 2. ドルアーガの塔

1984年にアーケードゲームとしてナムコ社が開発した「ドルアーガの塔」は、迷路の自動生成において、画期的なシステムであった。ゲーム内で登場する60階建ての塔の各フロアは迷路状になっており、GUIで迷路が自動生成されてゲームが進行していった。

図2に、ドルアーガの塔1階の迷路を示す。

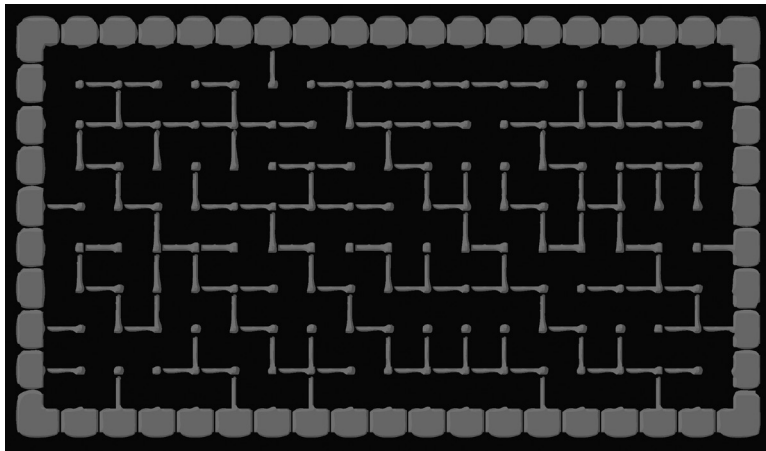


図2 ドルアーガの塔1階の迷路<sup>2)</sup>

ドルアーガの塔の迷路が画期的なのは、ゲームで迷路を表現するときに使用される「マップ」と呼ばれる壁や柱の位置データを持っていないにもかかわらず、必ず同じ迷路が再現される点である。1984年当時、迷路マップを60階分持つためには、貴重なメモリを大量に浪費してしまう恐

れがあった。そこで、ドルアーガの塔では、階数を乱数の種 (SEED) とし、毎回、迷路を自動生成することにより、1 バイトのデータのみで、マップを持たずに済ませることに成功している<sup>5)</sup>。

そのアルゴリズムは、最初に柱を1本決定し、階数を種とした乱数で0、1、2、3という4つの数字を求めた上で、それらに対応する方向に壁を作り、別の壁に到達しなければ、さらに0、1、2という3つの数字を乱数で求め、壁を伸ばす方向を決めて壁を伸ばすというものであると推定される。ただし、これでは、壁に衝突することなく横に進む距離と縦に進む距離がほぼ同じになってしまう。ドルアーガの塔の迷路は、壁に衝突することなく横に進む距離が、縦に進む距離よりも長い傾向があるので、壁を作成する際に、乱数に重み付けを行い、横に進む距離を長くしていると思われる<sup>6)</sup>。外枠が横長である場合、壁に衝突することなく横に進む距離が長い方が円滑に移動できる。ドルアーガの塔の自動生成迷路は、優秀なアルゴリズムを採用している。

### 3. 不思議のダンジョン

日本で、自動生成迷路を一般的に普及させたゲームが、1993年にチュンソフト社が発売した「トルネコの大冒険 不思議のダンジョン」である。ドラゴンクエストという日本の代表的なRPGの登場人物であるトルネコを主人公に抜擢し、彼が地下迷路に入り探索する度に、地下迷路の形状が変化するというシステムであった。このゲームは、飽きることなく長く遊ぶことができると評判になり、スーパーファミコン用のソフトウェアとして、約80万本を売り上げた。また、その続編も数多く開発された。

「不思議のダンジョン」自体は、ローグライクゲームの一つであるが、ローグとは異なり、GUIを実現するハードウェアが強力になったため、斜め上からの俯瞰的な視点で3次元迷路が自動生成されるようになった。

