

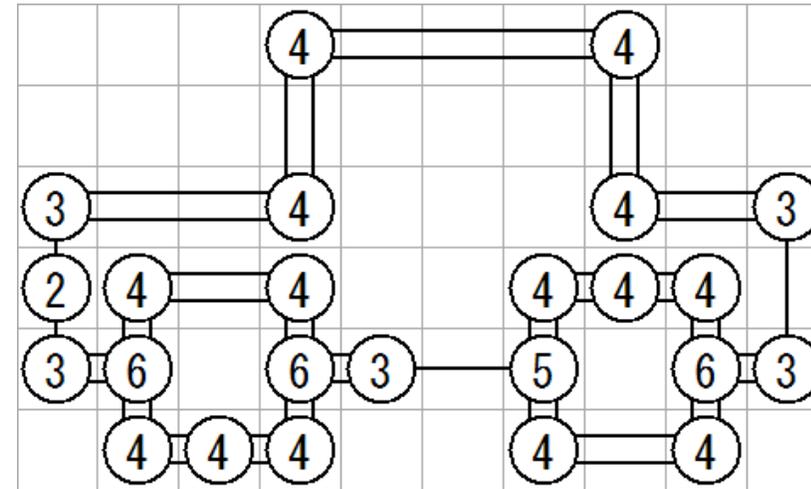
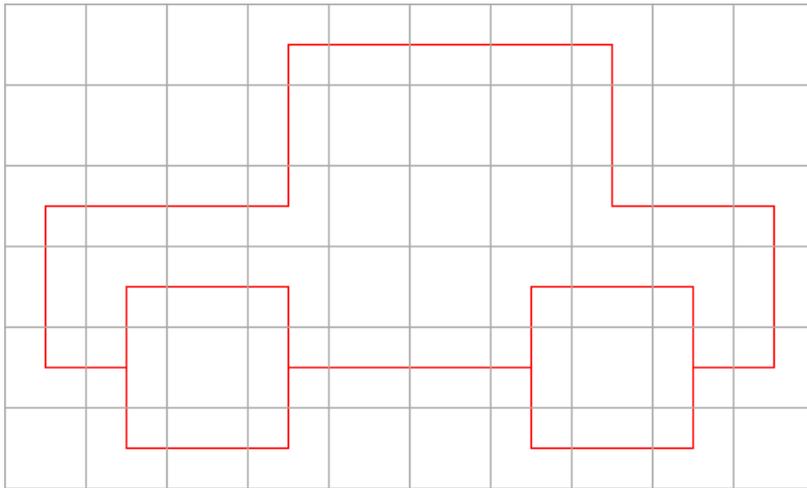
橋をかけるの解答・問題生成アルゴリズム

電気通信大学 情報・通信工学科 情報数理工学コース

岡本研究室所属 渡邊 晃一郎

本研究の目的

格子の盤面の上に描かれた絵をもとにして
「橋をかける」の問題を自動生成するアルゴリズムを作成する



作成したアルゴリズム

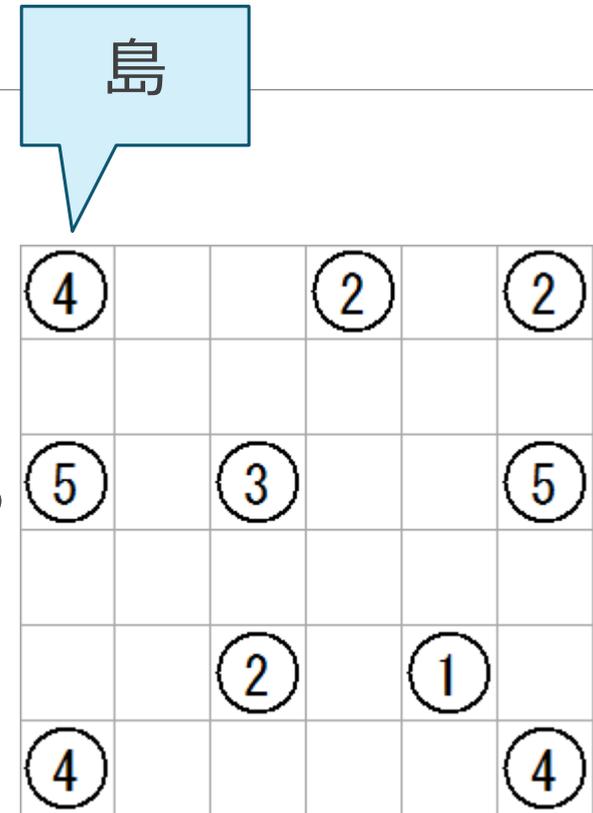
次のアルゴリズムを作成・実装した

- 「橋をかけろ」をゆるく解く、「近傍島アルゴリズム」
- 近傍島アルゴリズムを利用した解の唯一性判定アルゴリズム
- 絵をもとにした問題の生成アルゴリズム

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

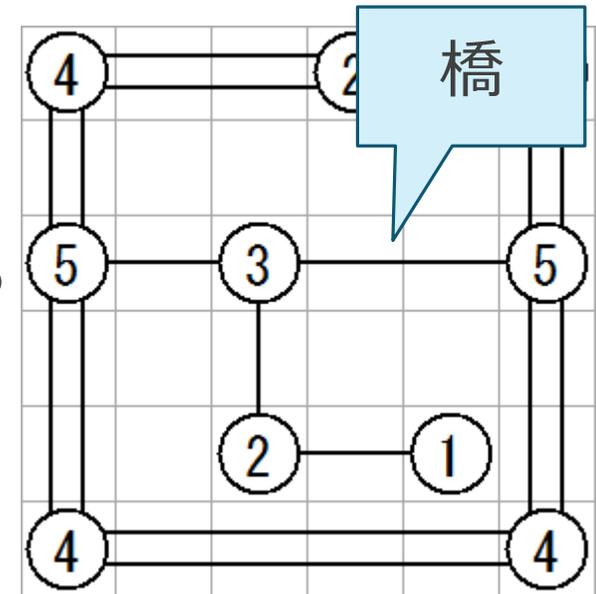


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

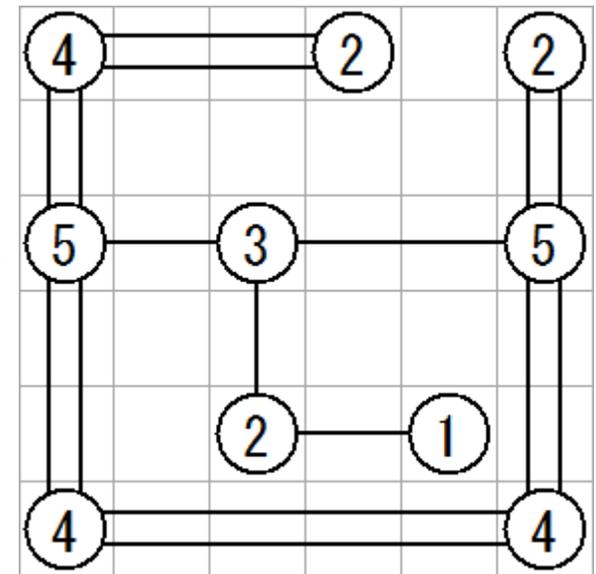


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

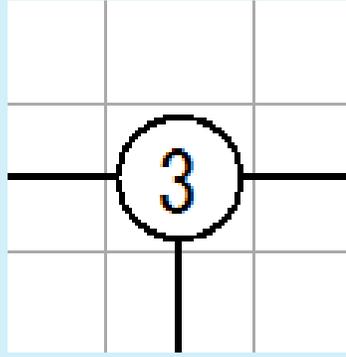
橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

