

カードゲームUNOにおける 仮想プレイヤー生成

品川 和雅（筑波大学）

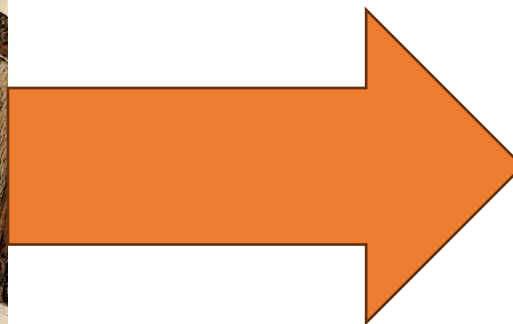
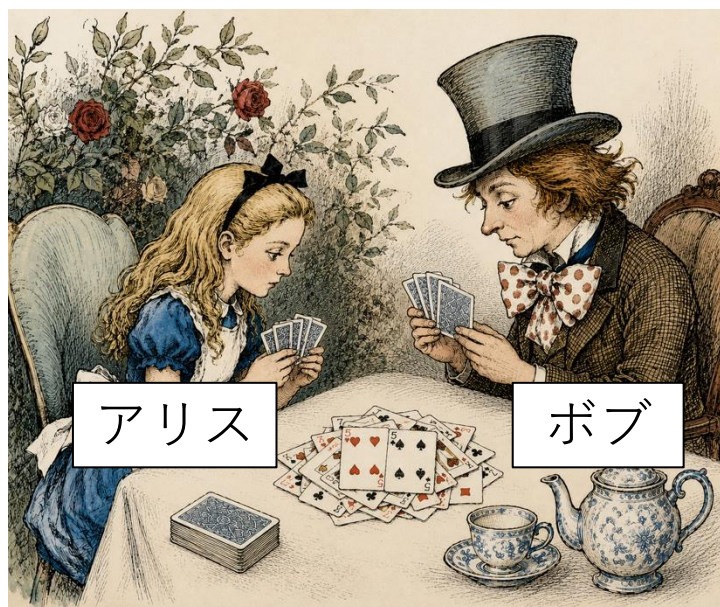
Joint work with **Ruangwises Suthee** (Chulalongkorn University)
"Simulating Virtual Players for UNO without Computers", UCNC 2025.

目次

- はじめに
 - アリスとボブの悩み
 - 本研究：UNOの仮想プレイヤー生成
 - 関連研究
- UNOの仮想プレイヤー生成
 - ANDプロトコル
 - 隠密抽選プロトコル
 - カード選択プロトコル
 - 戦略性向上のアイデア
- おわりに

アリスとボブの悩み

- アリスとボブはあるカードゲームをプレイしたいと思っている
- しかし、そのゲームは2人だとはつまらない (or 遊べない)
- **仮想プレイヤー**のキャラルを生成して、プレイできないか？



These illustrations were generated using ChatGPT.

本研究の対象：UNO



- 世界中で人気のカードゲーム



- 本研究：UNOの仮想プレイヤーを生成するカードプロトコル

UNOのルール (基本)

1. 各プレイヤーに7枚ずつカードを配る
2. 山札から1枚めくり、場に置く
3. 各プレイヤーは自分の手番で以下のいずれかを行う
 - 「場のカード」と **マッチするカード1枚**を出す
 - 山札から1枚引く (引いたカードがマッチすれば、すぐ出してもよい)



4. 最初に手札をすべて捨てた人が勝ち

UNOのルール（詳細）

• UNO宣言

- 手札が1枚になったら「UNO」と宣言する
- 誰かに宣言忘れを指摘されたら、罰として2枚引く

• ドロー4ルール

- プレイ可能なカードが他にないときのみ、プレイ可能
- ドロー4プレイ時、次の手番の人は「チャレンジ」をコールできる
 - 疑われた人は、コールした人だけに手札を見せる
 - もし不正があった場合、罰として4枚引く（チャレンジ成功）
 - もし不正がなかった場合、コールした人が4枚+2枚引く（チャレンジ失敗）