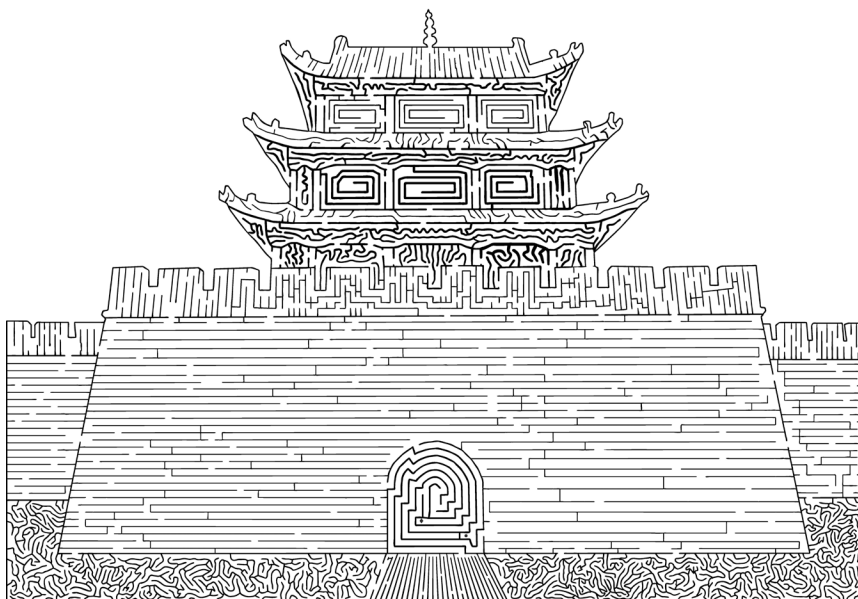
## II. 商用迷路自動生成システムの開発

ここで、今回開発した商用迷路自動生成システムの概略を示す。

### 1. 開発の目的

I 章で述べたように、自動生成迷路はゲーム等で採用されることがあり、珍しい技術ではない。しかし、迷路の解法をディープラーニングで求めるためには、多量の迷路データを用意する必要がある。そこで、なるべく単純なアルゴリズムで、高速に任意の大きさの迷路を自動生成できることを目的に、本システムを開発した。

コンピュータを使って自動生成した迷路の中には、図3に示すように、縦横以外の壁を設けたものも存在する。しかし、ディープラーニングで迷路の解を求める際に、なるべくモデルを単純化するために、本システムでは、縦横だけの迷路のみ生成できるようにした。

図3 城の迷路<sup>7)</sup>

## 2. アルゴリズム

本システムでは、迷路の生成、探索に、以下のアルゴリズムを使用した。

### (1) 迷路生成アルゴリズム

開始地点から、上下左右の4方向のうち、移動可能な方向を乱数で決定する。移動可能なのに移動しなかった方向は、スタックに積む。そして、乱数で決定した、移動可能な方向に存在する壁を取り去り、そこに移動する。

次に、移動した先で、再度、上下左右の4方向のうち、移動可能な方向を乱数で決定する。ここでも、移動可能なのに移動しなかった方向は、スタックに積む。そして、乱数で決定した、移動可能な方向に存在する壁を取り去り、そこに移動する。

この処理を繰り返し、終了地点に到達したら、今度はスタックに積んだ、移動可能なのに移動しなかった方向に移動するために、その方向に存在する壁を取り去り、そこに移動する。移動が行き詰った場合、スタックが空になるまで、移動可能なのに移動しなかった方向の壁の取り去り、そこへの移動を繰り返す。

このアルゴリズムは、高速に任意の大きさの迷路を自動で生成することができる。また、袋小路を生成することがないという特徴を有する。

### (2) 迷路探索アルゴリズム

開始地点から、上下左右の4方向のうち、壁が存在せず移動可能な方向が複数あれば、その一つを選び、移動する。移動可能なのに移動しなかった方向は、スタックに積む。

次に、移動した先で、再度、上下左右の4方向のうち、壁が存在せず移動可能な方向が複数あれば、その一つを選び、移動する。ここでも、移動可能なのに移動しなかった方向は、スタックに積む。これらの処理を繰り返し、終了地点に到達したら、探索終了である。

もし、移動した先が行き止まりなら、今度はスタックに積んだ、移動可能なのに移動しなかった方向に戻り、そこへ移動する。移動が行き詰った場合、スタックが空になるまで、移動可能なのに移動しなかった方向への移動を繰り返す。