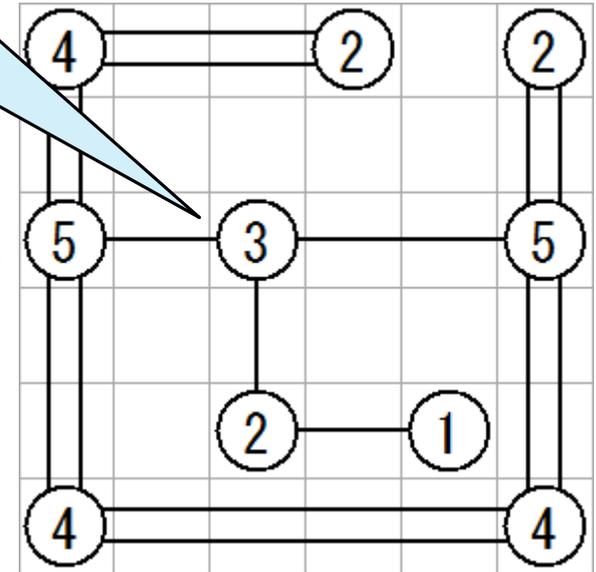


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6



3の島には
3本の橋がかかる

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

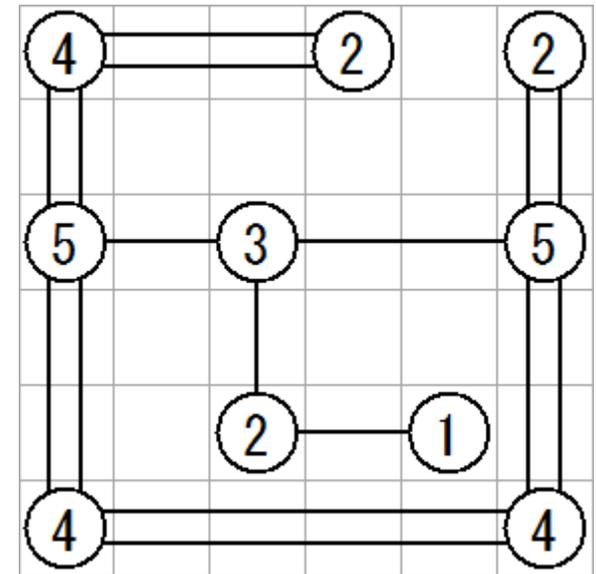


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

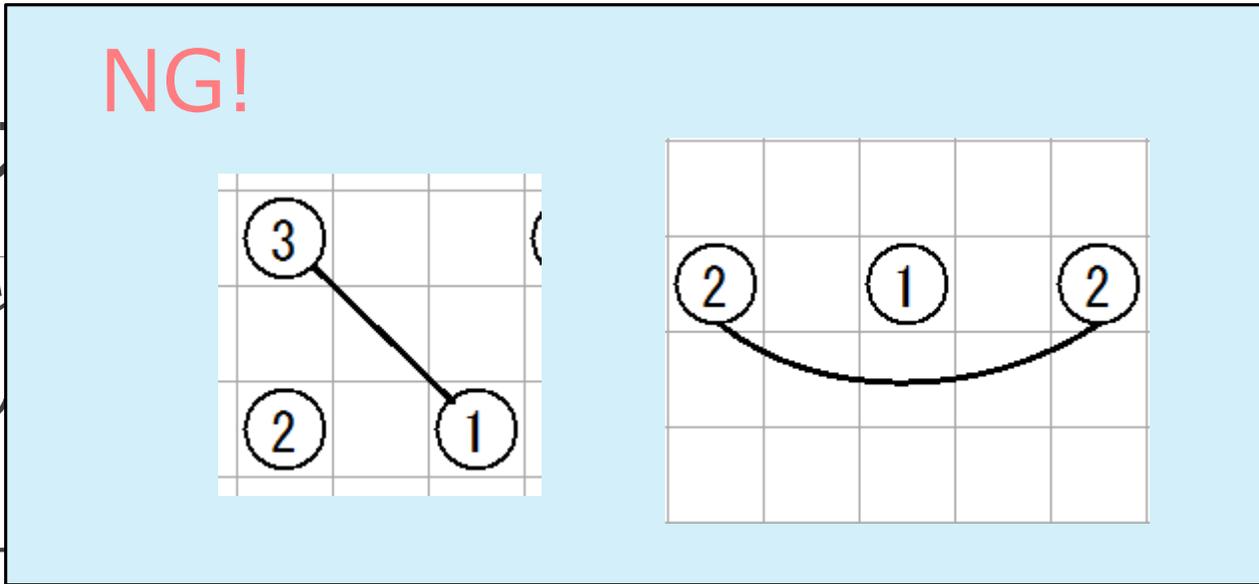
- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする



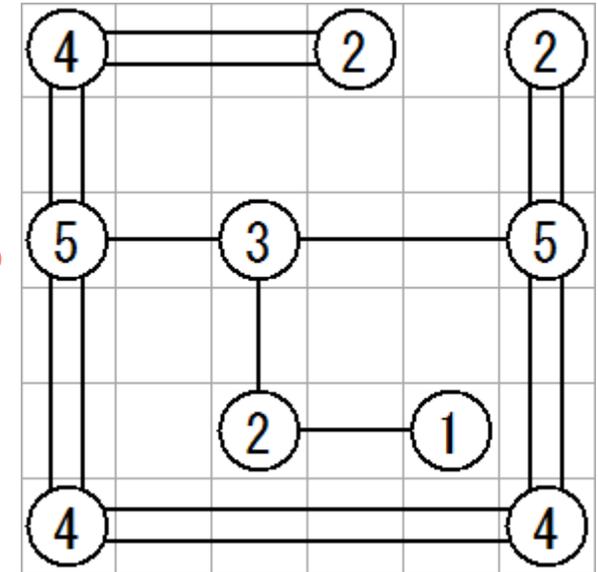
出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋

格子
次の



- 島に
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

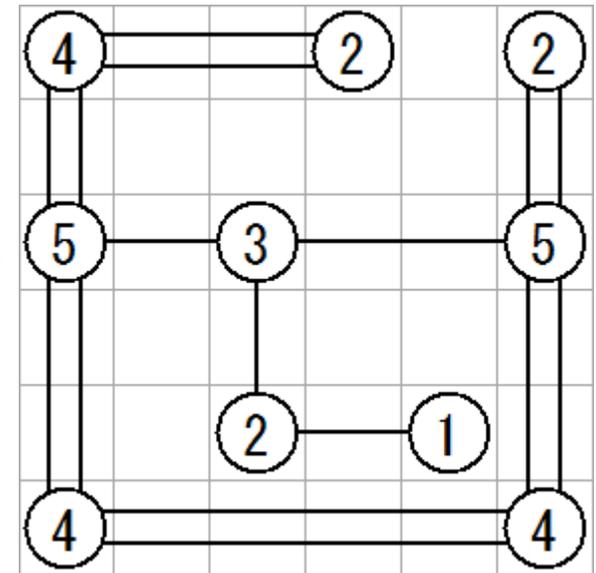


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする



出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

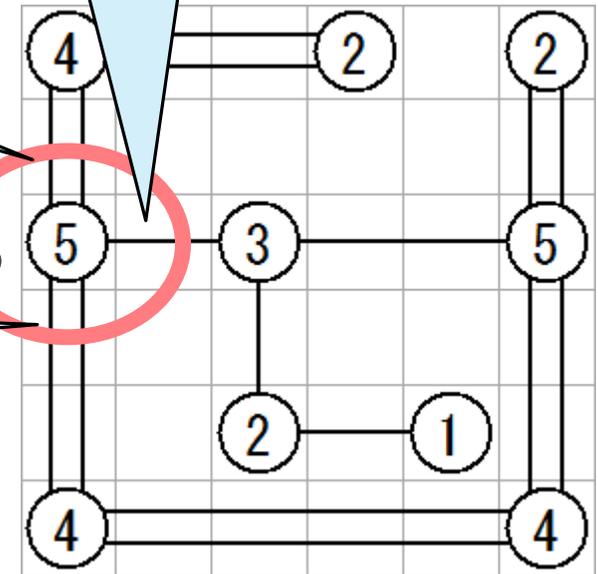
格子状の盤面に数字が書かれている。各島の数字は、その島に結ばれる橋の本数を表す。次のルールに従って橋をかける。

