Computational Minimalism 計算ミニマリズム

決定的であるにもかかわらず、結果が予測困難なアルゴリズムによる造形

久保田晃弘(多摩美術大学 美術学部 情報デザイン学科 情報芸術コース 教授)

1つの点から出発する2次元セルオートマトン

2色9近傍の2次元セルオートマトンのルールは、全部で

```
2^(2^9)
```

```
1340780792994259709957402499820584612747936582059239337772356144372176403007354697680187429816690342769003185818648605085375388281194656994643364900608409 6
```

```
N[2^(2^9)]
```

1.34078×10^{154}

通り存在する。これは155桁の数のそこそこ大きな数である[注1]。

[注1] グーゴル数 10^{100} よりは大きいが、RSA暗号で用いられる300〜1000桁の数よりは遥かに小さい。

初期条件として、最もミニマルな1つの点を考える。それでも、そこから2次元セルオートマトンのアルゴリズムによって生まれ得る造形の可能性を探索するためには、すべてのルールについての計算を実行してみなければならない。なぜなら、セルオートマトンは一般に決定的でありながら予測不可能な複雑系であり、そのすべての可能性を確率的な方法で効率良く探索することができないからだ。

汎用の数式処理/数値計算環境であるMathematica(http://www.wolfram.com/)において、セルオートマトンのルールは、一般化された「ルール番号」によって指定できる。2色9近傍2次元セルオートマトンには512通りの可能な近傍状態があり、これらの状態ひとつひとつに次のステップでの中央セルの状態を対応させることで、ルール番号を一意に得ることができる。例えば2次元セルオートマトンで最も良く知られているコンウェイのライフゲームの場合、ルールは以下のように表現できる。ここで3121796387206642884643857416353388816364758858874716286199733047244606561418987700322611464790005242280784132089221851121096915552864518716024960という145桁の数がライフゲームのルール番号である。

```
Table[Partition[IntegerDigits[i, 2, 9], 3] → Part[IntegerDigits[
    3121796387206642884643857416353388816364758858874716286199733047244606561418987
    700322611464790005242280784132089221851121096915552864518716024960, 2, 2^9],
   -(1 + i)], {i, 0, 2^9 - 1}]
```

```
{{{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
 {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
 {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
 {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 1,
 {{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
```

```
{{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
```

```
{{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{0, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
```

```
{{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
```

```
{{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 1,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 1,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 1,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 1, {{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {0, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 0}} → 1, {{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 0}, {1, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 1}} → 0,
```