このアルゴリズムは、高速に迷路を自動で探索することができる。

### 3. 高速生成・高速探索画面

本システムの主画面を図4に示す。迷路を生成する領域には、初期値として縦16、横16マスの正方形を与えてある。ここで「高速生成」をクリックすると、前述の迷路生成アルゴリズムに従い、壁が取り去られ、図5のように迷路が生成される。

さらに、「高速探索」をクリックすると、迷路探索アルゴリズムに従い、図6のように迷路の探索が行われる。



図4 迷路生成システム開始画面

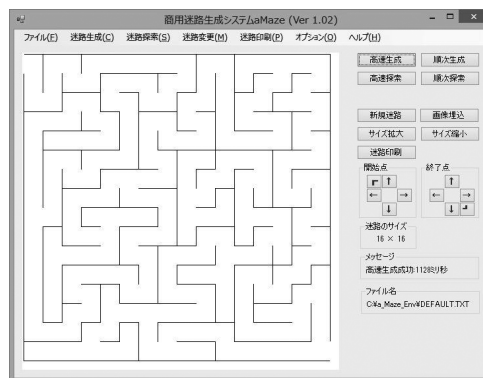


図5 迷路「高速生成」結果

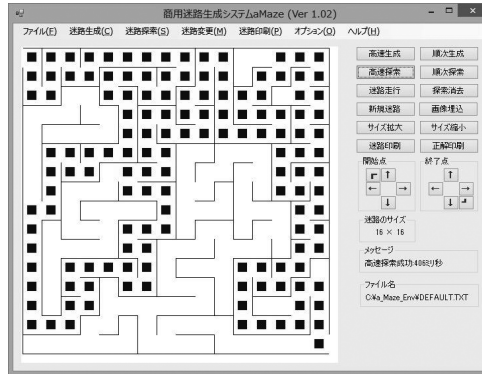


図6 迷路「高速探索」結果

### Ⅲ. 迷路作成時間の計測

自動迷路生成システムにおいて、迷路の大きさを大きくすると、作成に要する時間も増加する。そこで、迷路サイズにより、迷路を作成するのに必要な時間がどの程度必要かを調べた。図7は、迷路サイズ（正方形の迷路の一辺のサイズ）と、その迷路を作成するのに要した秒数を、迷路サイズを10から100まで変化させて調べ、グラフ化したものである。

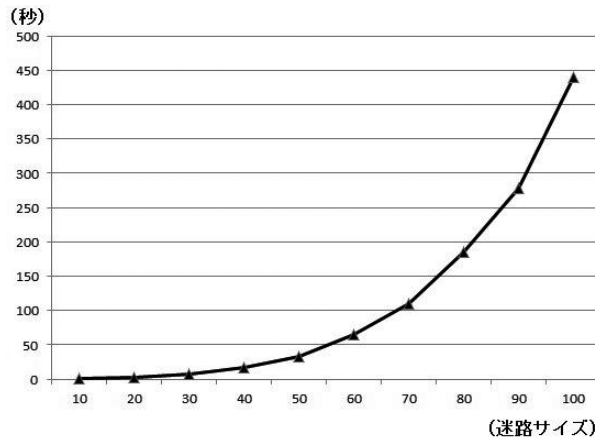


図7 迷路サイズ（一辺）と生成時間（秒）

その結果、縦60マス、横60マス以下の迷路であれば、1分以内に生成することができることがわかった。このため、ディープラーニング用の大量の迷路を自動生成する際は、縦60マス、横60マス以下の迷路とすることにした。