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右に隣接する島へ、各方向に最大で数字本の橋をかける
- 橋同士が交わってはいけません
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

右へ1本

上へ2本

下へ2本

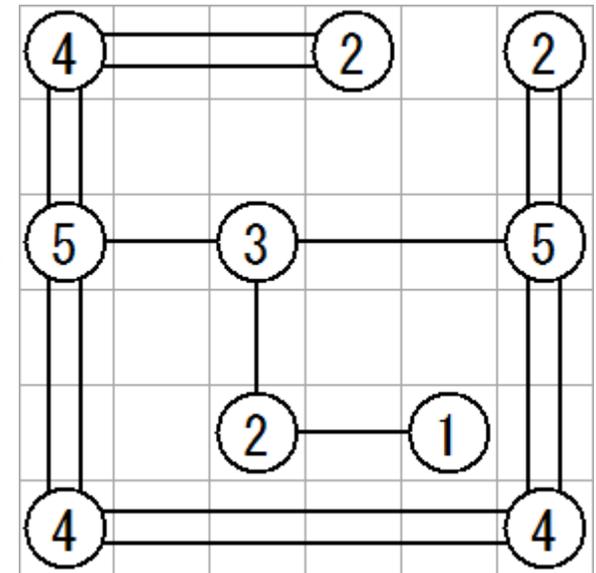


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

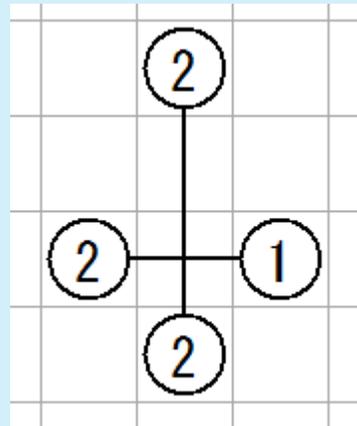


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子
次の

NG!

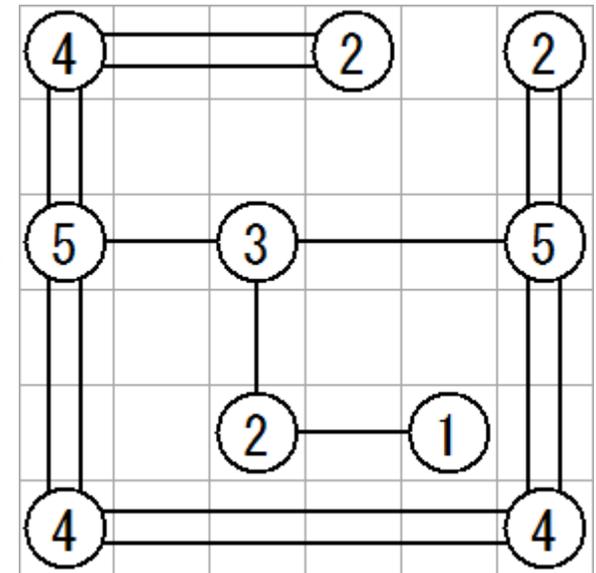


- 島
- 水
- 島

各方向に最大で2本まで

- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

れる

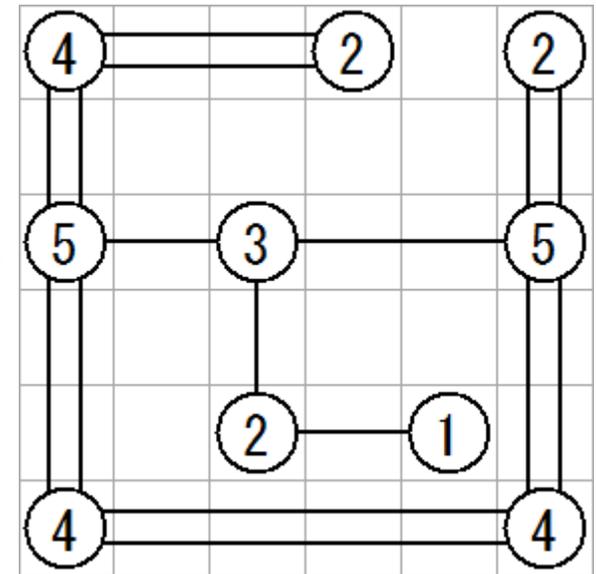


出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする



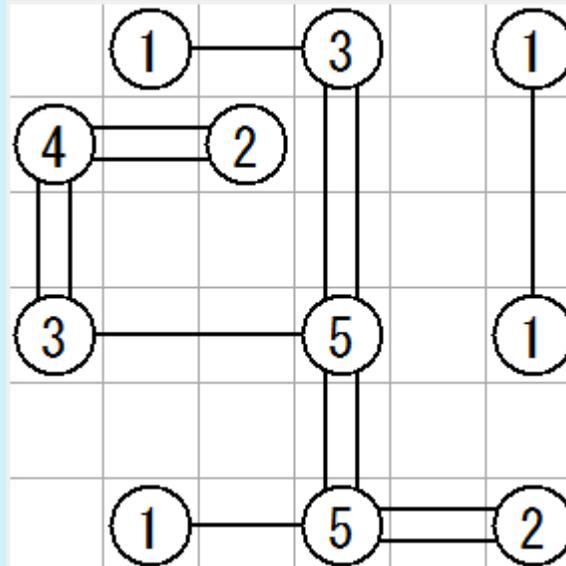
出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋

格
次

- 島
- 水
- 島
- 各
- 橋

NG!



出典:StanleyLam パズルコレクション 6x6 問題 No.40

- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

出典:StanleyLam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

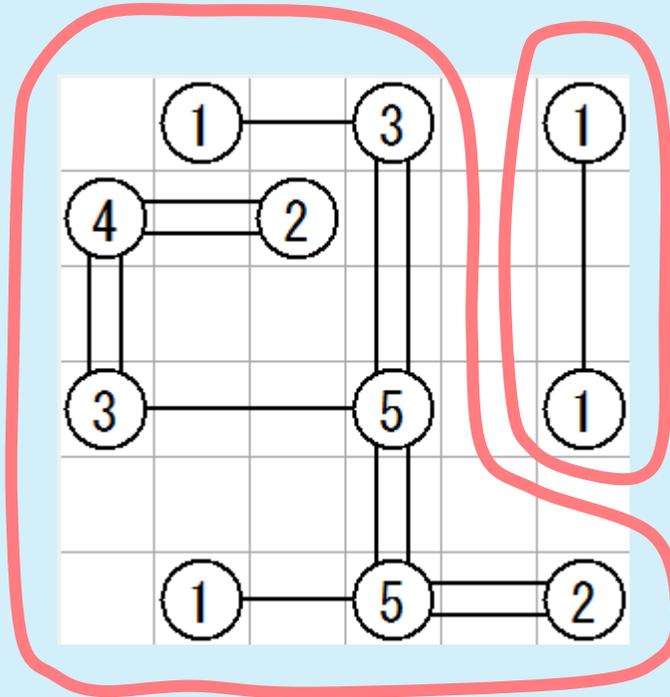
橋

格
次

- 島
- 水
- 島
- 各
- 橋

NG!

