

2010年度 卒業論文

ペンシルパズル「美術館」における  
難易度判定に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト  
学籍番号 M0107115  
鹿島 勇紀

**2010年度 卒業論文概要**

**論文題目**

ペンシルパズル「美術館」における  
難易度判定に関する研究

**メディア学部**

学籍番号：M0107115

**氏名**

鹿島 勇紀

**指導  
教員**

渡辺 大地 講師

**キーワード**

ペンシルパズル、美術館、難易度判定、  
解法

近年、ペンシルパズルは本来の紙とペンを用いるパズルに限らず、例えば専用ゲーム機、AdobeFlashによるPCゲーム、携帯電話によるアプリケーションなど様々な形態に広がっている。ペンシルパズルには様々なジャンルがあり、現在でも新しいゲームが生み出されている。その中の1つに「美術館」があり、最近になって携帯アプリや任天堂DSのゲームを発売していることから分かるように、一定以上の人気があると考えられる。これらのパズルにはルールを学ぶためのチュートリアルや、初心者向けの簡単なものから熟練者向けの難しいものまで難易度は様々である。出題者が難易度を正しく設定することで解き手は自分の目的や、望む難易度に合った問題を選ぶことができる。しかし、ペンシルパズル「美術館」は、歴史の浅さから研究として難易度を判定する方法は曖昧である。そこで、本研究ではペンシルパズルの中でも「美術館」の難易度判定に着目した。本研究の目的は、ペンシルパズル「美術館」を解く際に解き手が感じる難易度と近い難易度を判定することである。

本研究では、ペンシルパズル「美術館」の難易度判定を行う際に、解き手の考え方や解き方を重視した難易度判定手法を提案する。本手法は、ペンシルパズル「美術館」における解き手の考え方や解き方を抽出し定式化する。この定式化したものを解法と呼び、ペンシルパズル「美術館」を解く為に複数存在する解法にそれぞれ考え方の難しさや手間から難易度を付ける。その後、問題中にどれだけ難易度の高い解法が含まれているかを考慮し、難易度を判定する。解法の難易度の付け方は、まず事前テストを行い全ての解法の難易度の傾向を明らかにした。次に、解法に含まれる要素を細分化する。この細分化した結果と、事前テストの結果を照らし合わせ、解法に含まれる要素の難易度を調べた。解法に含まれる要素の難易度が明らかになったことで、全ての解法の難易度を判定することが可能となる。これにより、現存する多くのペンシルパズル「美術館」の難易度を判定することができる。提案手法の有用性を検証するため、提案手法によって難易度を判定した問題を用いて検証実験を行った。検証実験の結果、問題を解く際に解き手が感じる難易度と提案手法によって判定した難易度は近いという結果になり、有効だということがわかった。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	2
<b>第2章</b>	<b>ペンシルパズル「美術館」</b>	<b>3</b>
2.1	美術館の概要	3
2.2	美術館の基本形	3
2.3	美術館のルール	4
<b>第3章</b>	<b>美術館における解法抽出方法及び解法の種類</b>	<b>8</b>
3.1	解法抽出の概要	8
3.2	マス目の表記	8
3.3	解法抽出の流れ	9
3.4	解法の種類	13
<b>第4章</b>	<b>本研究の提案手法</b>	<b>15</b>
4.1	コストの概要	15
4.2	工程の細分化	16
4.3	コストの決め方	19
4.4	コストのルート化	21
4.4.1	各解法の難易度における優劣	27
4.5	問題の難易度を設定する際の配慮	28
4.5.1	複数の解法を使う場合の問題のコスト	28
4.5.2	同じ解法を複数回使う場合の問題のコスト	29
4.6	コストによる難易度判定	29
<b>第5章</b>	<b>検証と考察</b>	<b>33</b>
5.1	検証方法	33
5.1.1	アンケート内容	34
5.1.2	アンケート結果	35
5.2	考察	35

第6章  まとめ	36
謝辞	38
参考文献	39
付録A 章解法の詳細	42

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景と目的

近年、ペンシルパズルは本来の紙とペンを用いるパズル [1][2][3] に限らず、例えば専用ゲーム機 [4]、AdobeFlash による PC ゲーム [5]、携帯電話によるアプリケーション [6][7][8][9][10] など様々な形態に広がっている。数あるペンシルパズルの中でも、本研究ではペンシルパズル「美術館」（以下美術館）に着目した。ペンシルパズルの中でも美術館は歴史が浅く、最近になって携帯電話アプリゲーム [6][7][8][9][10] や任天堂 DS のゲーム [11] を発売していることから人気がある。これらのパズルにはルールを学ぶためのチュートリアルや、初心者向けの簡単なものから熟練者向けの難しいものまで難易度は様々である。出題者が難易度を正しく設定することで、解き手は自分の目的や、望む難易度に合った問題を選ぶことができる。しかし、美術館は歴史の浅さから難易度を判定する方法は確立しておらず、判定方法は曖昧である。そこで、本研究では美術館の難易度判定に着目した。本研究の目的は、美術館を解く際に解き手が感じる難易度と近い難易度を判定することである。

難易度判定の方法は、パズルの種類や研究者によって多岐に渡っている [12]。ペンシルパズルの難易度を判定する方法は、3 つに大別できる。1 つ目に、解き手の考え方や解き方を明確化し用いる方法 [13][14][15] がある。次に 2 つ目に、安定した難易度の推定を行うために複数回の思考を行うメタヒューリスティックという方法 [16][17][18][19] がある。そして 3 つ目に、2 進数を用いて可能か不可能かで判断

する制約充足問題や充足可能性問題へと定式化する方法 [20][21] がある。本研究では、その中でも 1 つ目の手法である松原らの解き手がパズルを解く際の方法を実装する研究 [13] に着目した。松原らの研究は、解き手が「数独」というパズルを解く際の考え方を明確化し、様々な考え方を定式化する。そして、定式化した考え方を「解法」と呼び、様々な解法に対し難易度を付ける。その後、問題中にどのような高度な解法を含むかで難易度判定を行っている。この手法はルールが異なる場合、解法をルールに適用させることが必要となるため、数独の方法をそのまま美術館へ応用させることは出来ない。しかし、この手法は解き手の考え方をを用いているため、美術館においてもルールに適用した後は、正確な難易度判定が行えると考えた。

そこで本研究では、美術館の難易度判定を行う際に、解き手の考え方を重視した難易度判定手法を提案する。本研究の手法は、美術館における解き手の考え方を抽出した後、定式化する。定式化とは、解き手の考え方をプログラムに実装できるように、アルゴリズムで表せるようにすることである。この定式化したものを「解法」と呼び、美術館を解くために複数存在する解法にそれぞれ考え方の難しきや手間から難易度を付ける。次に、定式化したアルゴリズムを利用することで解法を抽出するプログラム (以下解法抽出プログラム) を作成し、問題中にどのような難易度の解法が含まれているかを抽出する。その後、各解法の難易度を総和することで問題の難易度を判定する。これにより、ペンシルパズル「美術館」の難易度を判定することが可能となる。

## 1.2 論文構成

本論文は全 6 章で構成する。まず第 2 章でペンシルパズル「美術館」の概要や基本形、ルールを説明し、ペンシルパズル「美術館」がどのようなものなのかを説明する。その後、第 3 章及び第 4 章では解き手の考え方を重視した本研究の提案手法を述べ、第 5 章で検証実験の方法とその結果を考察する。最後に、第 6 章で本研究のまとめを述べる。

## 第 2 章

# ペンシルパズル「美術館」

本章では、美術館とはどのようなものなのかを述べ、そのルールや基本となる形について詳細を述べる。

### 2.1 美術館の概要

美術館とは、2001年6月10日に発売したニコリ95号[22]にて初登場したパズルである。そのため、美術館は数あるペンシルパズルの中でも歴史の浅いパズルである。

美術館は、パズル全体を一つの美術作品を展示する美術館のように見立てていることからその名が付いている。

### 2.2 美術館の基本形

美術館のパズル全体図は、 $10 \times 10$ のマス目が基本の大きさである。図2.1はその一例である。また、美術館はいくつかのマス目に情報をもったセルが存在する。各種セルはそれぞれ異なった情報を持っており、解き手はセルの情報を基に美術館を解く。セルは全部で、「情報を持たないことを表すセル」(以下白マス)、「照明を表すセル」(以下照明マス)、「光を表すセル」(以下被照射マス)、「周囲の照明の

数を表すセル」(以下黒ヒントマス)、「壁を表すセル」(以下黒マス)の全部で5種類が存在する。このセルの情報を問題中にまとめたものを図2.2に示す。

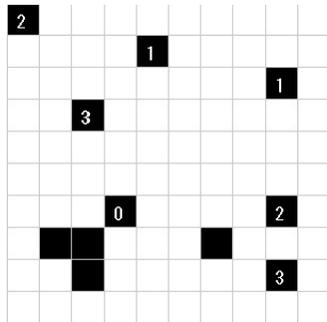


図 2.1: 美術館の問題例

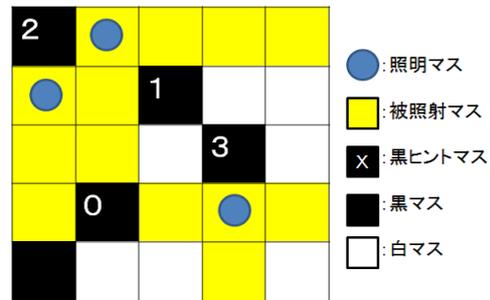


図 2.2: 美術館の基本情報

解き手は、いくつかのルールに従って問題中の白マスを全て光を表すセルで埋めることを目的とし、パズルを解く。ルールについては、次節で詳細を述べる。

## 2.3 美術館のルール

美術館は白マス全体を照明で照らすという目的に至るまでいくつかのルールが存在する。美術館のルールを次に示す。

### (1) 美術館のクリア条件

盤面の白マスに照明を配置することで、照明マスと被照射マスを作り、白マスが1つも無い状態にすることでパズルはクリアとなる。これを、図2.3に示す。

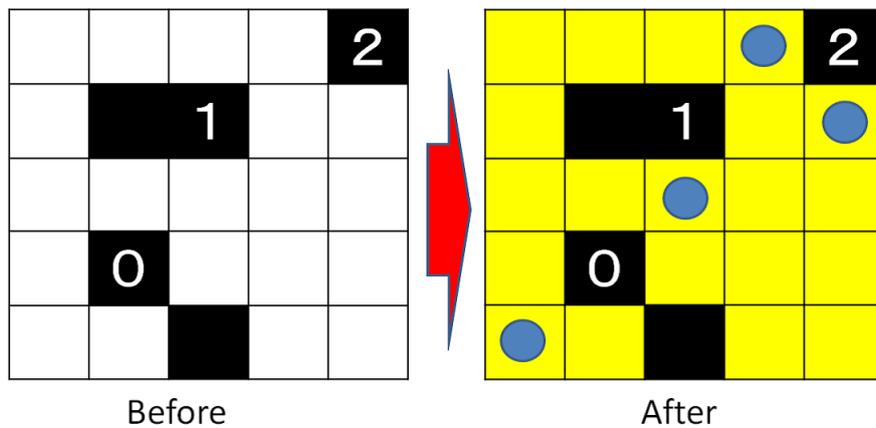


図 2.3: ルール 1

### (2) 照明照射の法則

照明は、置いたマスから上下左右に、黒ヒントマス、黒マス、外枠いずれかまでの範囲の白マスを被照射マスにすることができる。ただし、斜めの方向を被照射マスにすることはできない。これを、ルール 2 とし図 2.4 に示す。

