

# カードゲーム「クロンダイク」の成功可能性

新谷 敏朗<sup>†</sup>

福山大学工学部<sup>†</sup>

## 1. まえがき

「クロンダイク」はトランプの一人遊びのひとつであり、スート別にエースからキングへの列を完成することが目標である。非常によく知られたゲームであるが、プレイにあまり工夫をする余地がなく、比較的退屈な部類に属すると考えられている。また、ルールが異なるいくつかの変形版が存在する。ここでは、代表的なルールでプレイする場合の成功可能性を計算機実験により求めた。また人間がプレイする場合の指針を提案した。

## 2. ルール

「クロンダイク」のルールは以下の通りである。<sup>[1]</sup> また、スートを H, D, S, C, Ace, Jack, Queen, King をそれぞれ A, J, Q, K, 10 は 0 と表記する。52 枚のカードをシャッフルして、

- (1) 28 枚のカードで長さが 1 から 7 までの裏向き列をつくる。次に各々の列の天のカードのみ表向きにする。これが場を構成する。
- (2) 残りの 24 枚を山として裏向きにおく。
- (3) 場では赤黒交互の数下がり列を作るように、場の天のカードから始まる 1 枚以上の数下がり列をまとめて別の列の天の札の上に移動できる。移動した後は、天のカードを表向きにする。ある列のカードがすべてなくなれば、その列に K から始まる数下がり列を移動できる。
- (4) 台札の席に、A から始まる同じスートの数上り列を構成するようにカードを 1 枚ずつ移動できる。
- (5) 山のカードは 1 枚ずつ表向きにして、くず札の席に移動する。くず札の席はスタックであり、トップのカードは (3) と (4) のルールに従って移動できる。
- (6) くずさらいは許されていない。

4 つの台すべてが K までの数上がり列になれば、「成功」である。「成功」していない状態で、移動可能なカードが存在しなければ、「失敗」である。ルールの (3) にある「1 枚以上のカードからなる数下がり列」を「連」と呼び、カードがすべてなくなった列を「空列」と呼ぶ。

ルール上、空列のあるなしに関係なく連単位でカードの移動が可能なので、空列は K から始まる連を移動するためにのみ必要である。

変型版については、1) (回数を指定して) くずさらいを許す、2) 山のカードを 3 枚ごとに表向きにする、のふたつがある。2) の場合はくずさらいの回数に制限はない。ここでは最も成功可能性が高いと予想できる「山のカードを 1 枚ずつ表向きにして、くずさらいは回数無制限に許す」というルール(本報告ルールと呼ぶことにする)によりプレイする場合を考える。

Microsoft の Windows10 に付属するクロンダイクでは、ア) 連の一部分を移動できる、イ) 台に移動したカードを場に戻すことができる、ウ) 後戻りができる、ことになっていて、成功しやすくするようにルールを変えているように思われる。こちらは Windows ルールと呼ぶことにする。これらふたつのルールについて、後に示す計算結果と筆者の経験から、次の仮説が成り立つのではないかと考えられる。

**仮説** 「クロンダイク」において、「連の一部分を移動できる」、かつ「台に移動したカードを場に戻すことができる」、かつ「後戻りができる」とした場合(Windows ルール)と、それらをまったく許さない本報告ルールでプレイした場合とで成功可能性の差はない。

## 3. アルゴリズム

本来は、裏向きのカードが存在するのでこのゲームは完全情報ではない。しかし、くずさらいを無制限に許すと、山のカードはすべて見ることができる。かつ、ここでは成功可能性を求めることが目的なので、すべて表向きになっているとして計算することにする。すると、筆者がこれまでに研究してきたトランプの一人遊びに関するゲーム木の探索アルゴリズムを適用することができる。文献[2]のプログラムで、子局面を生成する部分と、重複局面をチェックするパトリシアでの局面に対応する整数値を計算する部分をクロンダイクのルールにあわせて修正すればよい。このゲームでも空列が複数存在する場合に K から始まる連を移動する空列を自由に選べるので、同じ局面が繰り返し生成される

堂々巡りを避けるために重複局面のチェックは必要である。

さらにくずさらいの回数に制限がなく、山のカードがすべて見えているとするので、山のカードを場や台に移動する順序は任意としてよい。よって、山のカードはソリティアのひとつである「花園」<sup>[3]</sup>の花束と同じように扱ってよい。