離れている！



出典:StanleyLam パズルコレクション 6x6 問題 No.40

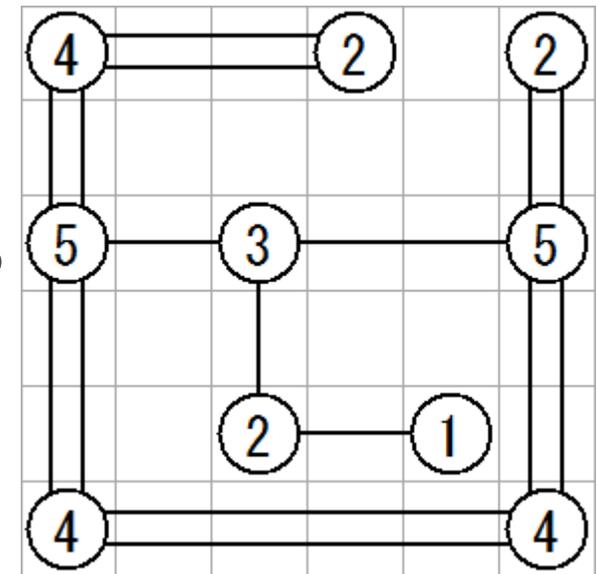
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする

出典:StanleyLam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

橋をかけるのルール説明

格子状の盤面に数字が書かれた島がある
次のルールに従って、島と島を橋で結ぶ

- 島に結ばれる橋の本数 = 島に書かれる数字
- 水平方向 か 垂直方向 に直線でのみ橋をかけられる
- 島の上下左右にかけられる橋の本数は、
各方向に最大で2本まで
- 橋同士が交わってはいけない
- 任意の島から島へ、橋を辿って渡れるようにする



出典: Stanley Lam パズルコレクション 6x6 問題 No.6

既存研究と本研究との関係

SAT型制約ソルバーのSugarを利用して
計算機上で解く試みが行われた（田村直之、「Hashiwokakero Solver in Copris」）

本研究では、唯一性判定に使うために独自のアルゴリズムを作成

既存の問題をつなぎ合わせ、新たな問題を生成する研究が
行われた（藤原博文、「商用パズルの作成支援および自動生成 四角に切れ・橋をかける」）

本研究では、絵をもとにして問題を作成する

作成したアルゴリズム

- 「橋をかけろ」をゆるく解く、「近傍島アルゴリズム」
- 近傍島アルゴリズムを利用した解の唯一性判定アルゴリズム
- 絵をもとにした問題の生成アルゴリズム

近傍島アルゴリズム

「近傍島アルゴリズム」によって「橋をかける」の解を作成する

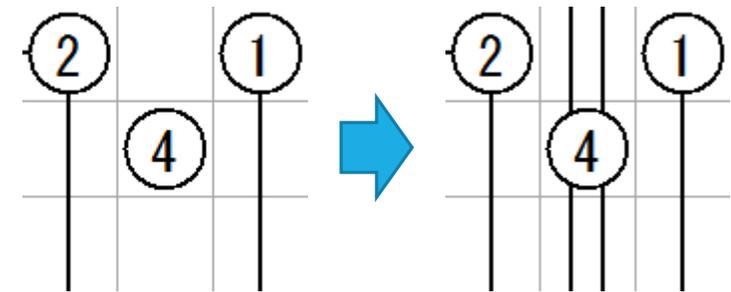
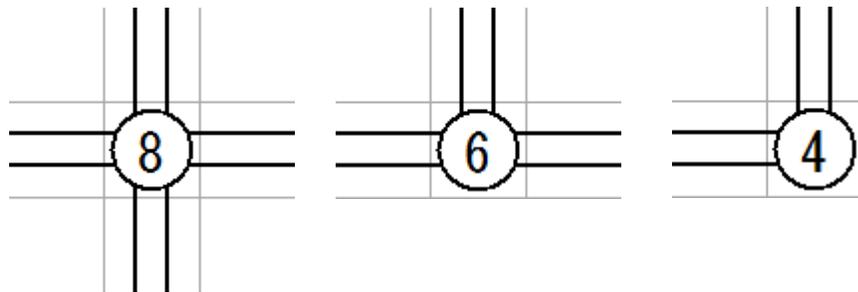
本アルゴリズムでは