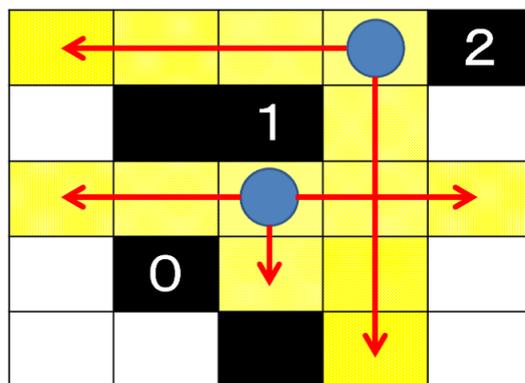


図 2.4: ルール 4

### (3) 相互照射の禁止

照明マスは他の照明で照らされてはいけない。これを、ルール 3 とし図 2.5 に示す。

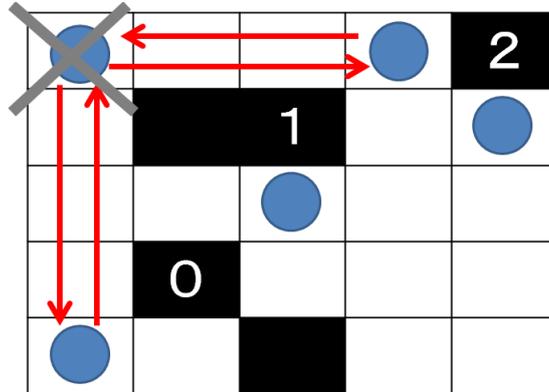


図 2.5: ルール 5

(4) 照明設置可能数の制約

黒ヒントマスが表す数字は上下左右の最大4つの白マスに入る照明の数を表す。これを、ルール 4 とし図 2.6 に示す。

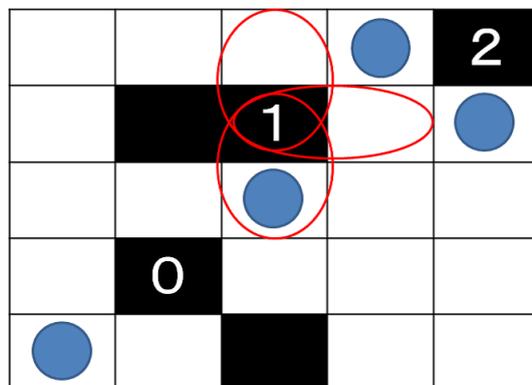


図 2.6: ルール 2

(5) 照明設置可能数の制約の例外

周囲に数字が無い場所は、照明をルールに従って自由に置くことができる。これを、ルール 5 とし図 2.7 に示す。

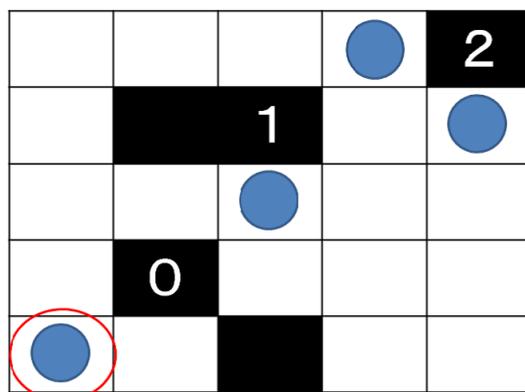


図 2.7: ルール 3

以上の全てを考慮したものが美術館のルールである。

## 第 3 章

# 美術館における解法抽出方法及び解法の種類

### 3.1 解法抽出の概要

本節では、美術館における人間の解き方・考え方を基とした解法の概要を述べる。解法の抽出には、「美術館 01 どっさり [6]」、「美術館 02 どっさり [7]」、「美術館 03 どっさり [8]」、「美術館 04 どっさり [9]」、「美術館 05 どっさり [10]」の 250 問を使用した。解法を抽出するにあたり、解法を 1 つずつ定式化し、解法抽出プログラムに組み込み、250 問を解かせていった。その際、解法抽出プログラムで解けない問題があった場合は、その問題には別の解法が存在していることを意味する。このとき、新しい解法を定式化し、解法抽出プログラムに加える。この方法により、美術館に存在する全ての解法を導き出すと同時に、解法を自動で抽出する解法抽出プログラムが出来上がる。

### 3.2 マス目の表記

本手法では、解法抽出プログラムを用いるために美術館の問題をデータ化する必要がある。まずは、盤面のマス目の表記方法について述べる。盤面のマス目の表記方法は、盤面を縦列を上から  $1 \cdot 2 \cdot 3 \dots$ 、横列を左から  $A \cdot B \cdot C \dots$  と決める。

これにより、例えば左上のマスは A1、そこから右へ1マスずれると B1、A1 から下へ1マスずれると A2 とそれぞれ表記することができる。これを図 3.1 に示す。

	A	B	C
1	A1	B1	C1
2	A2	B2	C2
3	A3	B3	C3

図 3.1: 盤面におけるマス目の表記

### 3.3 解法抽出の流れ

本手法では、解法抽出するにあたり、解法抽出プログラムを作成し用いた。解法抽出プログラムは、問題中に使用している解法を検出することが目的である。これにより、既に定式化している解法の場合は問題を解くことができ、未発見の解法がある場合は問題が解けないこととなる。解法抽出プログラムの詳細及び、実際の解法抽出の流れを次に示す。

#### (1) 問題データの入力

解法抽出プログラムを使用するにあたり、まず実際の問題データを入力する必要がある。ここでは配列を用いて、実際の問題データを入力した。

配列を用いるにあたり、数字とセルの情報を合わせる必要がある。ここでは、0,1,2,3,4 はそれぞれ黒ヒントマスの数字とし、5 は黒マスを表す。そして、6 は被照射マスを表し、7 を照明マスを指す。8 は白マスを表し、9 は何らかの解法によって照明が置けないことが確定したマスを指す。これを用いて、配列で問題データを入力した例を図 3.2(a) に示し、表示した例を図 3.2(b) に示す。

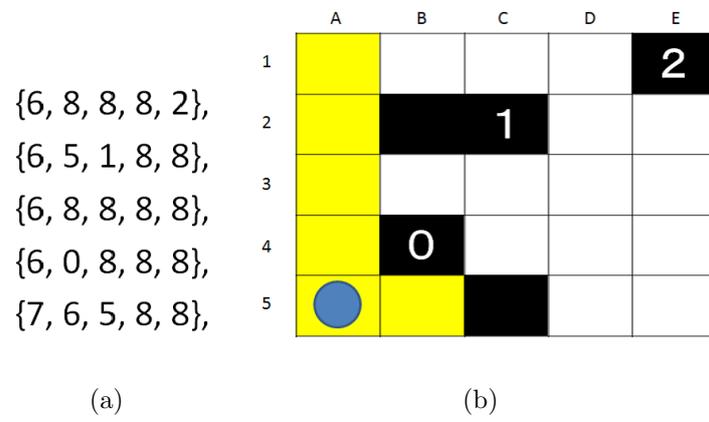


図3.2: 配列による問題データ

## (2) 基本的な解法の入力

解法抽出プログラムによって実際の問題を解くにあたり、解法を入力する必要がある。まず、解法抽出プログラムには基本的な解法を入力する。基本的な解法とは、ルールによって照明を置く場所、照明を置けない場所が決まる解法である。基本的な解法の例として、黒ヒントマスが4の場合は周囲に照明を置くことが確定するといった解法がある。

## (3) 実際の問題を解くフローチャート

問題データ及び基本的な解法を入力した解法抽出プログラムによって問題を解く流れを述べる。解法抽出プログラムは問題データから最も基本的な解法を使うことができる場所を探す。

最も基本的な解法が使えなかった場合、次の解法の検索を開始する。検索途中で次の解法を使うことができる場合、解法を使用し、その後最も基本的な解法の検索へと戻る。この流れを図 3.3 に示す。

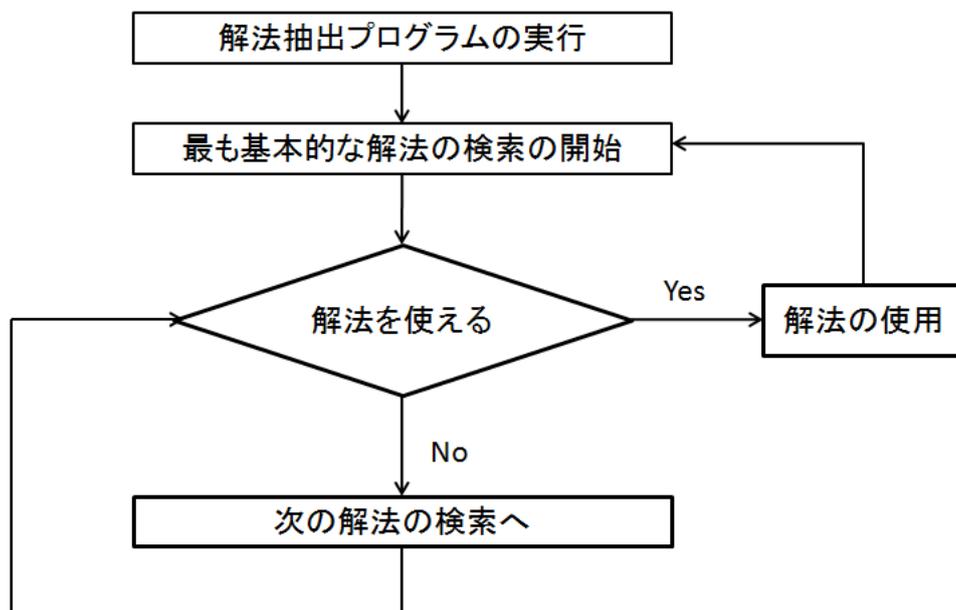


図 3.3: 解法使用順の流れ

次に、解法を使えるかどうかの検索方法について述べる。解法を使えるかどうかの検索方法は、問題データから  $A_1, B_1, C_1 \dots N_1$  と検索し、次に  $A_2, B_2, C_2 \dots N_2$  と検索を続け  $N_n$  で検索を終了する。検索途中で解法を使うことができる場合、解法を使用する。なお、解法は1セルに対し複数使う可能性や、何らかの解法を使ったことにより既に検索を終了した解法が使われる可能性がある。これを考慮するため、解法を使用した後は  $A_1$  から検索を再開する。上記の流れを繰り返し、次のセルが無い場合は次の解法の検索へ移行する。この流れを図 3.4 に示す。

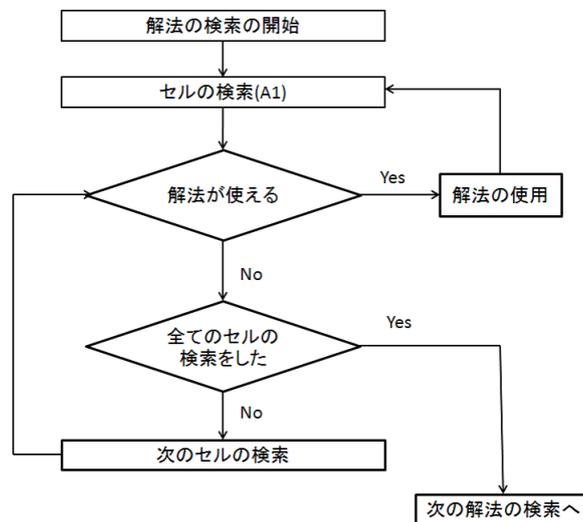


図 3.4: 解法使用箇所検索の流れ

#### (4) 新規解法の入力

実際の問題を解くフローチャートの手順を終え、問題が解けなかった場合、その問題を解くためには新たな解法を入力する必要がある。新たな解法を入力する際の手順は、人間の手で実際に問題を解き、新たな解法がどのような考えで行うかを考察する。そして、新たな解法の考えを定式化し、プログラムへ入力する。その後、新たな解法を組み込んだ解法抽出プログラムを用いて、再び実際の問題を解くフローチャートへ移行する。この流れを図 3.5 に

示す。

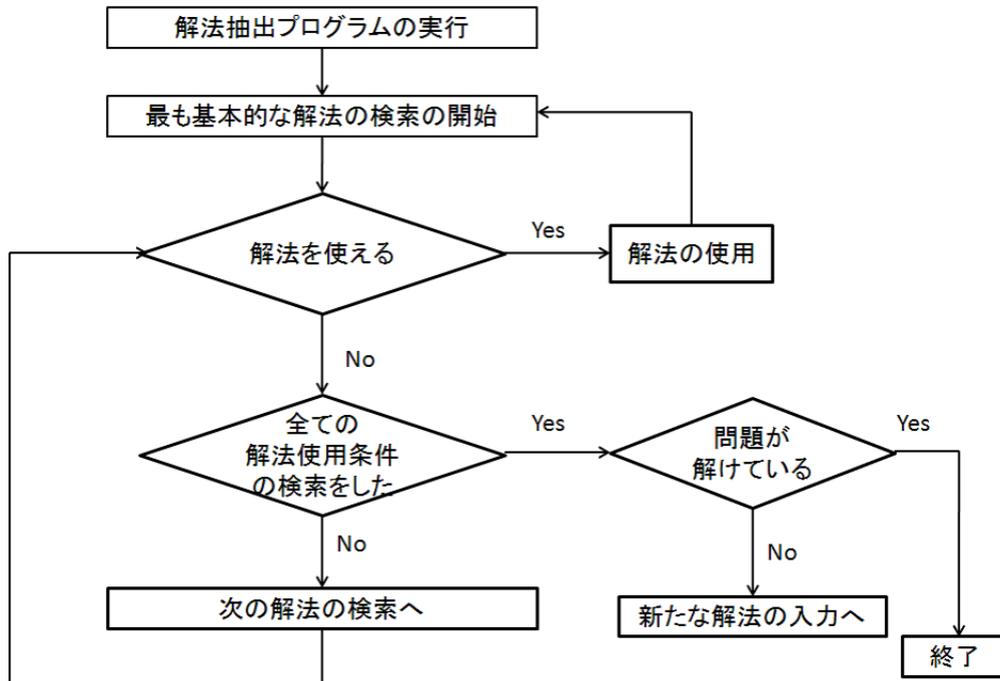


図 3.5: 新たな解法入力への流れ

以上 1~4 までが解法抽出プログラムの詳細及び解法抽出の流れである。

解法抽出プログラムを用いた結果、250 問の問題の中から 25 種類の未発見の解法をがあることが判明した。この 25 種類の解法を全て定式化した後、現存する問題 250 問は全て解くことができた。このことから美術館を解く上では 25 種類の解法は十分な種類であると考察した。よって、本研究では、この 25 種類の解法に着目し、難易度判定を行うこととする。次節では 25 種類の名前及び実行内容について述べる。