本研究の貢献：カード選択プロトコル

• カード選択プロトコル

- キャロル（仮想プレイヤー）の手札の「プレイ可能なカード」の中から1枚を一様ランダムに選ぶ
 - もし「プレイ可能なカード」が無い場合、「⊥」を出力する
-
- キャロルの手番のたびに、以下を実行する
 1. ドロー4を「プレイ不可」とし、カード選択プロトコルを実行する
 - もし1枚出力されたら、それを場に出し、キャロルの手番終了
 - もし「⊥」が出力されたら、次に進む
 2. ドロー4**のみ**「プレイ可能」とし、カード選択プロトコルを実行する
 - もしドロー4が1枚出力されたら、それを場に出し、キャロルの手番終了
 - もし「⊥」が出力されたら、山札から1枚引いて、次に進む
 3. ドロー4**も**「プレイ可能」とし、カード選択プロトコルを実行する
 - 1枚出力されたら場に出し、「⊥」が出力されたらパスし、キャロルの手番終了

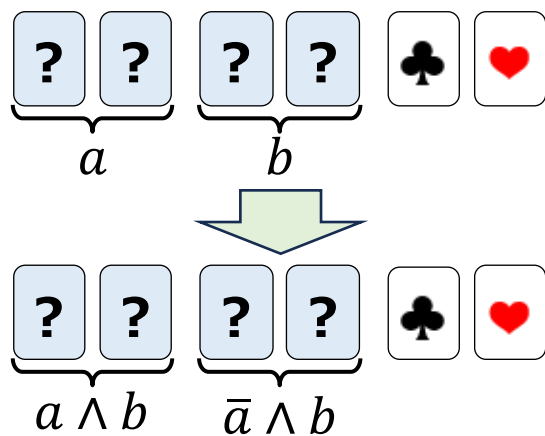
関連研究：カードベース暗号×ゲーム

- ババ抜き [S-Miyahara-Mizuki, ToCS25]
- **UNO** [Ruangwises-S, UCNC25]
- Gakmoro (新ゲーム) [Mizuki-Kuzuma-Hirano-Oshima-Yasuda, UCNC25]
- ヒット & ブロー [Ikeda-S, TAMC25]
- 数拳ビンゴ (新ゲーム) [Igari-Komano-Mizuki, SecITC25]
- タギロン [Koizumi-Mizuki, ACG25]
- 大富豪 [Miyahara-Lafourcade-Mizuki-S, FUN26]
- 人狼 [Kitamura-Kiya-Ono, arXiv26]