#### 4. 計算結果と人間によるプレイ

計算は、CPU が Core i7-6800K, メモリが 128GB のマシンで行った。疑似乱数により生成した 1000 個の初期局面に対して、成功局面に至ったもの：874, すべての局面を探索して成功局面に至らなかったもの：111, 5 億個の局面を生成したが成功局面に至らず探索を中止したものの：15 であった。成功した例を図 1 に示す。

```
Datafile is .././../dat/6cols/k00018.dat
No. 1, level=0,
cell: (山)
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F1011121314151617
SKS8HOS7DOD8HJH6HQCKSJ9H9DKSQCCOD9S2S5SOD5C5H3
tp: 0, 0, 0, 0, n=0(台)
Stack: 28(場)
0, 0, 1: D6
1, 1, 2: H7, C2
2, 2, 3: C6DA, C8
3, 3, 4: H5H8S9, C4
4, 4, 5: S3H4DQS6, H2
5, 5, 6: HKD2D3S4C3, SA
6, 6, 7: C7D7DJHAD4CJ, CA
```

##### a) 初期局面

```
Success! level=39, id=186,
cell: (山)
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F1011121314151617
—S8—HJH6—CQ—D9—SOD5—
tp: 5, 0, 4, 3, n=12(台)
Stack: 33(場)
0, -1, 6: CKDQSDJOC9D8
1, -1, 10: SKHQJHOS9H8S7D6S5D4
2, 1, 2: C6, DA
3, -1, 11: DKSQDJCOH9C8H7S6H5S4D3
4, -1, 0:
5, 1, 2: HK, D2
6, 1, 2: C7, D7
39 moves, 186 states searched.
```

##### b) 成功が確定した局面

図 1 探索が成功した例

図 1 では、cell が山を、Stack が場を、tp が台(C,D,H,S の順)をそれぞれ表す。各行の「,」の左側が本来裏向きの、右側が表向きのカードをそれぞれ表す。Stack の左端の数値は、左から順に Stack 番号、本来裏向きのカード数(-1 は行全体が K から始まる連であることを表す)、その行のカード総数をそれぞれ表す。

```
S2S3<-CCS3<-C10S3<-S6S3<-CES3<-CDS3<-C5S0<-CBS0<-
C4S0<-CAS0<-S4T3<-S4T2<-S4S0<-S4S2<-S3S4<-C17T2<-
S4T2<-S6T2<-S6S1<-C13S1<-C9S0<-S6S1<-C8S1<-S0S6<-
C3S6<-S5S3<-S5S3<-S3S6<-S3S6<-C2S6<-C0S1<-S1S2<-
C16T0<-C12T3<-S3T0<-S5T0<-S1T0<-S6T0<-S5T3
```

There is 1 solution in 187 states.

Hour:min:sec=0:0:0

図 2 成功確定までのカード移動

図 2 では、カードの移動を  $XiYj$  と表しており、X と Y は、S: 場, C: 山, T: 台を、 $ij$  は X と Y の内部位置を表す。初期局面に向かってさかのぼるので逆順になっており、S5T3(場の第 5 行 SA を台 3 に移動する)が初手で、第 39 手の S2S3 で成功確定である。成功した場合の手数は、最小: 33, 平均: 51.9, 最大: 75 であり、生成された節点数は、最小: 158, 平均: 4674886, 最大: 360712429 であった。

筆者の経験では Windows ルールで 100 回プレイして 86 回成功であった。その場合、行き詰まりになった時にどこまで後戻りするが重要である。同色同数値のカードが 2 枚あるので、「それらを入れ替える」、「もう一方を使って空列をつくる」、「もう一方を使って場のカードを表向きにする」ことができる箇所まで戻るのがよいと考えられる。

#### 5. あとがき

本報告では、「クロンダイク」において「山のカードを 1 枚ずつ表向きにして、くずさらいは回数無制限に許す」というルールでプレイした場合の成功可能性が 9 割に近いことを示した。この結果は、より成功可能性が高いと一見思われる、Microsoft 社の「Windows10 に付属するクロンダイク」における筆者のプレイ結果とほぼ同じであった。また人間がプレイする場合にも本文中に示したような方法で後戻りをすれば、「Windows10 に付属するクロンダイク」のほうの後戻りの手数が少なくて済むのは明らかであると思われるので、人間がプレイを楽しむという観点からは好ましいと判断できる。

#### 文献

- (1) 野崎, トランプひとり遊び 88 選, 朝日選書(1990)
- (2) 新谷, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.99, No.14, pp.84-91 (1999)
- (3) 新谷, 福山大学工学部紀要 Vol.39, pp.113-116 (2016)

Possibility of Success in the Card Game "Klondike"

† Toshio SHINTANI, Faculty of Engineering, Fukuyama University