### 3.4 解法の種類

本研究で抽出した 25 種類の解法を、照明を置く場所が確定する解法、照明を置けない場所が確定する解法、その両者が確定する解法、照明を置ける可能性を限

定する解法に分類した。次に、分類した解法名を表 3.1、表 3.2、表 3.3、表 3.4 に示す。

表 3.1: 照明を置く場所のみが確定する解法

照明を置く場所のみが確定する
1 単純発生
2 派生の単純発生
3 孤立
4 救出
5 理詰め簡単
6 理詰め仮定
7 理詰め特殊仮定

表 3.2: 照明を置けない場所のみが確定する解法

照明を置けない場所のみが確定する解法
8 単純否定
9 派生の単純否定
10 派生の単純否定特殊
11 斜め否定
12 斜め1・2・1
13 理詰め特殊限定
14 複合斜め否定1・1
15 1・1コンボ
16 1・1囲み
17 1・救出コンボ
18 救出特殊
19 アスピリンボックス

表 3.3: 照明を置く場所及び照明を置けない場所の両方が確定する解法

照明を置く場所及び照明を置けない場所の両方が確定する解法
20 複合斜め否定1・3
21 複合斜め否定1・2
22 理詰め2・2
23 1・2コンボ
24 2・救出コンボ

表 3.4: 照明を置ける可能性を限定する解法

照明を置ける可能性を限定する解法
25 斜め1・2易

以上の計 25 種類が本研究で扱う解法名である。各解法については、詳細は付録 A に記載する。なお、25 種類の解法は重複する点もいくつか存在する。例えば、黒ヒントマスの数字や状況は変わっているが、基本的な考え方は似通っている解法がある。本研究では、考え方の一部が異なり、かつ黒ヒントマスの数字が異なる場合は、別な解法として定義した。

# 第 4 章

## 本研究の提案手法

本章では 25 の解法を用いた難易度判定手法について述べる。本研究では、25 の解法にそれぞれ難易度を数値化して設定する。問題中にどの解法がいくつ含まれているかを抽出し、難易度の数値を総和することで問題の難易度を判定する。

### 4.1 コストの概要

解法の難易度の付け方は、解法が実行結果を終えるまでの工程を細分化し、工程の考え方の難しさや手間から解法の難易度を付ける。この工程の難しさを「工程のコスト」と呼び、解法が持つ工程のコストを合計したものを「解法のコスト」とする。両者共、コストが高いほど難しい工程または解法を指す。

各解法の工程を細分化する前に、2つの言葉を定義する。はじめに、解法を使う上で必要となるマス目を「起点」と呼ぶこととする。起点は、必ず全ての解法に含まれる。起点となることができるのは、黒ヒントマス、白マス、何らかの解法によってルール上照明を置けない場所となった白マス (以下照明を置けないマス) のいずれかの 1 マスである。次に、解法によっては起点のみでは成立しない場合がある。このとき起点に加えて必要となるマス目を「他の要因」と呼ぶこととする。他の要因となることができるのは、黒ヒントマス、照明を置けないマスのどちらか 1 マスである。

## 4.2 工程の細分化

各工程のコストを決めるにあたり、各解法の状況や思考の仕組みを細分化する必要がある。全ての解法は起点と他の要因の条件や関係、解法そのものが持つ条件によって成り立っている。このことから、解法の工程は大きく5つに分けることができた。その5つの概要を次に示す。

### (1) 解法の条件に関する工程

まず、解法自体の条件を細分化できる。解法自体の条件とは、全ての解法に共通する条件を細分化したものであり、解法をどのタイミングで使うことができるかという条件である。これを表4.1に示す。

表 4.1: 解法の条件に関する工程

解法を使うタイミング		
問題開始時から 使うことができる	問題開始時には使 うことができない	問題開始時には使うこと ができない状態がある

### (2) 起点や他の要因の条件に関する工程

次に、解法には必ず起点が存在する。その起点が何であるか、起点の条件は何かという点を細分化できる。また、解法には他の要因が存在する場合がある。その他の要因がある場合、他の要因は何であるか、他の要因の条件は何かという点を細分化できる。そして、起点と他の要因が存在する場合、両者の位置関係を細分化できる。これを表4.2に示す。

表 4.2: 起点や他の要因の条件に関する工程

起点の条件		
起点は黒ヒントマスである	起点は照明を置けないマスである	起点は白マスである
他の要因の条件		
他の要因は必要ではない	他の要因として黒ヒントマスが必要である	他の要因として照明を置けないマスが必要である
起点と他の要因の位置関係に関する条件		
斜めの位置に両者が必要である	縦横に隣接した状態、または両者の間が黒マス、被照射マスのみである状態に両者が必要である	周囲、隣接、両者の間が黒マス・被照射マスのみである状態、いずれでもない状態で両者が必要である

(3) 起点の状況に関する工程

そして、起点に関する条件を更に細分化した時、起点の周囲の状況を考慮する必要があるか。また、起点の周囲の状況を考慮する場合どのような条件が必要であるか、そしてそれを把握するためにどの程度の範囲を見なくては行けないか、という3つの要素に細分化が可能である。これを表 4.3 に示す。

表 4.3: 起点の状況に関する工程

起点の状況の考慮の有無				
起点の状況を考慮する必要がある	起点の状況を考慮しない			
起点の周囲の状況の条件				
黒ヒントの数字と上下左右の白マスの数が一致している	黒ヒントの数字が上下左右の白マスの数より1つ少ない	起点に関する白マスの数が1つである	起点に関する白マスの数が2つである	起点の周囲の上下左右の数を考慮する
起点の周囲の状況を把握するために見る範囲				
起点の周囲8マスを見ることで、起点の周囲の状況の条件を把握できる	上下左右の方向を見ることで起点の状況の条件を把握できる			

(4) 他の要因の状況に関する工程

起点の状況に関する工程と同様に、他の要因に関する条件を更に細分化した時、他の要因の状況を考慮する必要があるか。また、他の要因の周囲の状況

を考慮する場合どのような条件が必要であるか、そしてそれを把握するためにどの程度の範囲を見なくてはいけないか、という3つの要素に細分化が可能である。これを表4.4に示す。

表 4.4: 他の要因の状況に関する工程

他の要因の状況の考慮の有無			
他の要因の状況を考慮する必要がある	他の要因の状況を考慮しない		
他の要因の周囲の状況の条件			
黒ヒントの数字と上下左右の白マスの数が一致している	黒ヒントの数字が上下左右の白マスの数より1つ少ない	他の要因に関する白マスの数が1つである	他の要因に関する白マスの数が2つである
他の要因の周囲の状況を把握するために見る範囲			
他の要因の周囲8マスをすることで、他の要因の周囲の状況の条件を把握できる	上下左右の方向を見ることで他の要因の状況の条件を把握できる		

(5) 起点と他の要因の位置関係に関する工程

最後に、起点と他の要因の位置関係に関する条件を更に細分化した時、両者の位置を繋ぐ間を考慮する必要があるか。また、両者の位置を繋ぐ間を考慮する場合どのような条件が必要であるか、そして両者の位置関係だけでなく両者の関係性から考慮する白マスの位置の条件が必要であるか、という3つの要素に細分化が可能である。これを表4.5に示す。

表 4.5: 起点と他の要因の位置関係に関する工程

起点と他の要因の位置を繋ぐ間を考慮する箇所		
起点と他の要因の位置を繋ぐ間を考慮する	起点と他の要因を繋ぐ間の上下または左右を考慮する	
起点と他の要因を繋ぐ間の条件		
起点と他の要因の間に黒マスが無いことが条件である	起点と他の要因を繋ぐ間の上下または左右に黒マスが無いことが条件である	起点と他の要因の間に白マスが無いことが条件である
起点と他の要因の関係性から考慮する白マスの位置の条件		
起点と他の要因の関係性から考慮する白マスの位置が条件として必要である	起点と他の要因の関係性から考慮する白マスの位置が条件として必要ではない	

以上の5つの工程が解法の工程を細分化したものである。

### 4.3 コストの決め方

各工程のコストを決めるにあたり、本研究では各解法に対し事前アンケートを行った。このアンケートにより、各解法の難易度の傾向を調べ、コストと難易度の傾向を調べるのが目的である。事前アンケートの詳細を次に記す。

#### (1) アンケート用問題の作成

調べる対象となる解法を必ず1度使わなくては解けない問題を作成した。全25種類の解法を調べるために、今回は合計25問となる。また、問題数が多いため今回は本来の $10 \times 10$ のサイズではなく、 $5 \times 5$ のサイズとした。そして、対象となる解法以外の解法を含まなくては問題として成り立たない場合がある。その場合は出来る限り基本的な解法を含み、問題として成立させた。事前アンケートで使用した基本的な解法のみの問題を図4.1(a)に示す。また、対象以外の解法を含んだ問題を図4.1(b)に示す。

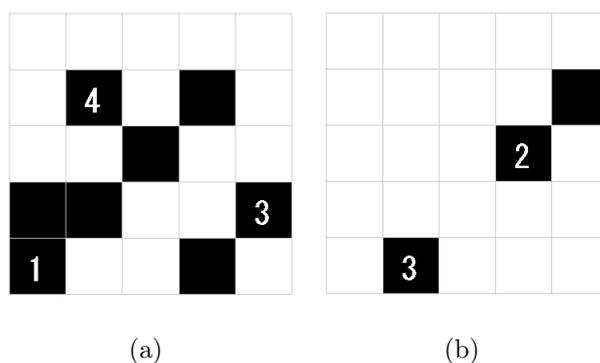


図 4.1: 事前アンケート使用問題

#### (2) アンケートによって調べるデータ

今回各解法の難易度の傾向を調べるために、「解くのにかった時間」「間違えた回数」の2つのデータを調べた。解くのにかった時間とは、被験者が

問題を解き始めた時点の時間から計測を始め、問題を解き終えた時点までの時間を測った。そして、間違えた回数とは、被験者が間違えたと判断し、問題を初めからやり直した回数を調べた。

### (3) アンケート用プログラムの作成

解くのにかかった時間及び間違えた回数を調べる上で、紙とペンを用いる形式では正しく測定することは困難である。そこで本研究では、被験者が美術館を解くためのプログラム(以下アンケート用プログラム)を作成した。アンケート用プログラムでは、被験者が操作できることは3種類である。1つ目は、照明を置く操作、2つ目は、照明を置けない場所の目印を置く操作、3つ目は問題を初めからやり直す操作である。また、今回トライアンドエラーは対象外としているため、照明のみを消す操作・照明を置けない場所の目印のみを消す操作は出来ないものとした。