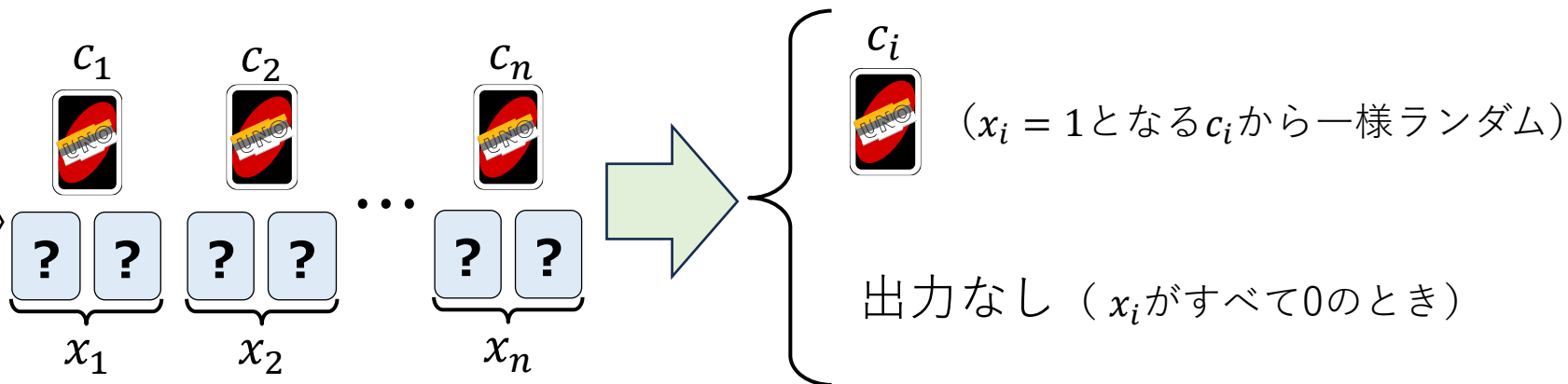
目次

- はじめに
 - アリスとボブの悩み
 - 本研究：UNOの仮想プレイヤー生成
 - 関連研究
- **UNOの仮想プレイヤー生成**
 - ANDプロトコル
 - 隠密抽選プロトコル
 - カード選択プロトコル
 - 戦略性向上のアイデア
- おわりに