図8に、迷路サイズ $n$ を、 $n=10$ から $n=100$ まで変化させたときの迷路の例を示す。

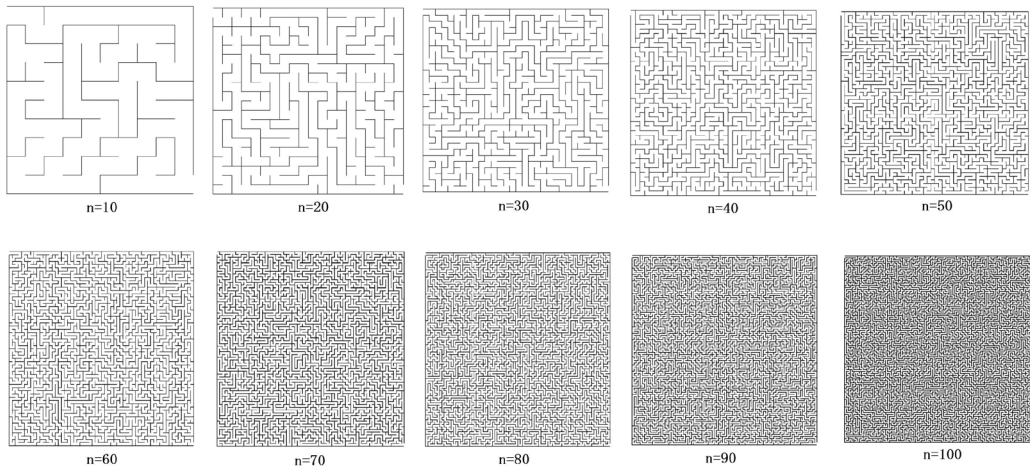


図8 迷路サイズnを変化させたときの迷路の例

#### IV. 商用迷路の生成

本システムは、ディープラーニング用の大量の迷路を自動生成する目的で開発したが、迷路の形状を変化させたり、迷路の中にCM画像を組み込んだりすることにより、商用の迷路を生成することができないかと考えた。そこで、本システムには、商用の迷路を生成する機能を付加している。

##### 1. 形状の変更

本システムに使用している迷路生成アルゴリズムは、迷路の中に、すでに移動済みの領域があれば、それを除外した範囲だけを使って迷路を生成できる。そこで、本システムでは、あらかじめ使用しない部分をマウスでクリックすることにより、そこが移動済みであると指示し、正方形のうち、不要な部分を迷路として使用しないで迷路を作成できるようにした。

図9は、星形、パックマン形、「安田UNIV」の3つの商用の迷路を作成した例である。左の迷路は、星の形以外の部分を、あらかじめマウスでクリックして移動済みに指定し、それ以外の部分だけを使用して迷路を作成した。同じく中央の迷路は、パックマン形の迷路を作成した。また、右の迷路は、筆者の所属する安田女子大学の「安田UNIV」というパターンを残して迷路を作成した例である。

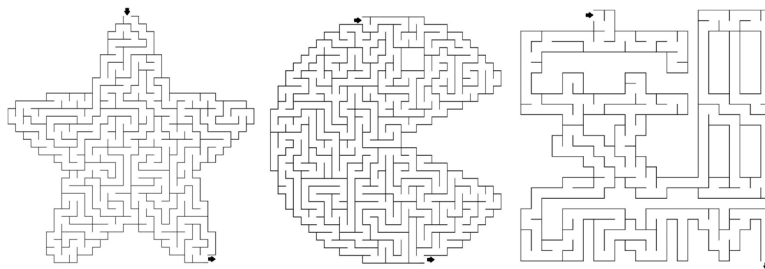


図9 商用の迷路

## 2. CM画像の挿入

近年、デンソーが開発した2次元バーコードであるQRコードを使い、URL等を告知する宣伝が行われることが多くなった。そして、QRコードが普及すると、他社と差別化を図るために、QRコードの内部にCM画像を挿入することが行われるようになった。

図10は、サッカープロリーグのサンフレッチェ広島が作成した、女性ファンのイラストを組み込んだQRコードである。この特徴は、QRコードにイラストを組み込んでいるにもかかわらず、本来のQRコードの機能が失われていない点にある。



図10 QRコードにイラストを組み込んだ例

そこで、本システムでは、迷路の中にCM画像を挿入する機能を実現した。これで作成した迷路は、迷路としての本来の機能が失われないという特徴を有する。図11に、縦16マス、横16マスの迷路の中央に、2マスから16マスまでの写真を挿入した迷路の例を示す。