この事前アンケートを用いて合計20名に事前アンケートを実施した。20名の各データの平均値をまとめたものを表4.6に示す。

表 4.6: 事前アンケート結果

A:正解までに要した時間	単位:秒	B:平均解答時間 (時間/解答回数)	C:平均解答回数		
単純発生	16.8	単純発生	12.92308	単純発生	0.3
派生の単純発生	4.35	派生の単純発生	4.35	派生の単純発生	0
孤立	7.45	孤立	7.095238	孤立	0.05
救出	43.8	救出	21.36585	救出	1.05
理詰め簡単	38.45	理詰め簡単	16.3617	理詰め簡単	1.35
理詰め仮定	30.9	理詰め仮定	22.07143	理詰め仮定	0.4
理詰め特殊仮定	38.85	理詰め特殊仮定	23.54545	理詰め特殊仮定	0.65
派生の単純否定	24.15	派生の単純否定	11.5	派生の単純否定	1.1
派生の単純否定特殊	19.55	派生の単純否定特殊	17	派生の単純否定特殊	0.15
斜め否定	38	斜め否定	19.48718	斜め否定	0.95
斜め1・2・1	84.45	斜め1・2・1	28.15	斜め1・2・1	2
理詰め特殊限定	24.6	理詰め特殊限定	17.57143	理詰め特殊限定	0.4
複合斜め否定1・1	39.6	複合斜め否定1・1	19.31707	複合斜め否定1・1	1.05
1・1コンボ	25.6	1・1コンボ	19.69231	1・1コンボ	0.3
1・1囲み	26.65	1・1囲み	16.15152	1・1囲み	0.65
1・救出コンボ	50.3	1・救出コンボ	23.39535	1・救出コンボ	1.15
救出特殊	24.35	救出特殊	18.03704	救出特殊	0.35
アスピリンボックス	38.1	アスピリンボックス	22.41176	アスピリンボックス	0.7
複合斜め否定1・3	46.05	複合斜め否定1・3	21.4186	複合斜め否定1・3	1.15
複合斜め否定1・2	36.95	複合斜め否定1・2	19.44737	複合斜め否定1・2	0.9
理詰め2・2	23.25	理詰め2・2	14.53125	理詰め2・2	0.6
1・2コンボ	65.9	1・2コンボ	23.12281	1・2コンボ	1.85
2・救出コンボ	61.5	2・救出コンボ	20.5	2・救出コンボ	2
斜め1・2易	47.2	斜め1・2易	21.95349	斜め1・2易	1.15

この結果を基に各工程のコストを定めた。次節で、各工程のコスト及び各解法のコストを求めるために、コストのルート化について述べる。

## 4.4 コストのルート化

解法のコストを求めるために、各工程をルートとして定めた。これにより、当てはまる各工程をルートとして通ることで、解法のコストを容易に求めることができる。解法のコストを求めるための各工程のルート(以下コストのルート)は4.2節で述べた内容をまとめたものである。また、解法のコストは当てはまる工程のコストを全て加算することで求めることとする。ただし、孤立という解法は、白マスが残った場所に照明置くという性質から、難易度は無いものとし、例外的にコスト0の解法として定めた。次にコストのルート化について述べる。

### (1) 解法の条件に関する工程

全ての解法は最初に解法の条件に関する工程から考慮する。解法の条件に関する工程は次の3つの解法を使うタイミングのうち、ルートとしてどれか1つを必ず通る。問題開始時から使うことができる解法の場合、コストを0とする。問題開始時には使うことができない解法の場合、コストを2とする。問題開始時には使うことができない状態が含まれる解法の場合、コストを1とする。いずれかの工程を通った後、起点や他の要因の条件に関する工程を考慮する。このルートを図4.2に示す。

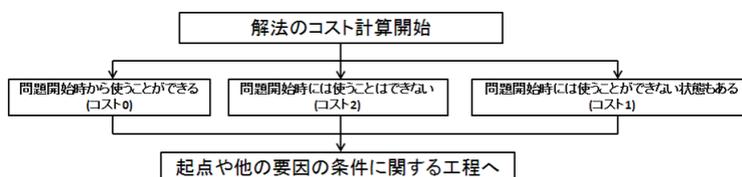


図 4.2: 解法の条件に関するルート

## (2) 起点や他の要因の条件に関する工程

解法の条件に関する工程同様、全ての解法は起点や他の要因の条件に関する工程を考慮する。解法の条件に関する工程は、次の A、B、C の中からルートとしてそれぞれ1つを必ず通る。

### (A) 起点の条件

起点が黒ヒントマスである解法の場合、コストを1とする。また、起点が照明を置けないマスである解法の場合、コストを2とする。

### (B) 他の要因の条件

他の要因が必要ではない解法の場合、コストを0とする。他の要因として黒ヒントマスが必要である解法の場合、コストを1とする。他の要因として照明を置けないマスが必要である解法の場合、コストを2とする。

### (C) 起点と他の要因の位置関係に関する条件

周囲斜めの位置に起点と他の要因が必要である解法の場合、コスト1とする。隣接または起点と他の要因の間が黒マス、被照射マスのみの状態で起点と他の要因が必要である解法の場合、コスト2とする。周囲・隣接・起点と他の要因の間が黒マス、被照射マスのみのいずれでもない状態に起点と他の要因が必要である解法の場合、コスト3とする。

上記の3つからそれぞれ1つの工程を通った後、起点の状況に関する工程を考慮する。このルートを図 4.3 に示す。

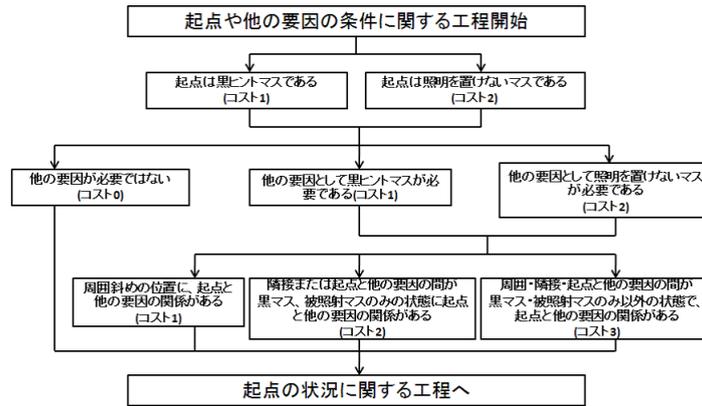


図 4.3: 起点や他の要因の条件に関するルート

### (3) 起点の状況に関する工程

工程1、工程2と同様に、全ての解法は起点の状況に関する工程を考慮する。起点の状況に関する工程は、次の A、B、C の中からルートとしてそれぞれ1つを必ず通る。

#### (A) 起点の状況の考慮の有無

起点の状況を考慮する必要がある解法の場合、コストを1とする。また、起点の状況を考慮しない解法の場合、コストを0とする。

#### (B) 起点の周囲の状況の条件

黒ヒントマスの数字と上下左右の白マスの数が一致することで何らかを確定する解法の場合、コストを1とする。起点に関する白マスの数が1つであることで何らかを確定する解法の場合、コストを2とする。黒ヒントマスの数字が上下左右の白マスの数より1つ少ないことで可能性を限定する解法の場合、コストを3とする。起点に関する白マスの数が2つであることで可能性を限定する解法の場合、コストを4とする。白マスの数を考慮せず、上下左右の照明の数を考慮することで何らかを確定する解法の場合、コストを1とする。

### (C) 起点の周囲の状況を把握するために見る範囲

周囲8マスを見ることで工程3のBの条件を把握できる解法の場合、コスト1とする。上下左右の方向を見ることで工程3のBの条件を把握できる解法の場合、コスト2とする。

上記の3つからそれぞれ1つの工程を通った後、解法のコスト計算を終了するまたは他の要因があれば他の要因の状況に関する工程を考慮する。このルートを図4.4に示す。

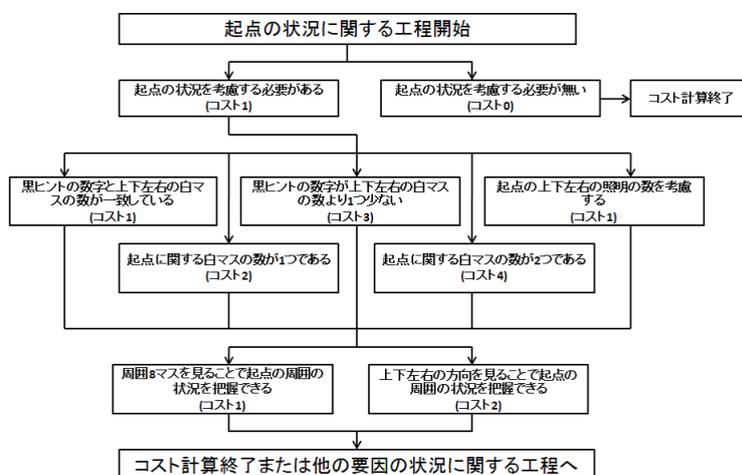


図 4.4: 起点の状況に関するルート

### (4) 他の要因の状況に関する工程

他の要因の状況に関する工程は、他の要因を必要とする全ての解法に対し考慮する。本工程は、次の A、B、C の中からルートとしてそれぞれ1つを必ず通る。

#### (A) 他の要因の状況の考慮の有無

他の要因の状況を考慮する必要がある解法の場合、コストを1とする。また、他の要因の状況を考慮しない解法の場合、コストを0とする。

(B) 他の要因の周囲の状況の条件

黒ヒントマスの数字と上下左右の白マスの数が一致することで何らかを確定する解法の場合、コストを1とする。他の要因に関する白マスの数が1つであることで何らかを確定する解法の場合、コストを2とする。黒ヒントマスの数字が上下左右の白マスの数より1つ少ないことで可能性を限定する解法の場合、コストを3とする。他の要因に関する白マスの数が2つであることで可能性を限定する解法の場合、コストを4とする。

(C) 他の要因の周囲の状況を把握するために見る範囲

周囲8マスを見ることで工程4のBの条件を把握できる解法の場合、コスト1とする。上下左右の方向を見ることで工程4のBの条件を把握できる解法の場合、コスト2とする。

上記の3つからそれぞれ1つの工程を通った後、工程4を考慮する全ての解法は起点と他の要因の位置関係に関する工程を考慮する。このルートを図4.5に示す。

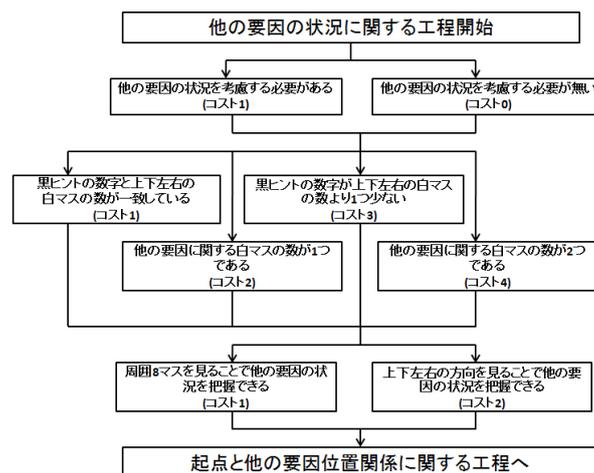


図 4.5: 他の要因の状況に関するルート

#### (5) 起点と他の要因の位置関係に関する工程

起点と他の要因の位置関係に関する工程は、工程4を通った全ての解法に対し考慮する。本工程は、工程1、2、3、4と異なり、必ずしも1つのみを通るわけではなく、次のA、B、Cの中から最低1つ以上の工程を通る。

##### (A) 起点と他の要因の位置を繋ぐ間を考慮する箇所

起点と他の要因の位置を繋ぐ間を考慮する解法の場合、コストを1とする。また、起点と他の要因を繋ぐ間の上下または左右を考慮する解法の場合、コストを1とする。

##### (B) 起点と他の要因を繋ぐ間の条件

起点と他の要因の間に黒マスが無いことが条件である解法の場合、コストを1とする。起点と他の要因の間に白マスが無いことが条件である解法の場合、コストを1とする。起点と他の要因を繋ぐ間の上下または左右に黒マスが無いことが条件である解法の場合、コストを1とする。

##### (C) 起点と他の要因の関係性から考慮する白マスの位置の条件

起点と他の要因の関係性から考慮する白マスの位置が条件として必要となる解法の場合、コスト2とする。起点と他の要因の関係性から考慮する白マスの位置が条件として必要ではない解法の場合、コスト0とする。

上記3つからそれぞれ最低1つ以上の工程を通った後、解法のコスト計算を終了とし、ここまでのコストの合計値を解法のコストとする。このルートを図4.6に示す。

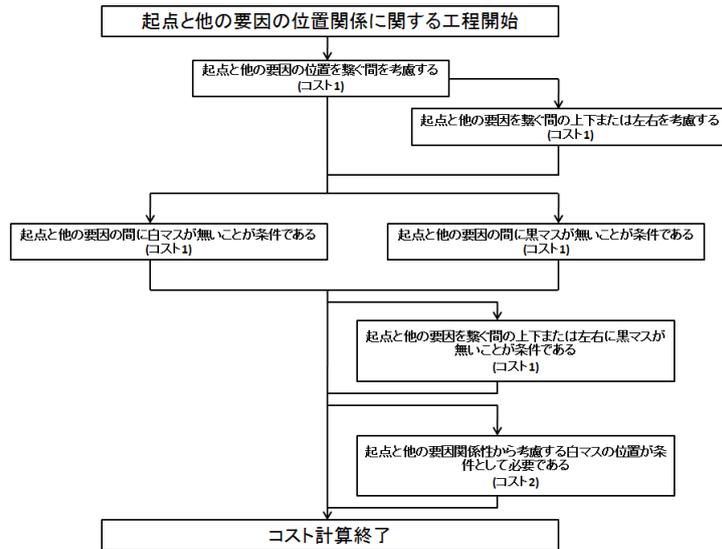


図 4.6: 起点と他の要因の位置関係に関するルート

以上がコストのルート化であり、該当する解法のコストを計算する場合、コストのルートから通った工程のコストを加算することで解法のコストを求めることができる。次節では、コストのルートによって求めた各解法のコストについて述べる。