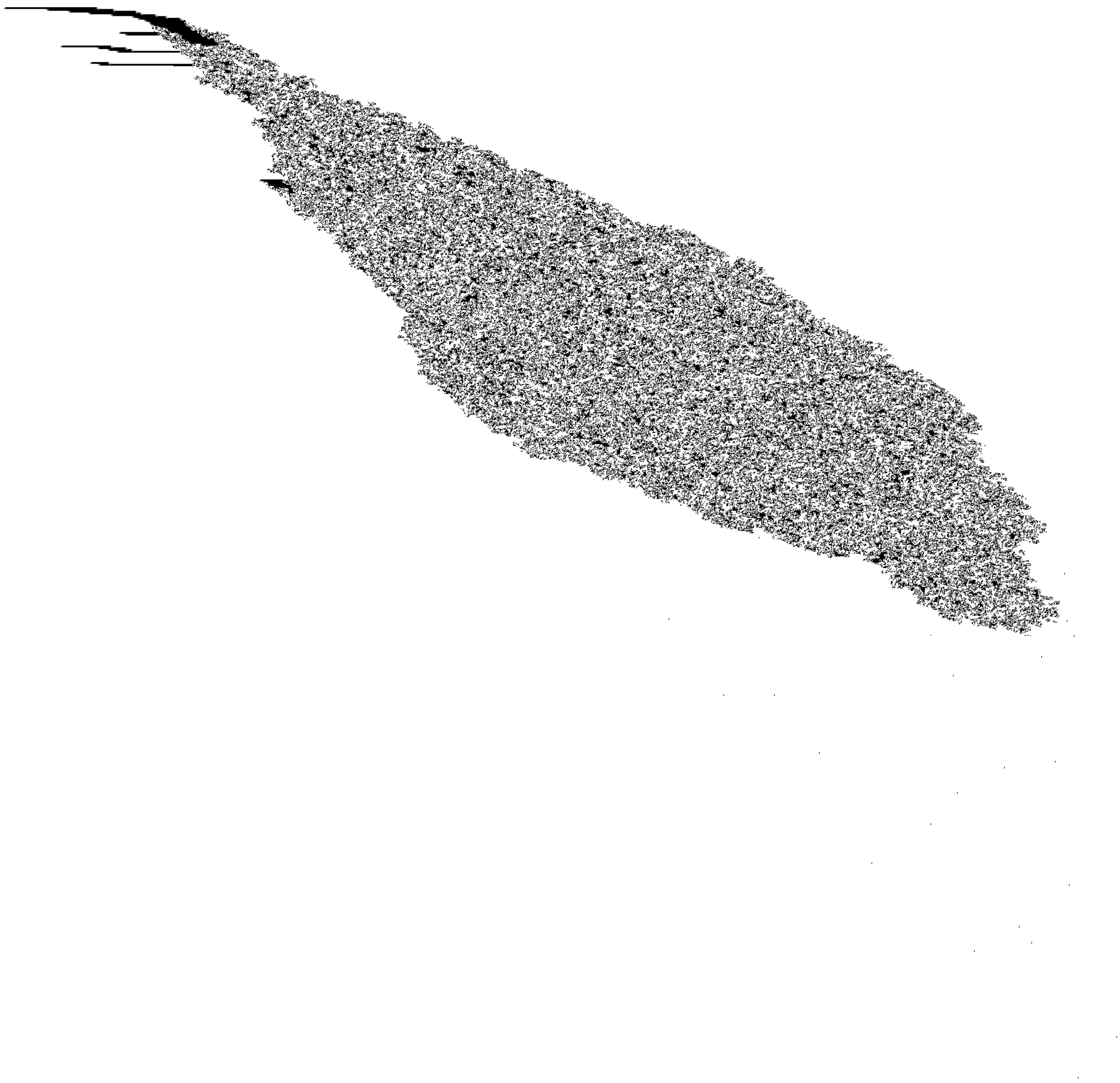
```
{{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 1, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 0, 1}} → 0,
{{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 0}} → 0, {{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}} → 0}
```

Mathematicaの作者であるスティーブン・ウルフラムは、256通りのルールがある3近傍2色の1次元セルオートマトンの挙動をしらみつぶしに計算し、そこから4つのクラスを導いた。しかし2色9近傍2次元セルオートマトンの場合、ルールの数が多いので、完全なしらみつぶしによる方法は困難である。そこでまず上記のライフゲームのルールを出発点に、その近傍のルールを少しずつしらみつぶしに計算してみることで、ミニマルな初期条件と決定的なアルゴリズムから生み出される、予測不可能な造形の可能性を発見的に[注2]探求した。

[注2] 実際には「発見した」というよりもむしろ「出会った」という方が近い。ただし
決定的であるということは、計算を行わなずとも、すべてが事前に存在している、ということでもある。

例えば、
3121796387206642884643857416353388816364758858874716286199733047244606561418987700322611464790005242280784132089221851121096915552864518716024029という、ライフゲームと下3桁の数のみが異なるルール番号のルールを用いた場合、1つの点だけを出発点としても、4096ステップの計算後には、以下のような1965×1964ドットのグリッド上に拡がる形態が生成される。内部は斑状であり、境界は不規則かつ不定形であり、多数の小片が飛散している。

```
ArrayPlot[First[CellularAutomaton[
   {3121796387206642884643857416353388816364758858874716286199733047244606561418987700322611464790005242280784132089221851121096915552864518716024029,
    2, {1, 1}}, {{{1}}, 0}, 4096, -1]], Frame → False]
```



ミニマリズムとアルゴリズム

こうした、ミニマルな初期条件と決定的な反復アルゴリズムによる造形は、1960年代の初頭に、素材の組み合せとその構造に関する事実を全面に出すことで、対象そのものに対する関心とそれを知覚体験する行為にフォーカスを当てたミニマリズム美術を、自然と思い起こさせる。初期値としてのドットは、デジタル表現における最も基本的な素材であり、セルオートマトンのアルゴリズムは、そこから構造や形態を自律的に生成する。

ミニマリズムの代表的な作家のひとりであるドナルド・ジャッドは、鉄やアルミ、ガラスといった物質的な具体性を持つ工業用素材と規則的・反復的な形態を用いることで、作品にイリュージョンやメタファーの入り込む余地をなくした。そのことは、アルゴリズムを明確に記述したプログラムとそれを正確に実行する計算を素材とするアルゴリズム・アートにおいても同様である。ミニマリストの中にはメル・ボックナーのように、順列集合、フィボナッチ数列、回転や逆順のような数学的操作をデッサンやレリーフで直接表現したアーティストもいた。