1. 橋をかけられることが直ちに分かるパターン
2. 橋をかけられないことが直ちに分かるパターン

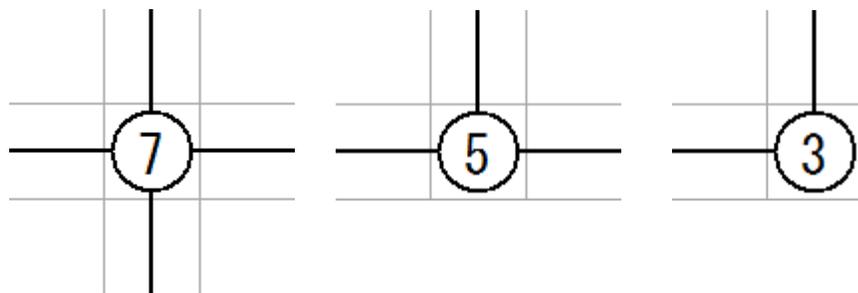
これらのパターンを使って、解を徐々に作成していく

橋をかけられるパターン

1. 島の数字と全ての方向にかけられるだけかけたときの数字が同じ

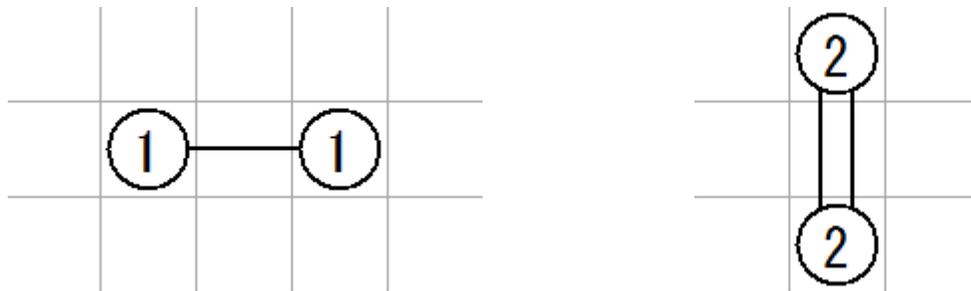


2. 全ての方向に1本ずつ橋が架かることが確定する

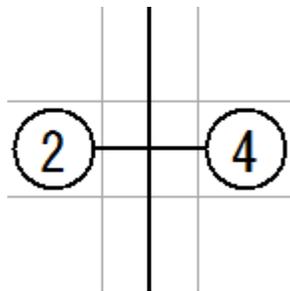


橋をかけられないパターン

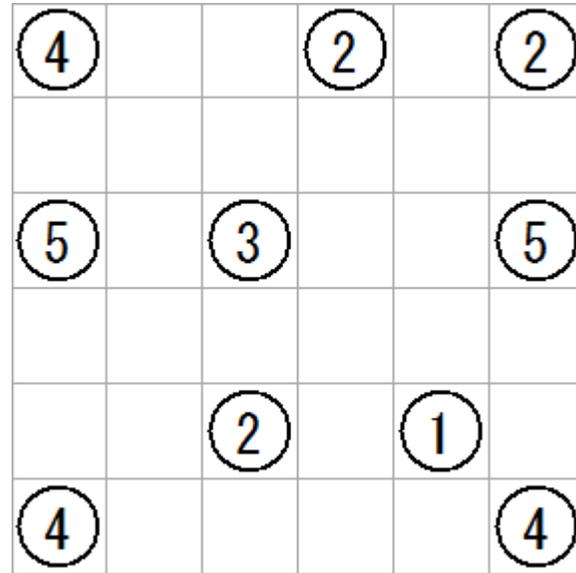
1. 1の島と1の島同士、2の島と2の島同士を2本で結ぶ



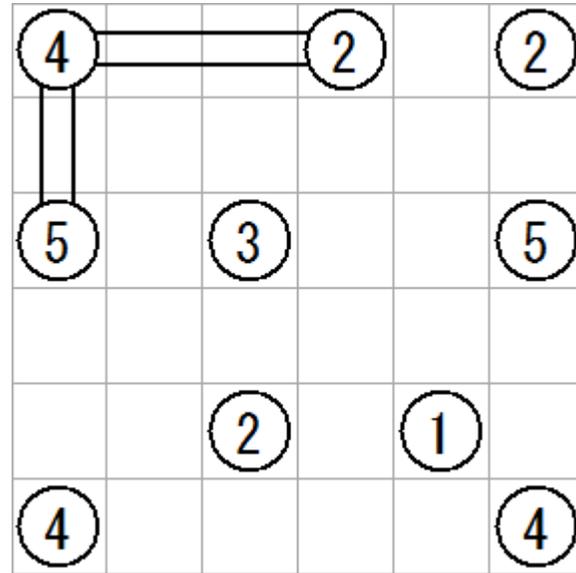
2. 橋をかけると橋同士が交わってしまう



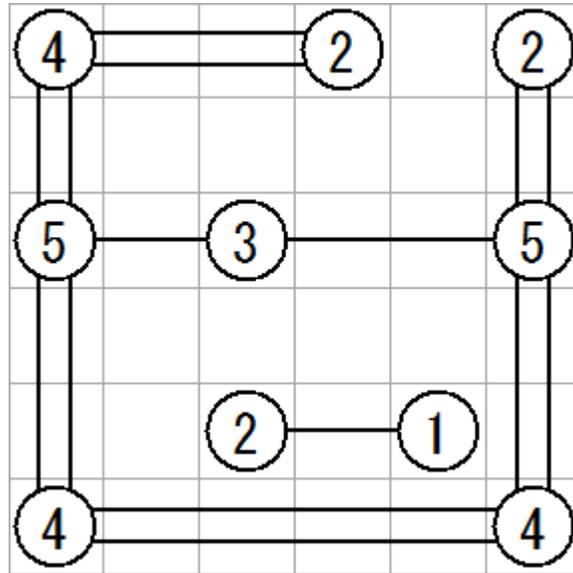
近傍島アルゴリズム 動作



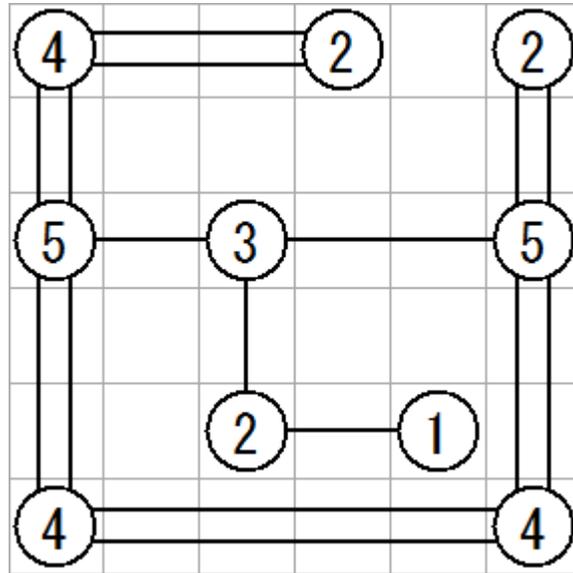
近傍島アルゴリズム 動作



近傍島アルゴリズム 動作

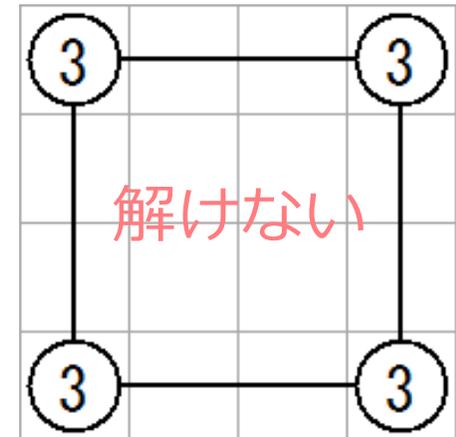
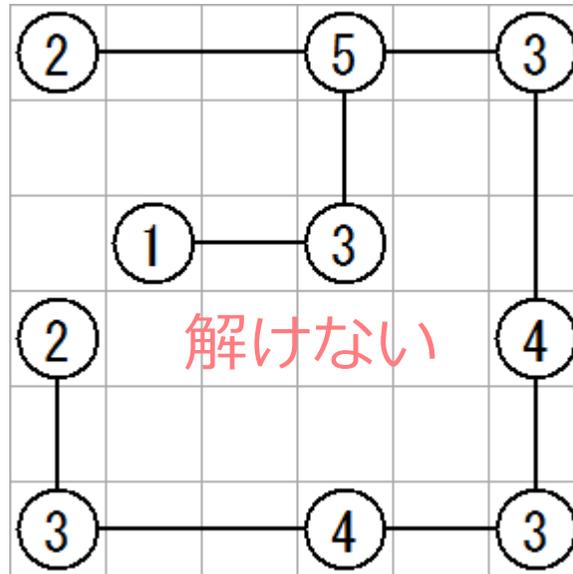
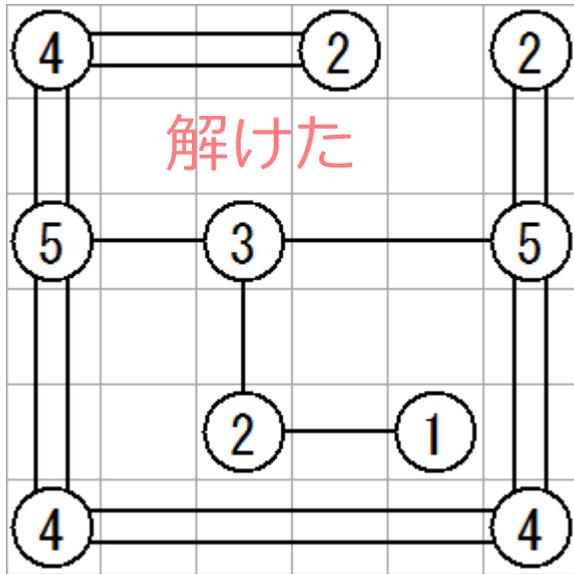