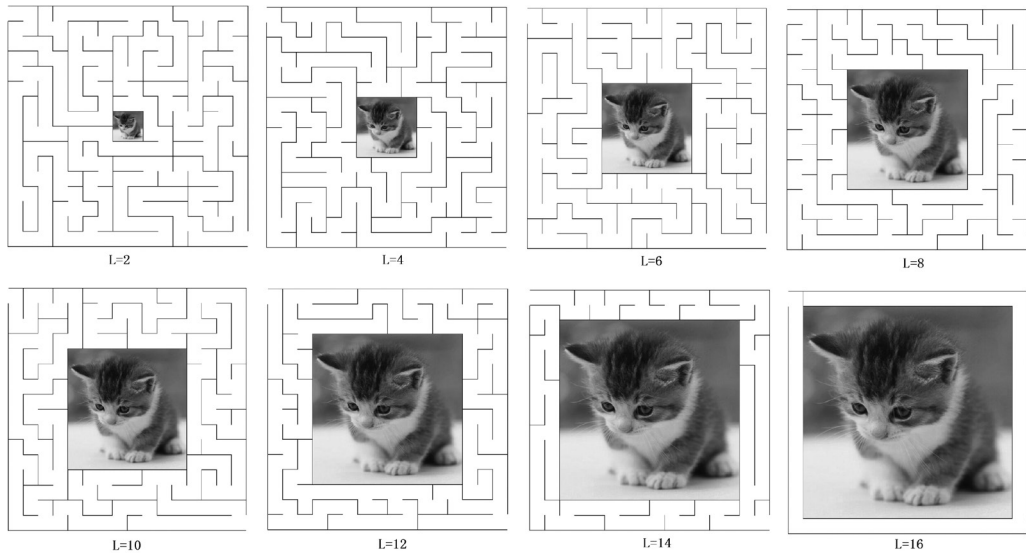


図11 中央に画像を挿入した迷路の例



## 結 論

本論文では、迷路を自動的に多量に生成するシステムの開発について論じた。ディープラーニングを用いた人工知能の研究において必要とされるのは、数万から数十万のデータであり、人間が一個一個作成することは不可能である。迷路の自動生成システムは、人工知能の研究において必要不可欠であると考ええる。

また、商用の迷路については、今後ニーズが高まると予想する。迷路を人間が解く場合、単純な迷路だけでなく、特徴的な形状の迷路や、CM画像が挿入された迷路のほうが、より飽きずに楽しめる。また、今後、データをIllustratorでベクトル化し、レーザーカッターで道の部分だけ切削することにより、3次元化する予定である。これにより、商用の迷路を、紙の上だけでなく、3次元の商品として手に取ることができるようになり、より幅広い活用が期待できる。

## 引 用 文 献

1. RPGは、Roll Playing Gameの略称であり、参加者に割り当てられたキャラクターを操り、冒険を行うゲームである。
2. CUIは、Character User Interfaceの略称であり、キーボードから文字を入力し、モニタに文字が表示されるユーザインタフェースを指す。
3. ASCII文字列は、文字コードの標準規格として広く普及している「ASCII」(American Standard Code for Information Interchange, アスキー)に含まれる文字で構成する文字列であり、a～z、A～Zの英字、0～9の数字、記号、空白文字、制御文字、計128文字が規定されている。
4. GUIは、Graphical User Interfaceの略称であり、ポインティングデバイス等により情報を入力し、グラフィカルなモニタで情報を表示することを特徴とするユーザインタフェースを指す。
5. Wikipedia (2017), 「ログ: 迷宮の校正とゲーム画面」, <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%B0>参照。
6. オレンチハウス (1998), 「ドルアーガの塔1F～ 15F攻略」, <http://www4.big.or.jp/~yotchi/druaga/01-15.html>参照。
7. Kaplan, Craig S. (2005), "Maze Design", <http://www.cgluwaterloo.ca/csk/projects/mazes/>参照。
8. ひろスポ! (2014), 「サンフレ女子応募QRコード」, <http://hirospo.com/pickup/4618.html>

[2017. 9. 28 受理]

コントリビューター：染岡 慎一 教授 (造形デザイン学科)