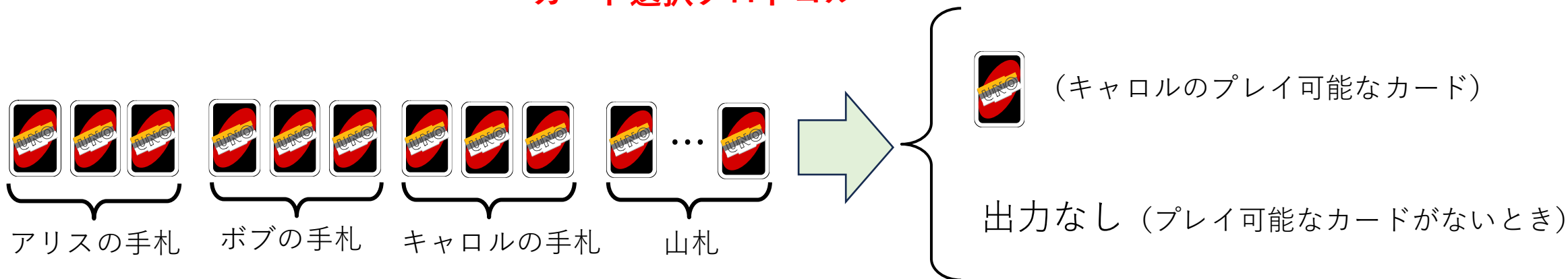
ANDプロトコル



隠密抽選プロトコル



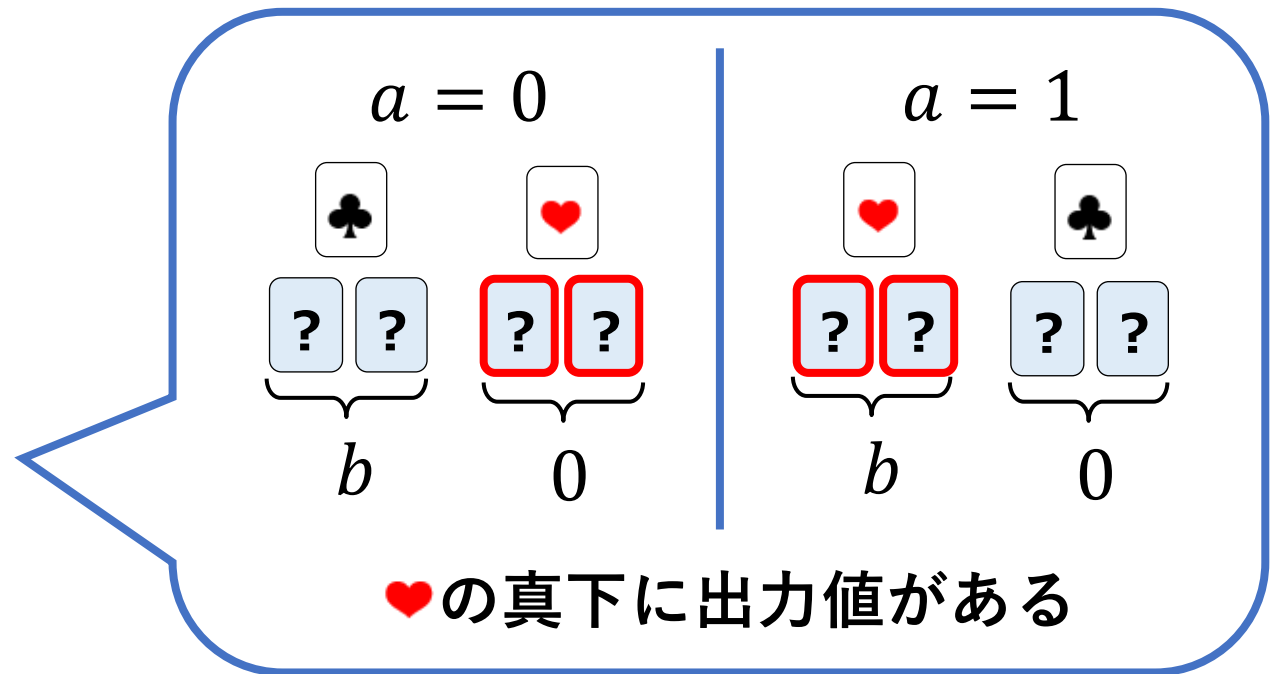
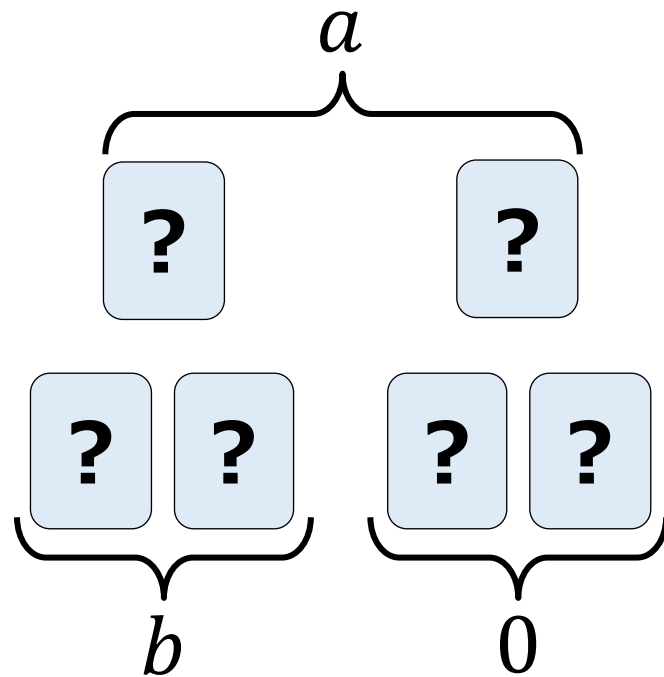
カード選択プロトコル



ANDプロトコル [Mizuki-Sone, FAW 2009]

$$\boxed{\clubsuit} \boxed{\heartsuit} = 0 \quad \boxed{\heartsuit} \boxed{\clubsuit} = 1$$