ミニマル・アートのシンプルな幾何学的表象は、そこにフィジカルな物質性や空間性を介在させることで、鑑賞者から対象に関するマキシマムな知覚や解釈を引きだした。本作品においても、シンプルなアルゴリズムによって生み出された人間の主観や偶然性を廃した形態が内包する予測不可能な複雑性が、その表象を知覚し解釈すること自体にフォーカスを当てる。こうしたアルゴリズムの計算によるミニマリスティックなアプローチを「Computational Minimalism (計算ミニマリズム)」と呼ぶことができるだろう。その中核にあるのは、単純なシステムから複雑な形態を生成する「Complex Simplicity (複雑な単純性)」である。そこではミニマリズム同様に、作品を作る過程は重視されない。コンセプトの実体としてのアルゴリズムだけが重要なのであり、プロセスとしてのアルゴリズムはただ、プログラムとして明晰に記述され、ハードウェアによって正確かつ高速に実行されれば良い。

計算する宇宙

1941年に、世界初のプログラム制御式コンピュータ「Zuse Z3」を完全動作させた、ドイツ人技術者のコンラッド・ツーゼは、1969年(コンウェイのライフゲームが登場する70年以前)に「 Rechnender Raum (Calculating Space 計算する宇宙) 」という論文を出版した。これは宇宙全体がいわばセルオートマトンのような、離散化されたグリッド上の計算から生れていると考えるものであり、「人間によるものであれ、自然界のものであれ、すべての現象はコンピュテーションの産物である」と考えるウルフラムの著書(思想)『 A New Kind of Science』の起源ともなる重要なテキストである。ツーゼはその論文で、古典物理学、量子物理学、そして計算する空間(デジタル物理学)の3つを比較し論じているが、今日までツーゼの理論に反する物理現象は見つかっていない。

同様に、MITやボストン大学の教授職を歴任したエドワード・フレドキンも「デジタル物理学」、今では「デジタル哲学」として、ツーゼ同様に宇宙は巨大なセル・オートマトンであり、私たちが見たり感じたりしているのはそこから生れる情報である、と強く主張した。

アイシュタインの重力理論(相対性理論)と物質の究極の姿を探る量子論を結ぶことを目指した、最新の「ループ量子重力」理論は、従来のニュートン力学や量子力学が前提としてきた連続的な時間や空間を背景としていない。時空はスピンという素粒子が持っている属性のネットワーク(スピン・ネットワーク)から二次的に生み出されるものであり、宇宙はスピンというノードとそのリンクによる抽象的なネットワークに還元することができると主張する。この理論は同時に、時間と空間をどんどん細かく分割していくと、ついには分割不可能なサイズに到達することを予測しており、それは時間も空間も究極にはデジタルであることを意味している。ツーゼやフレドキン、そしてウルフラムが主張するように、宇宙の基本的構造は本当にアルゴリズミックに計算される巨大なセルオートマトンのようなものなのかもしれない。だとすればそれは、宇宙の縮図であり、部分であり、本性でもあるといえるのだ。

計算する宇宙におけるアートは一体どのようなものになるだろう。決定的な世界では、計算を行わなくともすべてが事前に存在しており、自由意志も単なる幻想に過ぎないとすれば、多くの計算の中から、私がこの数少ない結果と出会い選択したということが、そこでは一体どういう意味を持つのだろう。あるいはアートには、可能性の総体としてのランダム性、確率性が必要不可欠なのか。アルゴリズム・アートは、そうした宇宙と計算に関する本質的な問いかけを提起する。

参考文献

Stephen Wolfram, "A New Kind of Science", Wolfram Media Inc, 2002.

James Sampson Meyer, "Minimalism", Phaidon Inc Ltd, 2000.

Konrad Zuse "Calculating Space", MIT Technical Translation AZT-70-164-GEMIT, MIT (Proj. MAC), Cambridge, Mass. 02139, Feb. 1970 (ftp://ftp.idsia.ch/pub/juergen/zuserechnenderraum.pdf).

Digital Philosophy -- Ed Fredkin, http://www.digitalphilosophy.org/

Digital Physics, http://digitalphysics.org/

リー・スモーリン『量子宇宙への3つの道』サイエンス・マスターズ17，草思社，2002.

ドナルド・クヌース『コンピュータ科学者がめったに語らないこと』エスアイビー・アクセス，2003.