近傍島アルゴリズム 動作



近傍島アルゴリズム 特徴

- これだけでは解けない問題もある
- これによってかけられる橋は、必ず解の一部になる



出典: Stanley Lam パズルコレクション
6x6 問題 No.8

近傍島アルゴリズム 特徴

近傍島アルゴリズムで解ける → その問題は解を一つだけ持つ
近傍島アルゴリズムで解けない → その問題の解はいくつあるか分からない

近傍島アルゴリズムを

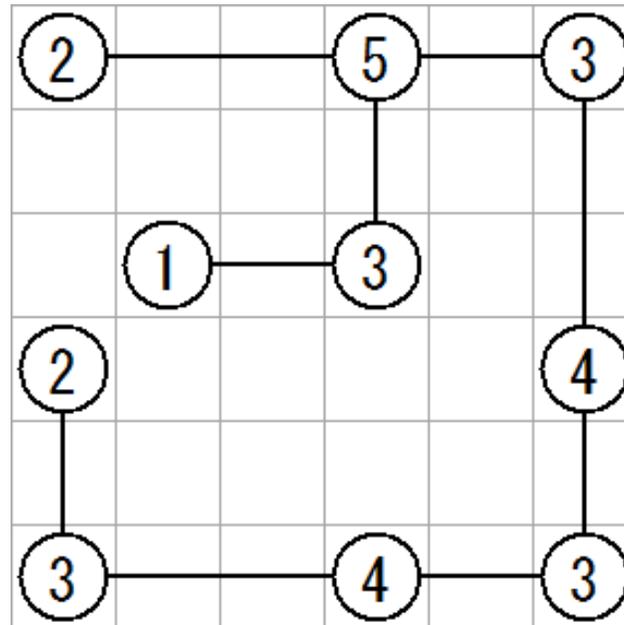
次に紹介する解の唯一性判定アルゴリズムに利用

作成したアルゴリズム

- 「橋をかけろ」をゆるく解く、「近傍島アルゴリズム」
- 近傍島アルゴリズムを利用した解の唯一性判定アルゴリズム
- 絵をもとにした問題の生成アルゴリズム

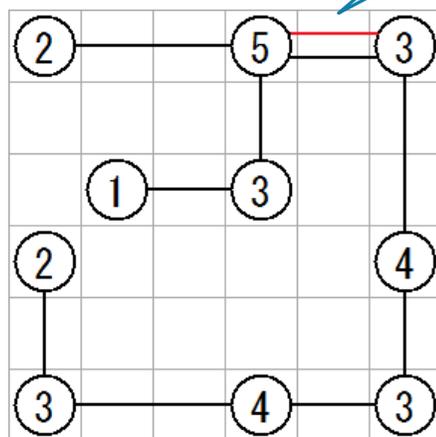
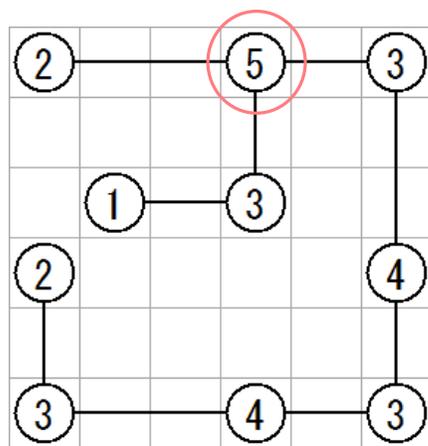
解の唯一性判定

近傍島アルゴリズムによって解けなかった問題の解は唯一か？



解の唯一性判定 探索方法

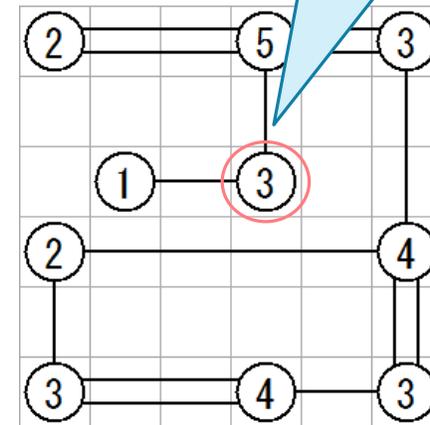
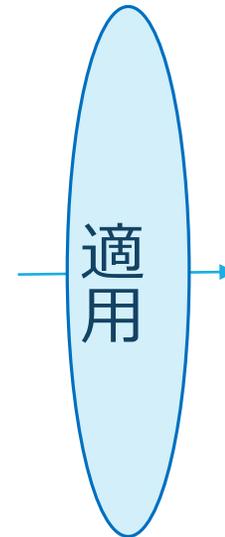
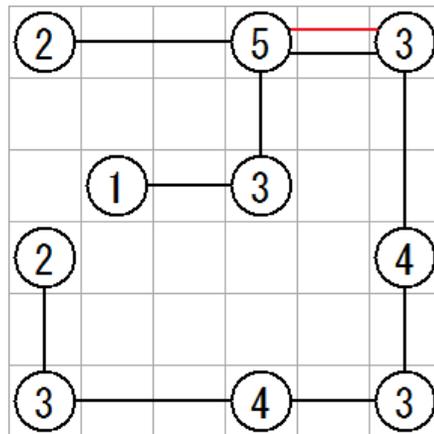
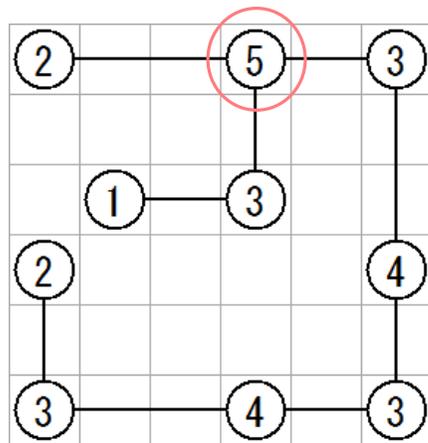
橋を仮置きして
再度、近傍島アルゴリズムを適用する



仮置き

解の唯一性判定 探索方法

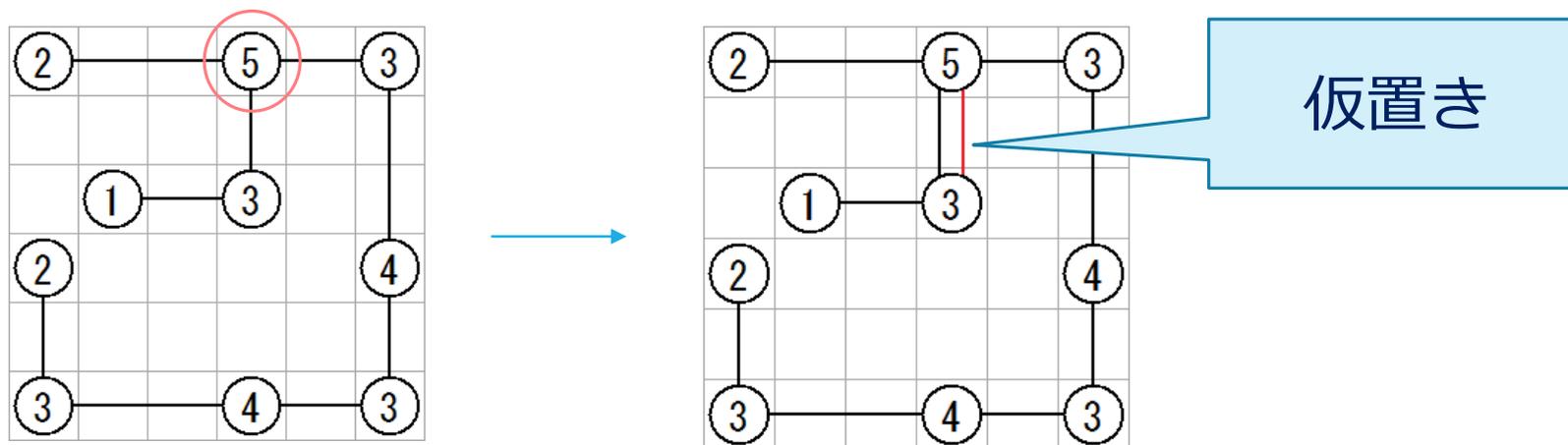
橋を仮置ききして
再度、近傍島アルゴリズムを適用する



この島に注目
解は作れない

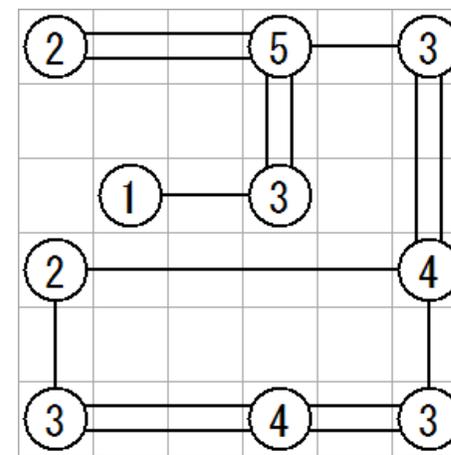
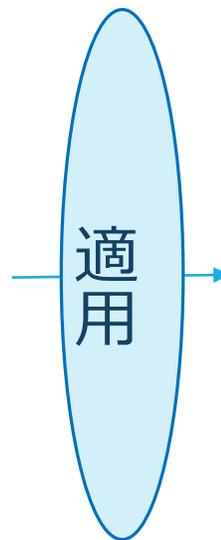
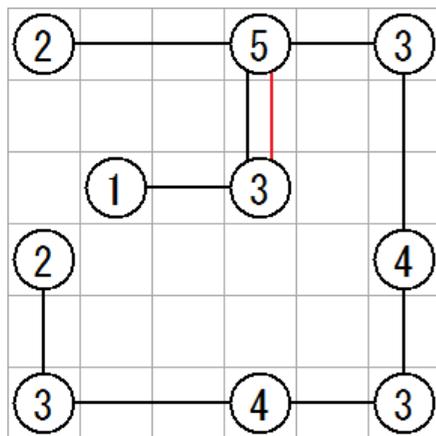
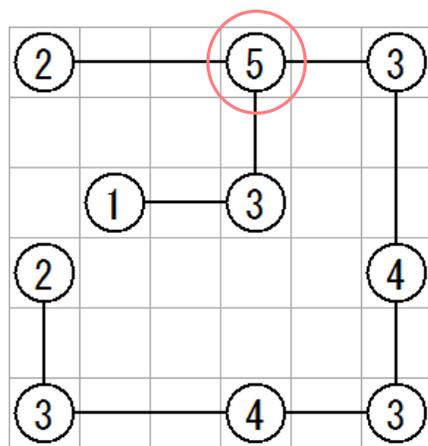
解の唯一性判定 探索方法