#### 4.4.1 各解法の難易度における優劣

コストのルートを基に、本節では全ての解法のコストによる難易度の優劣を述べることとする。下記に全ての解法の名前と、その解法のコストを記した表 4.7 を記載する。

表 4.7: 各解法のコスト

解法のコスト表	解法の条件に関する工程のコスト	起点の条件に関する工程のコスト	起点の状況に関する工程のコスト	他の要因の状況に関する工程のコスト	起点と他の要因の関係に関する工程のコスト	総コスト数
単純発生	0	1	3	0	0	4
派生の単純発生	2	1	3	0	0	6
孤立	0	0	0	0	0	0
救出	2	2	5	0	0	9
理詰め簡単	1	5	5	4	4	19
理詰め仮定	2	6	7	4	6	25
理詰め特殊仮定	1	5	6	4	6	22
単純否定	0	1	0	0	0	1
派生の単純否定	2	1	3	0	0	6
派生の単純発生特殊	1	2	5	0	0	8
斜め否定	1	1	5	0	0	7
斜め1・2・1	0	3	2	3	2	10
理詰め(特殊*限定)	2	2	7	0	0	11
複合斜め否定1・1	1	3	5	3	2	14
1・1コンボ	1	4	5	4	4	18
1・1囲み	1	5	5	4	4	19
1・救出コンボ	2	5	7	4	6	24
救出極特殊	2	7	7	6	5	27
アスピリンボックス	2	6	7	6	6	27
複合斜め否定1・3	0	3	5	3	2	13
複合斜め否定1・2	1	3	5	3	2	14
理詰め2・2	1	4	5	4	4	18
1・2コンボ	1	4	5	4	4	18
2・救出コンボ	2	5	7	4	6	24
斜め1・2易	1	3	5	3	2	14

## 4.5 問題の難易度を設定する際の配慮

ここまで述べた手法により、各解法のコストは定まった。しかし、実際の問題を解く際に使われる解法は一つではなく、必ず複数の解法または同じ解法を複数回使い問題を解いている。ここでは、複数の解法または同じ解法を複数回使う場合の問題のコストの計算方法について述べる。

### 4.5.1 複数の解法を使う場合の問題のコスト

複数の解法を使う場合は、各解法のコストの総和で問題のコストを求めるとする。これにより、様々な解法を用いた場合問題の難易度は上がり、問題に使用する解法の種類が少ない程問題の難易度は下がることとなる。

## 4.5.2 同じ解法を複数回使う場合の問題のコスト

同じ解法を2回以上、複数回使った場合のコストの決め方は、複数の解法を使う場合と計算が異なる。その理由は、1つの問題中に同じ解法があった場合、人には慣れが生じる。解法に対し慣れるほどに、その解法の難易度は下がることは明確である。同じ解法を複数回使った場合、1回目はその解法が持つコストの値だけ加算する。しかし、2回目以降はこの慣れを考慮するために、元々のコストの値を $\frac{1}{2^{(\text{回数}-1)}}$  していくこととする。また、同じ解法を a 回計算を行った結果のコストの値を a、その解法が持つ元々のコストの値を b、同じ解法を使った回数 n とした計算式 (4.1) が以下である。

$$S_n = \sum_{i=2}^n (a_{i-1}) + \left( \frac{b}{2^{n-1}} \right) \quad (4.1)$$

ただし、慣れがあったとしても難易度が一定以下に下がることは無い。なぜなら同じ解法を用いたとしても、それを見つける手間があるためである。これを考慮するため、上記の数式を繰り返し、解法が持つ元々のコストの値の $\frac{1}{10}$ を下回った場合、以降は数式に当てはめず元々のコストの値の $\frac{1}{10}$ の値を加算することとする。

## 4.6 コストによる難易度判定

本研究では、コストによる難易度をより実際の問題の難易度設定に近付けるため、難易度を7段階に分けることとする。コストによる難易度を7段階に分けるため、偏差値を用いた。偏差値をもとに難易度を7段階に分ける際に、偏差値は50が最も平均的な値であることから、偏差値47.5～偏差値52.5を7段階の中間の値である難易度4とする。以降偏差値が5下がると難易度が1下がり、偏差値が5上がると難易度が1上がるものとする。

そして、偏差値とコストの関係を調べるため、解法抽出時に使用した250問のコストを判定した。次にその結果をグラフとして記す。

難易度が「らくらく」と表記している問題、これは難易度では「簡単」を意味している。難易度が簡単の問題、計116問のコスト算出結果をグラフ4.7に示す。

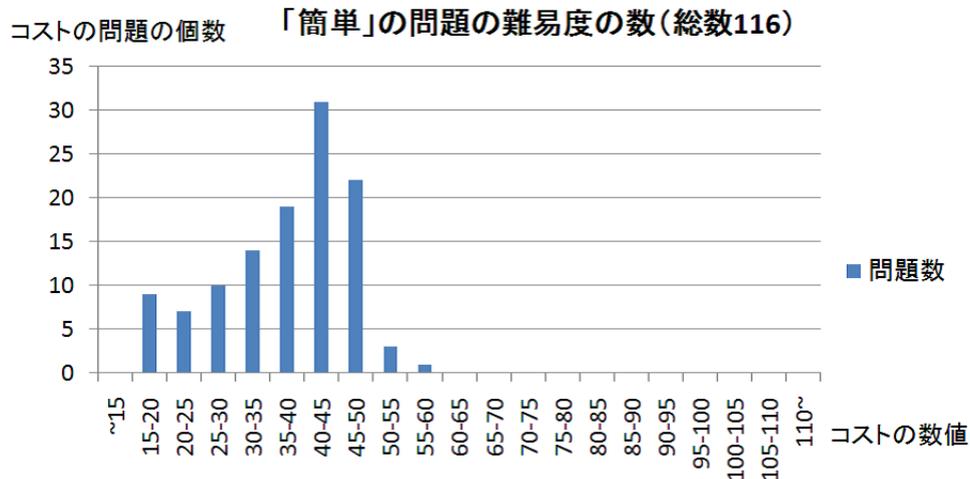


図4.7: 簡単な問題のコスト算出結果

難易度が「おてごろ」と表記している問題、これは難易度では「ふつう」を意味している。難易度がふつうの問題、計77問のコスト算出結果をグラフ4.8に示す。

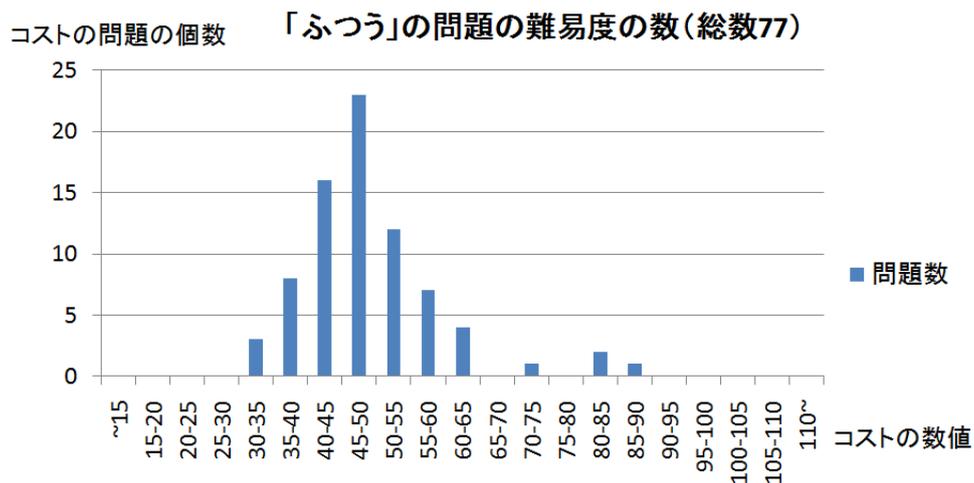


図4.8: ふつうの問題のコスト算出結果

難易度が「たいへん」と表記している問題、これは難易度では「難しい」を意味

している。難易度が難しいの問題、計57問のコスト算出結果をグラフ4.9に示す。

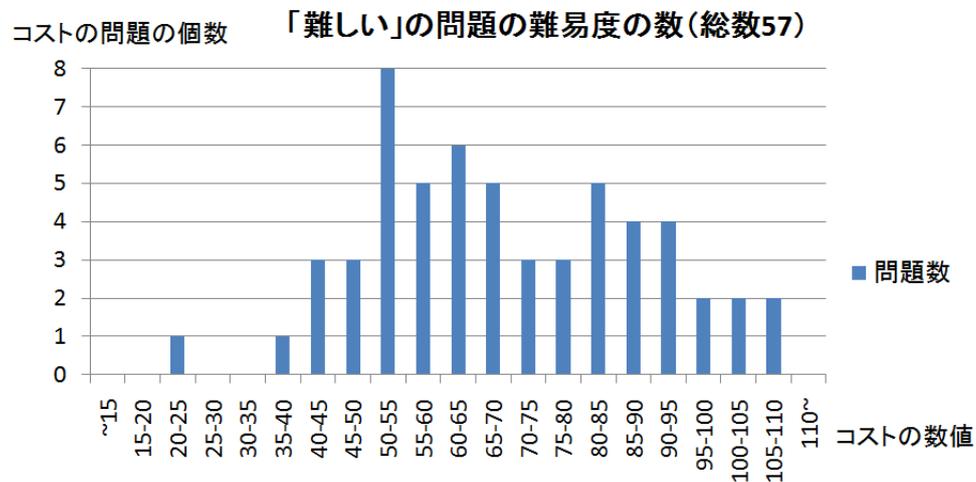


図4.9: 難しい問題のコスト算出結果

これら計250問1つのグラフにまとめたものを、グラフ4.10に示す。

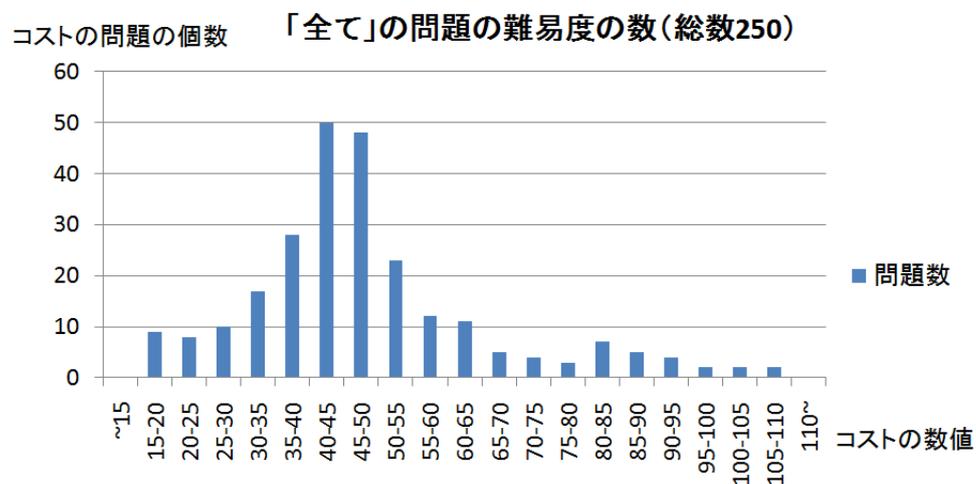


図4.10: 250問コスト算出結果

これらの結果からわかるように、元々難易度が低い問題は、コストが低い傾向がある。また、250問のコスト結果から偏差値を求めた。表4.8にコストと偏差値及び難易度の関係を記す。

表 4.8: 難易度、偏差値、コストの関係

難易度	偏差値	コスト
1	37.5以下	25.987以下
2	37.5~42.5	25.987~34.879
3	42.5~47.5	34.879~43.770
4	47.5~52.5	43.770~52.662
5	52.5~57.5	52.662~61.554
6	57.5~62.5	61.554~70.445
7	62.5以上	70.445以上

# 第 5 章

## 検証と考察

本章では、先の章で定まったコストによる 7 段階の難易度判定結果が有効であるか検証した。本検証の目的は、本手法による難易度設定と、解き手が感じる難易度が近いものであるかを検証することである。

### 5.1 検証方法

- 実験方法

検証目的のため、被験者に本手法の難易度判定結果をもとに、難易度 1 から難易度 7 までの計 7 問を答えてもらう。その後、被験者が実際に感じた難易度を 7 段階で調査した。また、その他に難易度に関わっていると推測できる各問の解くのにかかった時間、間違えた回数を同時に調査した。

- 調査対象

20 人

- 調査時期

2011 年 1 月

- 調査目的

本手法の難易度判定結果が、解き手が感じる難易度と近いものであるかどうか、また難易度設定として有効なものであるかどうかを調査する。

### 5.1.1 アンケート内容

コストによる7段階の難易度判定結果が有効であることを検証するため、アンケートを行った。アンケートの詳細を次に示す。

#### (1) アンケート用問題の用意

調べる対象となる難易度1から7までのそれぞれの問題を既存の問題から用意した。その際、選ぶ問題はコスト算出時に使用した250問の中から各難易度の偏差値の中央値に最も近い問題かつ全7問が同じ解法を使わないよう選択した。例えば、難易度4となる偏差値47.5～52.5の場合、偏差値50に最も近い問題を選択した。また、問番号と難易度は同一のものである。例えば、問1は難易度1の問題である。

#### (2) アンケートによって調べるデータ

各難易度の有効性を調べるため、事前アンケート同様に解くのにかった時間、間違えた回数を計測した。また、今回は被験者が実際に感じた難易度を統計する必要があるため、被験者には各問に関して感じた難易度となる主観の順位をアンケートとして調査した。主観の順位を調査する方法は、全ての問題終了後、難易度1から難易度7までの7段階で各問題を分けることとした。この時、難易度を同じ程度に感じた問題があれば、同難易度として分けることは可能とした。

#### (3) アンケート用プログラムの利用

本アンケートで用いるアンケート用プログラムは事前アンケートで使用したものと同一のものであり、問題データのみを変更した物を利用する。

## 5.1.2 アンケート結果

表 5.1 はアンケート結果を示したものである。

表 5.1: 解き手が感じた難易度のアンケート結果

	問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7
各問の難易度	1	2	3	4	5	6	7
各問のコスト	17.05	30.65	40.05	48.275	58.7	65.05	85.9
主観による難易度の平均	1.3	2.25	3.055556	3.611111	5.117647	5.9375	6.375

また表 5.2 は難易度に関わっていると推測される解くのにかかった時間、間違えた回数のアンケート結果を示したものである。

表 5.2: 解くのにかかった時間、間違えた回数のアンケート結果

	問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7
解くのにかかった時間の平均値	67.8	298.6471	182.2222	304.6667	560.75	440.3125	616.9375
間違えた回数の平均値	1.8	4.941176	1.555556	4.5	4.8125	3.375	5.375

## 5.2 考察

本アンケートの結果から、主観による難易度の順位と本手法が設定した難易度の相関係数は 0.993 とほぼ一致しており、本手法で行った難易度判定方法が解き手が感じる難易度と非常に近いものが設定できたことが分かった。また、解くのにかかった時間の平均と本手法が設定した難易度の相関係数は 0.898 であり、本手法と一致する傾向が出ている。しかし、間違えた回数の平均と本手法が設定した難易度の相関係数は 0.538 であり、本手法の難易度との関係は見られなかった。

本アンケートによって、解くのにかかった時間と主観による順位の相関係数を調べたところ、0.909 と高い一致性が出ており、解き手が感じる難易度と解くのにかかった時間は関係性が高いことも判明した。しかし、間違えた回数と主観による順位の相関係数は 0.520 であったことから、解き手が感じる難易度は間違えた回数との関係性は低いことが判明した。

## 第 6 章

### まとめ

本研究では、美術館における解法を抽出し、各解法を細分化した工程にそれぞれコストを設定することで、美術館の難易度を判定する手法を提案した。この手法による難易度判定結果と、実際に解き手が感じる難易度の比較を行い、難易度判定結果が解き手が感じる難易度と一致していることが分かった。これによって、美術館の難易度設定において、解き手が要望する難易度に近い難易度を判定できるようになった。

美術館の解法は 25 種類と述べ、3 章ではその概要を述べたが、その後解法が増える可能性や、未だ未発見の解法が存在する可能性がある。仮に、新たな解法が作られた場合は、その解法のコストを計算し、難易度判定に組み込む必要がある。また、本研究では勘や運によるトライアンドエラーは考慮しないこととした。美術館の本質は理詰めで問題を解くことのため対象外としたが、問題によってはトライアンドエラーの場合容易に解けることがある。トライアンドエラーを考慮した難易度判定の実現は今後の課題になり得る。

本研究では、美術館では最も基本的な  $10 \times 10$  のサイズを対象とした。だが、美術館には  $18 \times 10$ 、 $24 \times 14$  といったように更に大きいサイズの問題も存在する。サイズの異なる問題に関してはコストが明らかになっている解法を使う問題であれば、同様にコストによる難易度を求めることができることが分かった。ただし、難易度は複数の問題と比較しどの程度の難しさであるか求めるものである。その

ため、新たなサイズの問題を制作した場合、コストを求めることはできるが、コストから難易度を推測することは困難である。

今後の展望として、本研究での難易度判定方法や解法抽出プログラムを用いて、自動で問題を解き難易度判定を行えることから、望む難易度の問題を自動生成することも可能であると推測できる。

# 謝辞

本論文を締めくくるにあたり、終始適切なお指導を頂きました渡辺大地講師、三上浩司講師をはじめ、日頃から研究のサポートをして頂いたゲームサイエンスプロジェクトの皆様に心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] ニコリ, "ペンシルパズル本 97 美術館 1," 株式会社ニコリ, 2004.
- [2] ニコリ, "ペンシルパズル本 109 美術館 2," 株式会社ニコリ, 2005.
- [3] ニコリ, "ペンシルパズル本 139 美術館 3," 株式会社ニコリ, 2009.
- [4] 株式会社ニコリ, "ニコリの数独 +3 数独 カッコロ 美術館 ひとりにしてくれ," 株式会社ニコリ, 2011.
- [5] ニコリ公式サイト 美術館のおためし問題.  
<http://www.nikoli.com/ja/puzzles/bijutsukan/>
- [6] ニコリ, "美術館 01 どっさり," 株式会社ニコリ. <http://mobile-nikoli.com/>
- [7] ニコリ, "美術館 02 どっさり," 株式会社ニコリ. <http://mobile-nikoli.com/>
- [8] ニコリ, "美術館 03 どっさり," 株式会社ニコリ. <http://mobile-nikoli.com/>
- [9] ニコリ, "美術館 04 どっさり," 株式会社ニコリ. <http://mobile-nikoli.com/>
- [10] ニコリ, "美術館 05 どっさり," 株式会社ニコリ. <http://mobile-nikoli.com/>
- [11] ハドソン, "パズルシリーズ Vol.12 AKARI 美術館," 2007.  
<http://www.hudson.co.jp/puzzle/akari/>

- [12] 小野智司, "ナンバープレースの難易度解析と問題作成支援," 情報処理学会火の国情報シンポジウム, 2009.
- [13] 松原康夫, "数独の推論規則と難易度に関する考察," 情報処理学会研究報告, 2006.
- [14] 伊藤誠, "ナンバープレース解法アルゴリズムと For-tran による実装," 技術報告 1 大阪産業大学経済論集, 2006.
- [15] 佐藤金吾, "「イラストパズル」の難易度について," 法政大学多摩研究報告, 2008.
- [16] Rhyd, L, Metaheuristics can solve sudoku puzzles, Journal of Heuristics, Vol. 13, No. 4, pp, 2007.
- [17] Moraglio, A., Togelius, J. and Lucas, S.: Product Geometric Crossover for the Sudoku Puzzle, Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 2006.
- [18] Mantere, T. and Koljonen, J.: Solving, rating and generating Sudoku puzzles with GA, Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 2007.
- [19] Mantere, T. and Koljonen, J.: Solving and Analyzing Sudokus with Cultural Algorithms, Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp. 2008.
- [20] Simonis, H.: Sudoku as a Constraint Problem, Proceedings of 4th International Workshop on Modelling and Reformulating Constraint Satisfaction Problems, pp. 2005.

- [21] Lynce, I. and Ouaknine, J.: Sudoku as a SAT problem, roceedings of the 9 th International Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics, Springer 2006.
- [22] ニコリ, ニコリ 95 号, 株式会社ニコリ, 2001.

# 付録 A

## 解法の詳細

付録 A では 25 種類の解法の詳細を述べる。ここで解法の詳細は、全て一例を用いて説明する。なお、図中の×は照明を置けないマスを表す。そして、図中の棒線部は黒マス、黒ヒントマス、外枠にぶつかるまでのマスが照明を置けないマスであることを示す。

### 1. 単純発生

単純発生 の条件は縦 3 × 横 3 のサイズの時、B2 に黒ヒントマスの 4 があることである。また、B2 に黒ヒントマス 1、2、3 のいずれかがあり、B2 の上下左右のマス目にある白マスの数が黒マスによって埋まっている。この時、B2 の上下左右にある白マスの数が、黒ヒントマスの数と同じ場合も単純発生を行うことができる。これを図 A.1 に示す。

単純発生 の条件を満たした後、実行結果は B2 の上下左右の白マスに照明を置くことである。

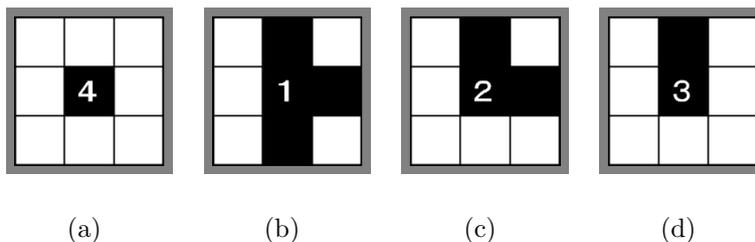


図 A.1: 単純発生

## 2. 派生の単純発生

派生の単純発生の条件は縦3×横3のサイズの時、B2に黒ヒントマス1・2・3いずれかがあり、B2の上下左右のマス目が被照射マスによって埋まっている。この時、B2の上下左右にある白マスの数が、黒ヒントマスの数と同じ場合に派生の単純発生を行うことができる。これを図A.2に示す。

派生の単純発生の条件を満たした後、実行結果はB2の上下左右の白マスに照明を置くことである。

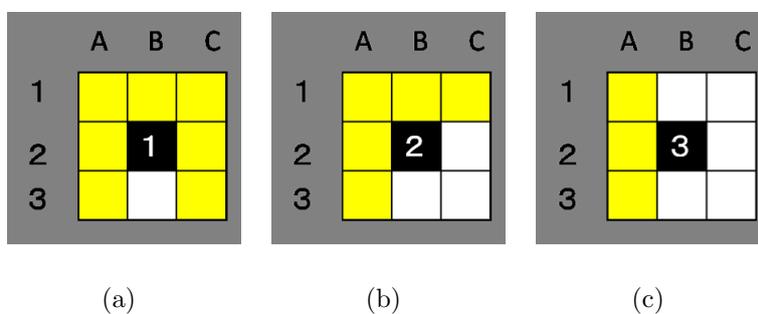


図 A.2: 派生の単純発生

## 3. 孤立

孤立の条件は縦3×横3のサイズの時、A2に白マスがありA2以外にA2を照らすことができる箇所が無い場合、孤立を行うことができる。これを図A.3(a)に示す。

孤立の条件を満たした後、実行結果はA2に照明を置くことである。これを図A.3(b)に示す。

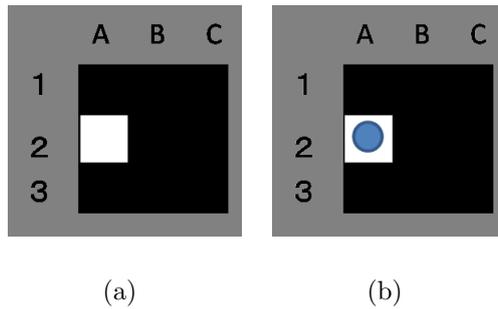


図 A.3: 孤立

#### 4. 救出

救出の条件は縦3×横3のサイズの時、A2に照明を置けないマスがあり、A2を照らすための白マスがC3のみである場合に救出を行うことができる。これを図A.4(a)に示す。