橋を仮置きして
再度、近傍島アルゴリズムを適用する



解の唯一性判定 探索方法

橋を仮置ききして
再度、近傍島アルゴリズムを適用する



解けた

解の唯一性判定 探索方法

近傍島アルゴリズムと仮置きを繰り返し行って
解を探索する



解が一通りしかないことを確認する

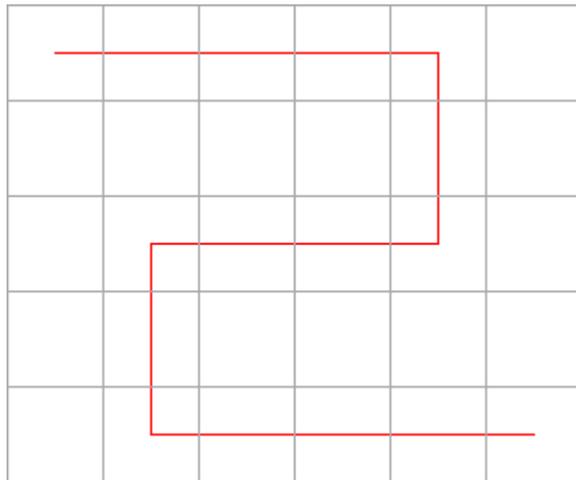
作成したアルゴリズム

- 「橋をかけろ」をゆるく解く、「近傍島アルゴリズム」
- 近傍島アルゴリズムを利用した解の唯一性判定アルゴリズム
- 絵をもとにした問題の生成アルゴリズム

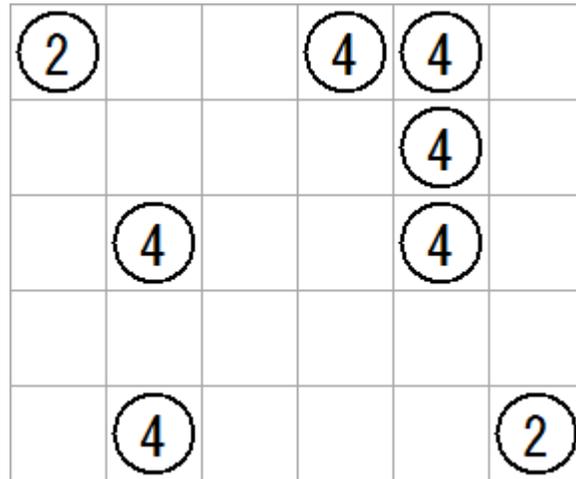
問題生成アルゴリズム

与えられた絵から、解を**一つだけ**持つような問題を生成する

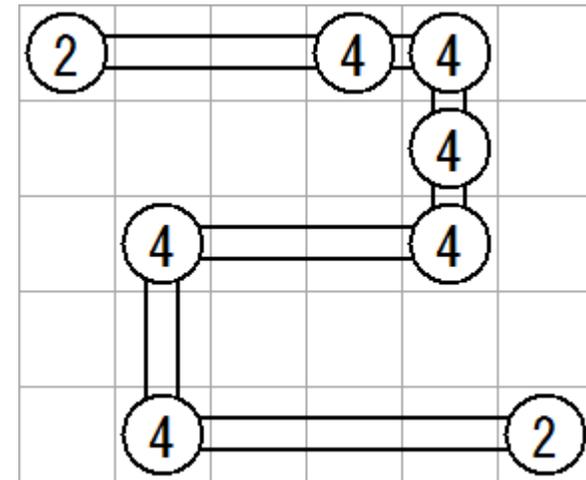
入力された絵



生成された問題

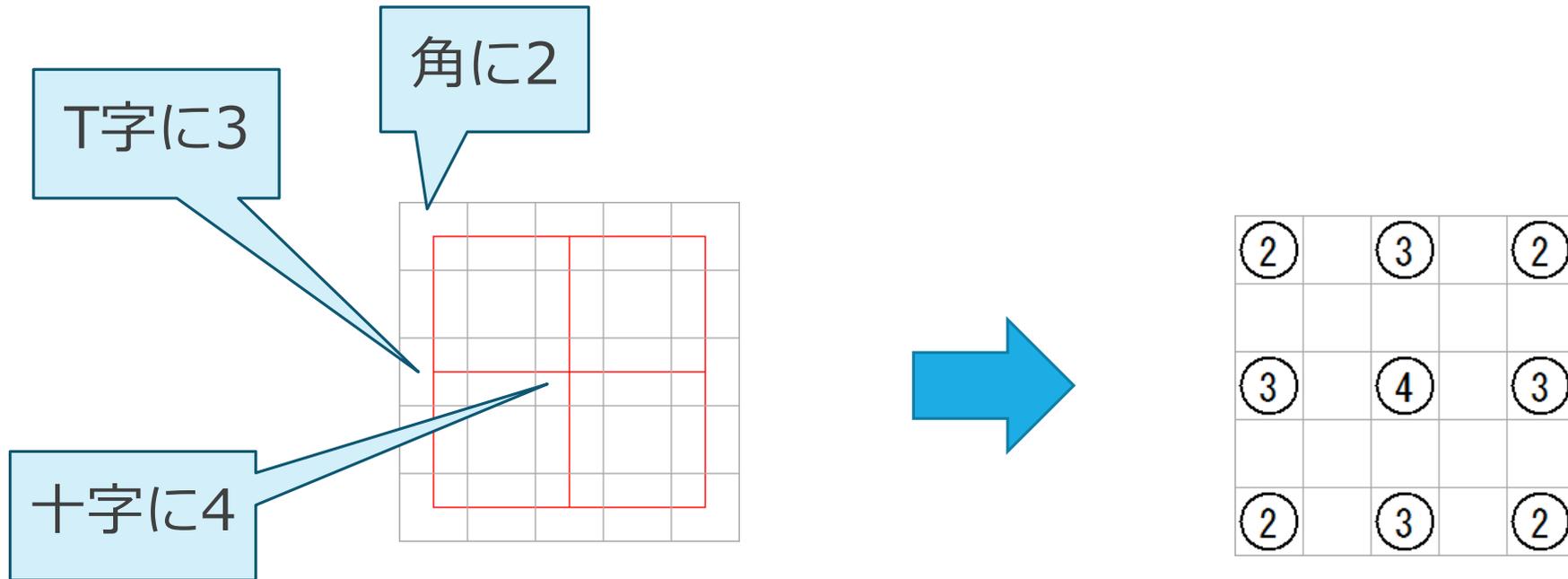


解いた結果



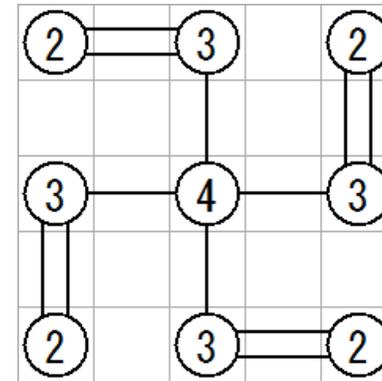
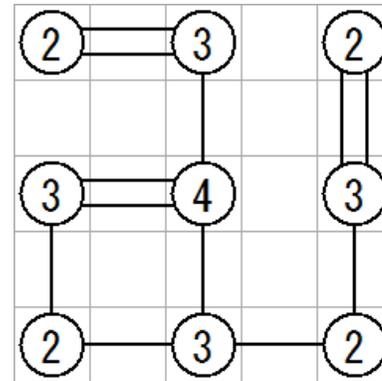
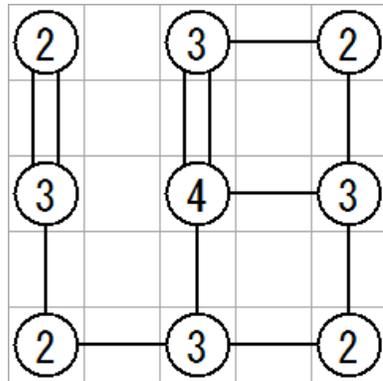
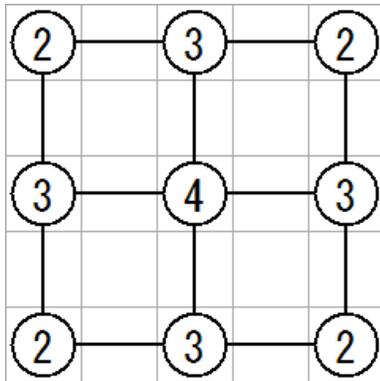
問題生成アルゴリズム ステップ 1

最初に与えられた絵に、島を置く



問題生成アルゴリズム ステップ 1

これだけでは、複数の解ができる

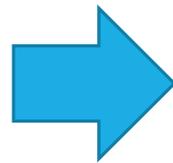
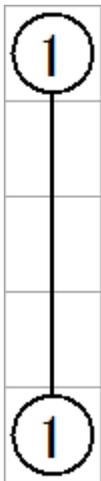


問題生成アルゴリズム ステップ 2

解の形を保ったまま、**島を追加する** または **島の数字を増やす**
線分に対して、以下の操作のいずれかを行う（乱数で選択）

島を追加する

島の数字を増やす