救出の条件を満たした後、実行結果はC3に照明を置くことである。これを図A.4(b)に示す。

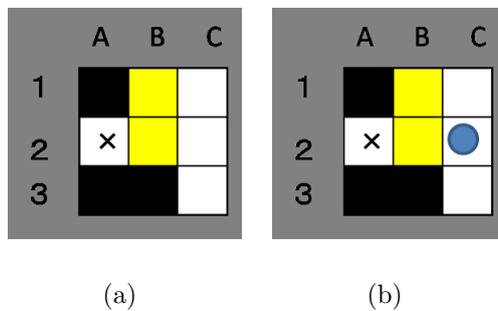


図 A.4: 救出

#### 5. 理詰め簡単

理詰め簡単の条件は縦3×横4のサイズの時、A1・A3に黒ヒントマスの1があり、かつD1が黒マスである場合、理詰め簡単を行うことができる。これを図A.5(a)に示す。

理詰め簡単な条件を満たした後、実行結果は A2 に照明を置くことである。  
これを図 A.5(b) に示す。

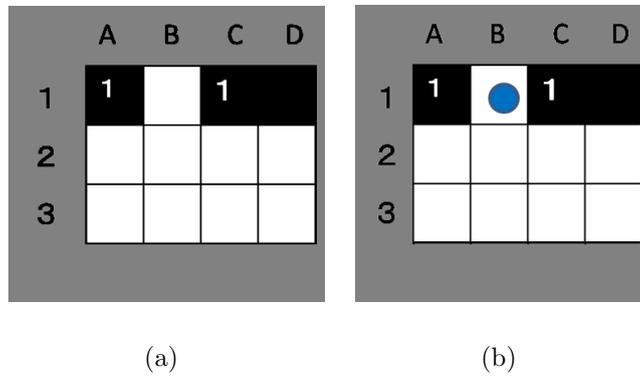


図 A.5: 理詰め簡単

## 6. 理詰め仮定

理詰め仮定の条件は縦 3 × 横 4 のサイズの時、A3 に照明を置けないマスがあり、A3 を照らすための白マスが A1・A2 にしかない。そして、C2 に黒ヒントマスの 3 がある場合、理詰め仮定を行うことができる。これを図 A.6(a) に示す。

理詰め仮定の条件を満たした後、実行結果は C3・D2 に照明を置くことである。これを図 A.6(b) に示す。

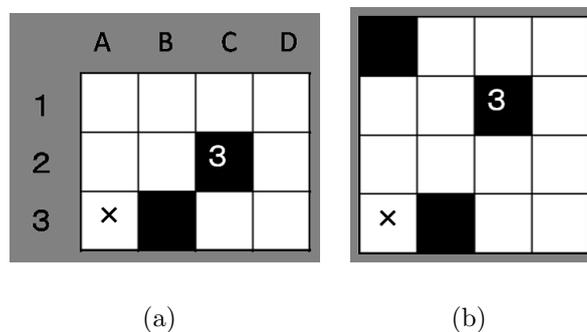


図 A.6: 理詰め仮定

## 7. 理詰め特殊仮定

理詰め特殊仮定の条件は縦4×横4のサイズの時、A1に黒ヒントマスの1があり、B4に黒ヒントマスの2がある場合、理詰め特殊仮定を行うことができる。これを図A.7(a)に示す。

理詰め特殊仮定の条件を満たした後、実行結果はC4に照明を置くことである。これを図A.7(b)に示す。

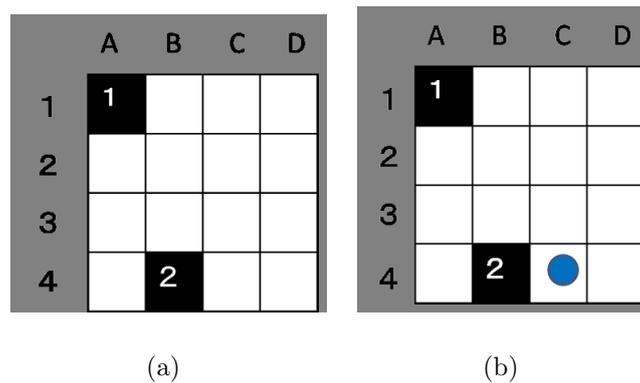


図 A.7: 理詰め特殊仮定

## 8. 単純否定

単純否定の条件は縦3×横3のサイズの時、A2に黒ヒントマスの0があることである。これを図A.8(a)に示す。

単純否定の条件を満たした後、実行結果はA2の上下左右のマスを照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.8(b)に示す。

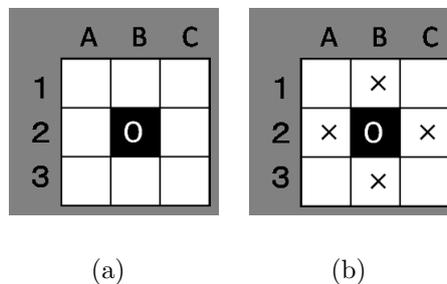


図 A.8: 単純否定

## 9. 派生の単純否定

派生の単純否定の条件は縦3×横4のサイズの時、C2に黒ヒントマスの1・2・3いずれかがあり、C2の上下左右のマスを照明がある。この時、C2の上下左右の照明の数が、黒ヒントマスの数と同じ場合に派生の単純否定を行うことができる。これを図A.9(a)に示す。

派生の単純否定の条件を満たした後、実行結果はC2の上下左右のマスを照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.9(b)に示す。

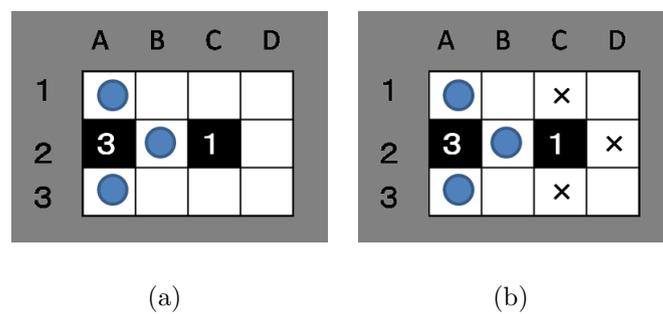
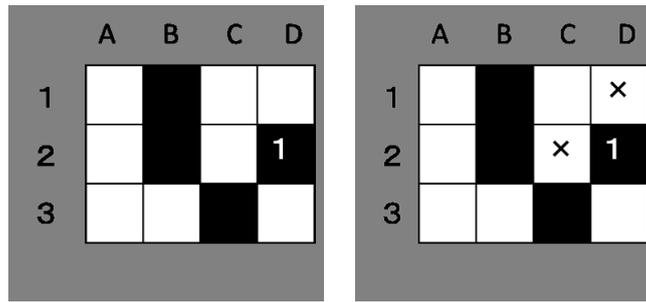


図 A.9: 派生の単純否定

#### 10. 派生の単純否定特殊

派生の単純否定特殊の条件は縦3×横4のサイズの時、D2に黒ヒントマスの1があり、かつB1・B2・C3がそれぞれ黒マスの時に、派生の単純否定特殊を行うことができる。これを図A.10(a)に示す。

派生の単純否定特殊の条件を満たした後、実行結果はC2・D1が照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.10(b)に示す。



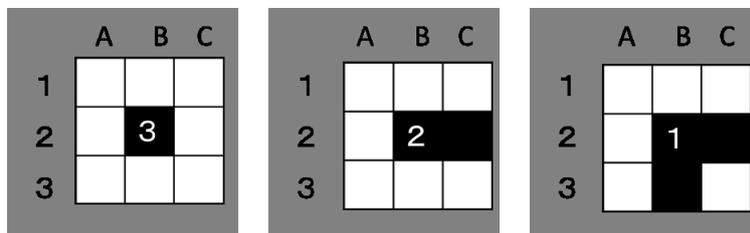
(a) (b)

図 A.10: 派生の単純否定特殊

### 11. 斜め否定

斜め否定の条件は縦3×横3のサイズの時、B2に黒ヒントマスの3があることである。または、B2に黒ヒントマスの1又は2があり、かつB2の上下左右の白マスの数が、黒ヒントマスの数より1つ多い時に斜め否定を行うことができる。これを図 A.11 に示す。

斜め否定の条件を満たした後、黒ヒントマスが3の実行結果はB2の斜めのマスを照明を置けないマスとして確定することである。また、黒ヒントマスが1又は2の実行結果は、B2の斜めのマスであり、かつB2の上下左右のマスにある黒マスと隣接しないマスに対して、照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.12 に示す。



(a) (b) (c)

図 A.11: 斜め否定

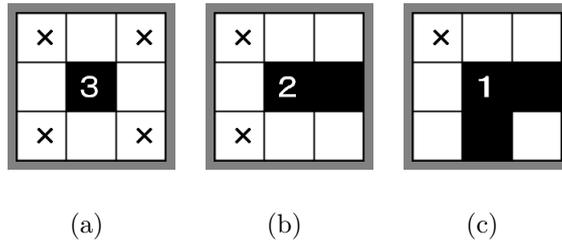


図 A.12: 斜め否定実行結果

12. 斜め 1・2・1

斜め 1・2・1 の条件は縦 5 × 横 5 のサイズの時、B2・D4 に黒ヒントマスの 1 があり、かつ C3 に黒ヒントマスの 2 がある場合に行うことができる。これを図 A.13(a) に示す。

斜め 1・2・1 の条件を満たした後、実行結果は A2・B1・D5・E4 を照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.13(b) に示す。

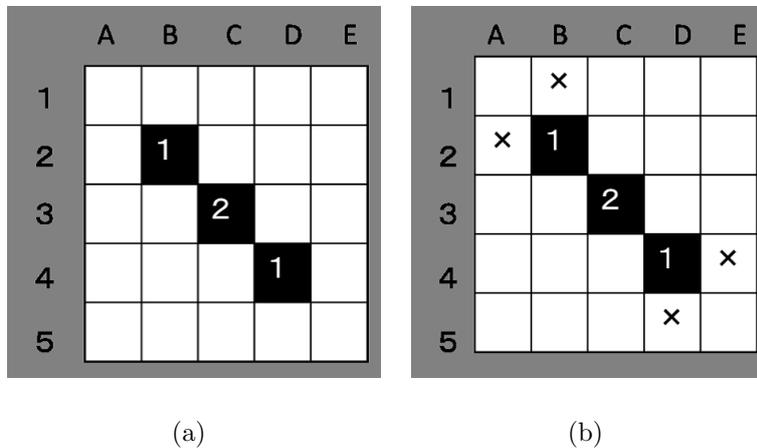


図 A.13: 斜め 1・2・1

13. 理詰め特殊限定

理詰め特殊限定の条件は縦 3 × 横 3 のサイズの時、A1 に照明を置けないマスがある。そして、A3・B3・C1・C2 がそれぞれ黒マスの場合、理詰め特殊限定を行うことができる。これを図 A.14(a) に示す。

理詰め特殊限定の条件を満たした後、実行結果は B2 を照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.14(b) に示す。

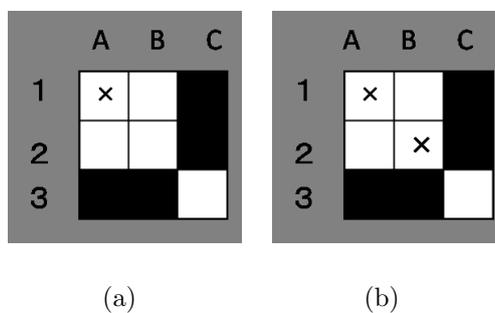
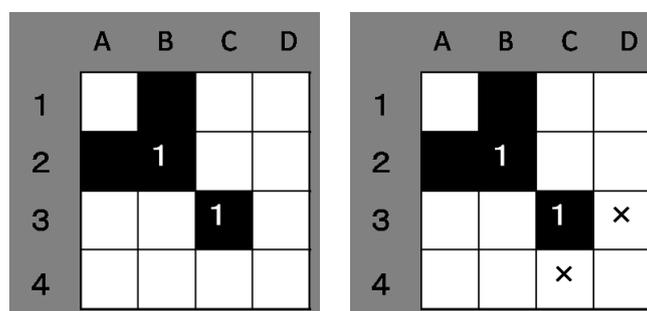


図 A.14: 理詰め特殊限定

#### 14. 複合斜め否定 1・1

複合斜め否定 1・1 の条件は縦 4 × 横 4 のサイズの時、B2・C3 に黒ヒントマスの 1 がある。そして、A2・B1 が黒マスである場合、複合斜め否定 1・1 を行うことができる。これを図 A.15(a) に示す。

複合斜め否定 1・1 の条件を満たした後、実行結果は C4・D3 を照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.15(b) に示す。