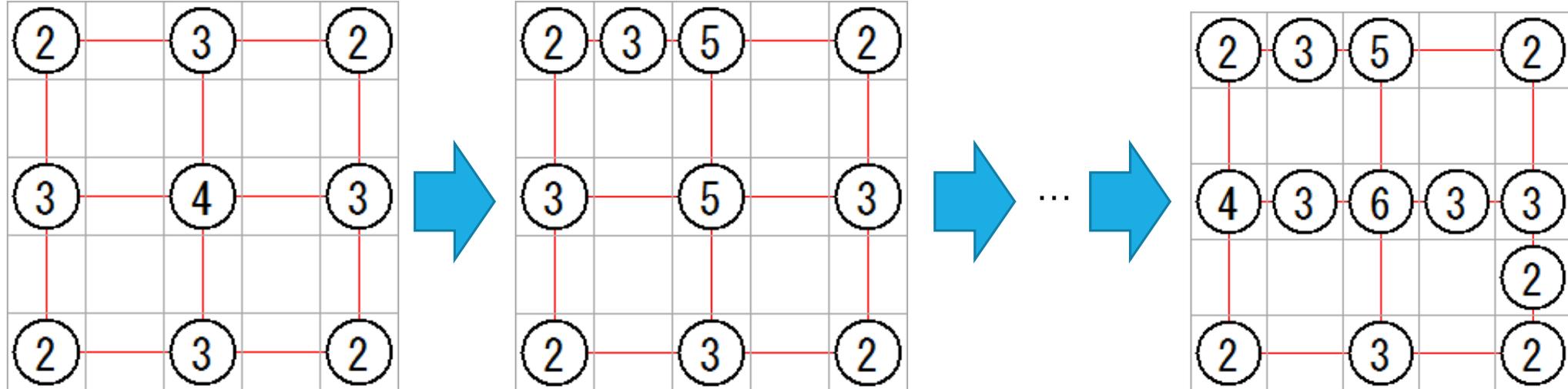


問題生成アルゴリズム ステップ 3

解の唯一性判定アルゴリズムを用いる
唯一でなかったらステップ 2 へ

解の唯一性判定アルゴリズムを使い、解が唯一となるまで繰り返す

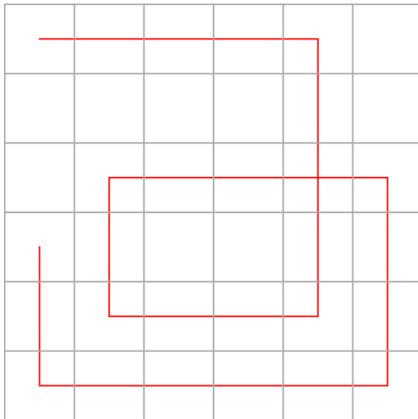
解が唯一



作成した問題

以上のアルゴリズムを Python で実装し、いくつか問題を作成した

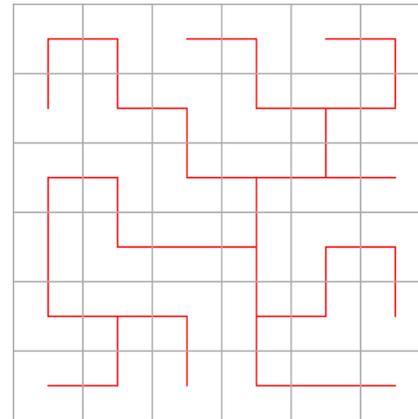
入力された絵



生成された問題

①				③	
	③			⑦	④
②					
④	③			③	④
③					③

入力された絵



生成された問題

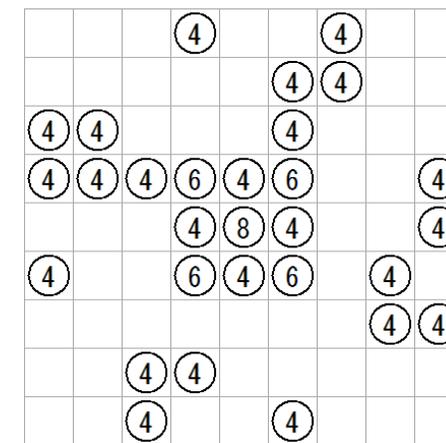
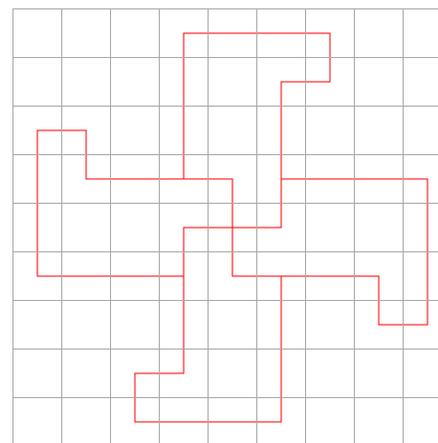
④	④	②	④	②	④
②	④	④	④	⑥	④
④	④	④	⑥	⑥	②
④	④	④	⑥	④	④
④	⑥	④	⑥	④	②
②	④	②	④		②

まとめ

次のアルゴリズムの作成と実装を行った

- 「橋をかける」をゆるく解く、「近傍島アルゴリズム」
- 近傍島アルゴリズムを利用した解の唯一性判定アルゴリズム
- 問題生成アルゴリズム

絵から唯一解を持つような問題を
自動で生成することができた



本発表の参考文献

[1] Naoyuki Tamura. Hashiwokakero Solver in Copris. <http://bach.istc.kobe-u.ac.jp/copris/puzzles/hashiwokakero/>, (参照2017-01-23)

[2] 藤原博文. 商用パズルの作成支援および自動生成 四角に切れ・橋をかけろ. <http://www.alg.cei.uec.ac.jp/itohiro/Games/130301/130301-04.pdf>, (参照2017-01-23) 組合せゲーム・パズル ミニプロジェクト第8回ミニ研究集会 発表資料