(a)

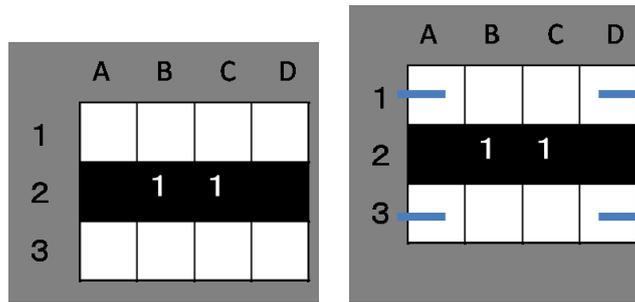
(b)

図 A.15: 複合斜め否定 1・1

#### 15. 1・1 コンボ

1・1 コンボの条件は縦 3 × 横 4 のサイズの時、B2・C2 に黒ヒントマスの 1 がある。そして、A2・D2 が黒マスである場合に、1・1 コンボを行うことができる。これを図 A.16(a) に示す。

1・1 コンボの条件を満たした後、実行結果は B1・C1 を除く 1 列及び B3・C3 を除く 3 列が照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.16(b) に示す。



(a)

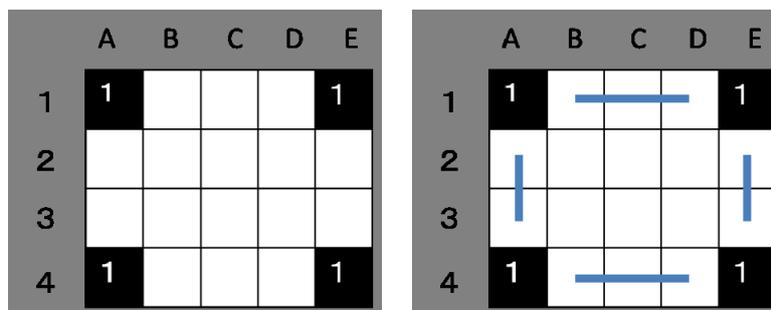
(b)

図 A.16: 1・1 コンボ

## 16. 1・1 囲み

1・1 囲みの条件は縦4×横5のサイズの時、A1・A4・E1・E4にそれぞれ黒ヒントマスの1がある場合に行うことができる。これを図 A.17(a) に示す。

1・1 囲みの条件を満たした後、実行結果はそれぞれ黒ヒントマスの1の間のマスを照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.17(b) に示す。



(a)

(b)

図 A.17: 1・1 囲み

### 17. 1・救出コンボ

1・救出コンボの条件は縦3×横4のサイズの時、A2に照明を置けないマスがあり、かつA2を照らすことができる場所がA1・A3にしかない。そして、C2に黒ヒントマスの1があり、B2・D2に黒マスがある場合に、1・救出コンボを行うことができる。これを図A.18(a)に示す。

1・救出コンボの条件を満たした後、実行結果はA1・C1を除く1列及びA3・C3を除く3列が照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.18(b)に示す。

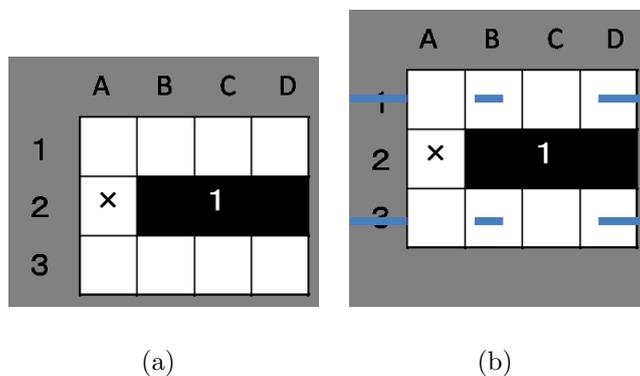


図 A.18: 1・救出コンボ

### 18. 救出特殊

救出特殊の条件は縦4×横4のサイズの時、A2・C2に照明を置けないマスがある。そして、A2を照らすための箇所がA3・B2のみであり、C2を照らすための箇所がB2・C3・C4のみである場合、救出特殊を行うことができる。これを図A.19(a)に示す。

救出特殊の条件を満たした後、実行結果はB4を照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.19(b)に示す。

	A	B	C	D
1	0		0	
2	x		x	
3				
4				

(a)

(b)

図 A.19: 救出特殊

## 19. アスピリンボックス

アスピリンボックスの条件は縦3×横4のサイズの時、B1・C1が照明を置けないマスである。そして、B1を照らすための箇所がB2・B3のみであり、C1を照らすための箇所がC2・C3のみである場合にアスピリンボックスを行うことができる。これを図 A.20(a) に示す。

アスピリンボックスの条件を満たした後、実行結果はB2・C2を除く2列及びB3・C3を除く3列が照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.20(b) に示す。

	A	B	C	D
1	0	x	x	0
2	x			x
3				

(a)

	A	B	C	D
1	0	x	x	0
2	x			x
3				

(b)

図 A.20: アスピリンボックス

## 20. 複合斜め否定1・3

複合斜め否定1・3の条件は縦4×横4のサイズの時、B2に黒ヒントマスの3があり、C3に黒ヒントマスの1がある場合に行うことができる。これを図A.21(a)に示す。

複合斜め否定1・3の条件を満たした後、実行結果はA2・B1に照明を置くこと及びC4・D3を照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.21(b)に示す。

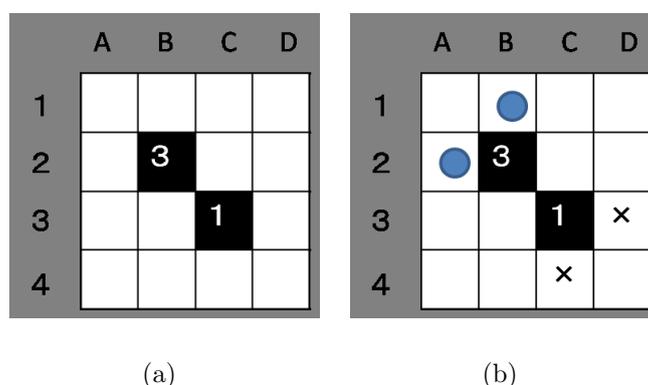
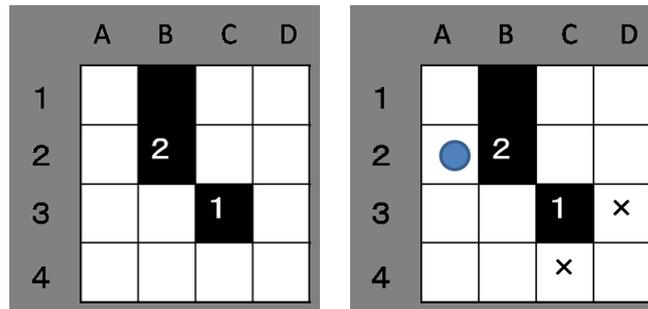


図 A.21: 複合斜め否定1・3

21. 複合斜め否定1・2

複合斜め否定1・2の条件は縦4×横4のサイズの時、B2に黒ヒントマスの2があり、C3に黒ヒントマスの1がある。そして、B1が黒マスである場合に、複合斜め否定1・2を行うことができる。これを図A.22(a)に示す。

複合斜め否定1・2の条件を満たした後、実行結果はA2に照明を置くこと及びC4・D3を照明を置けないマスとして確定することである。これを図A.22(b)に示す。



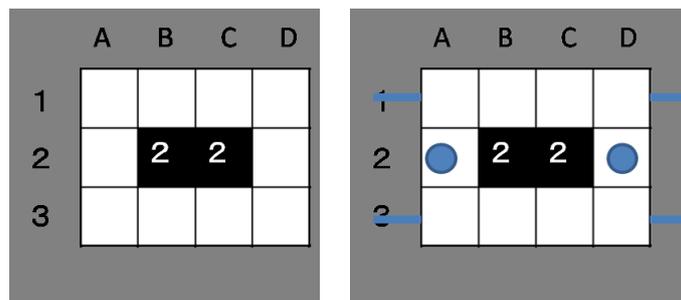
(a) (b)

図 A.22: 複合斜め否定 1・2

22. 理詰め 2・2

理詰め 2・2 の条件は縦 3 × 横 4 のサイズの時、B2・C2 に黒ヒントマスの 2 がある場合に行うことができる。これを図 A.23(a) に示す。

理詰め 2・2 の条件を満たした後、実行結果は A2・D2 に照明を置くことである。さらに、B1・C1 を除く 1 列及び B3・C3 を除く 3 列を照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.23(b) に示す。



(a) (b)

図 A.23: 理詰め 2・2

### 23. 1・2 コンボ

1・2 コンボの条件は縦3×横4のサイズの時、B2に黒ヒントマスの1があり、C2に黒ヒントマスの2がある。そして、A2が黒マスである場合に、1・2 コンボを行うことができる。これを図 A.24(a) に示す。

1・2 コンボの条件を満たした後、実行結果は D2 に照明を置くことである。さらに、B1・C1を除く1列及びB3・C3を除く3列を照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.24(b) に示す。

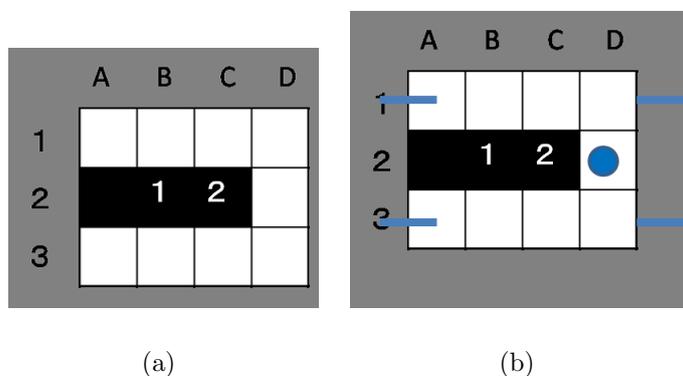


図 A.24: 1・2 コンボ

### 24. 2・救出コンボ

2・救出コンボの条件は縦3×横4のサイズの時、A2に照明を置けないマスがあり、C2に黒ヒントマスの2がある。そしてB2が黒マスである場合、2・救出コンボを行うことができる。これを図 A.25(a) に示す。

2・救出コンボの条件を満たした後、実行結果は D2 に照明を置くことである。さらに、A1・C1を除く1列及びA3・C3を除く3列を照明を置けないマスとして確定することである。これを図 A.25(b) に示す。

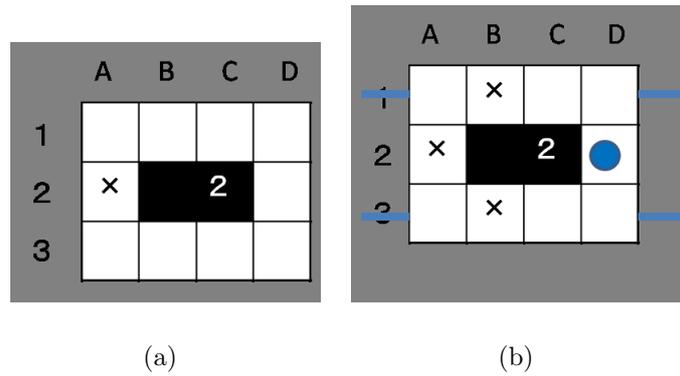


図 A.25: 2・救出コンボ

25. 斜め1・2易

斜め1・2易の条件は縦3×横4のサイズの時、B2に黒ヒントマスの2があり、C1に黒ヒントマスの1がある。そして、D1が黒マスの場合、斜め1・2易を行うことができる。これを図A.26(a)に示す。

斜め1・2易の条件を満たした後、実行結果はA2・B3を照明を置く可能性がある場所と限定することである。これを図A.26(b)に示す。

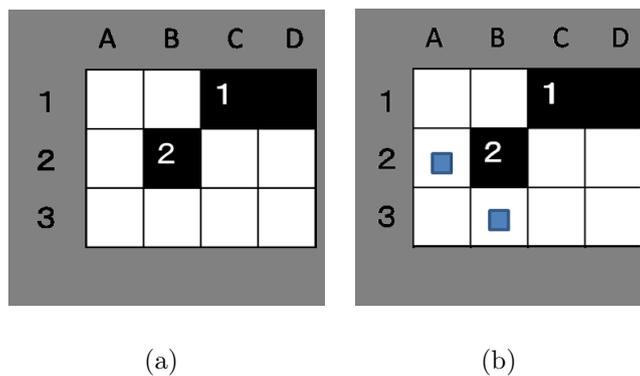


図 A.26: 斜め1・2易