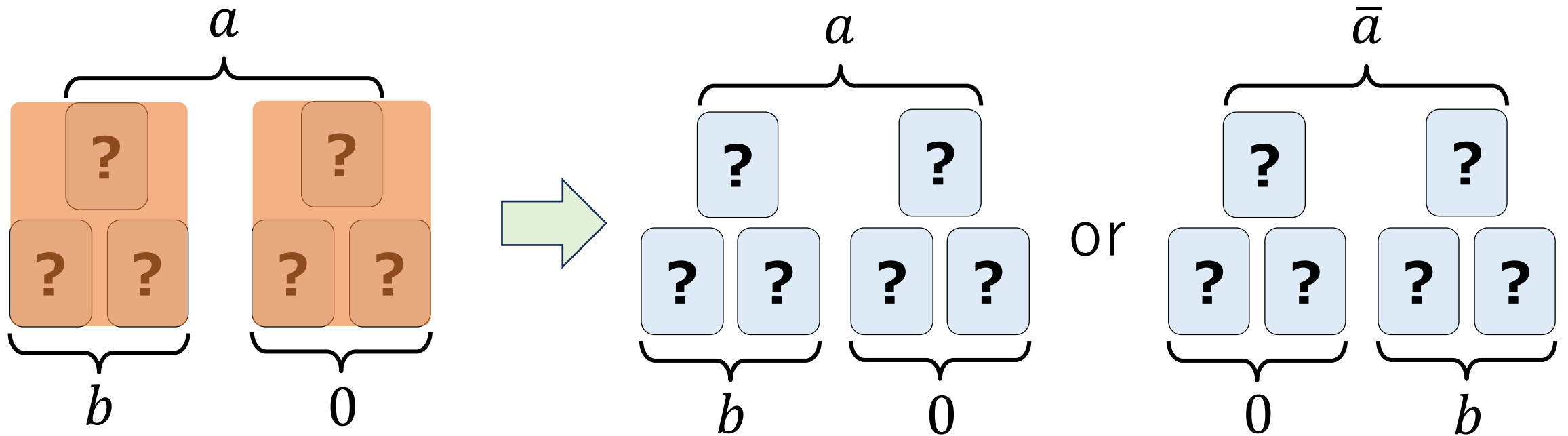
1. 入力コミットメント a, b と追加カード2枚を以下のように並べる



ANDプロトコル [Mizuki-Sone, FAW 2009]

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \clubsuit & \heartsuit \\ \hline \end{array} = 0 \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \heartsuit & \clubsuit \\ \hline \end{array} = 1$$

2. 3枚を1束とし、シャッフル操作を施す

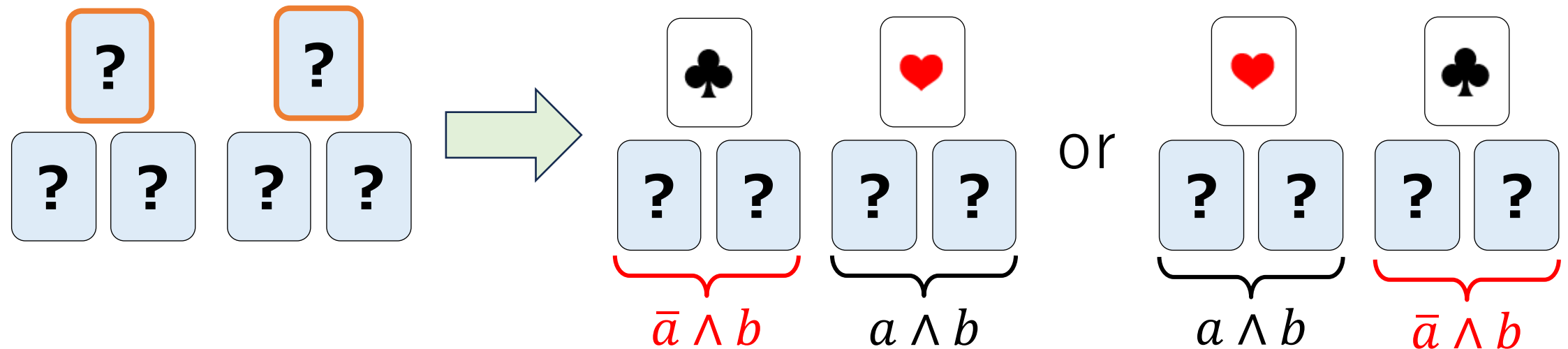


「 $\heartsuit$ の真下に出力値がある」という関係性は不変

ANDプロトコル [Mizuki-Sone, FAW 2009]

$$\{\clubsuit\heartsuit = 0 \quad \heartsuit\clubsuit = 1\}$$

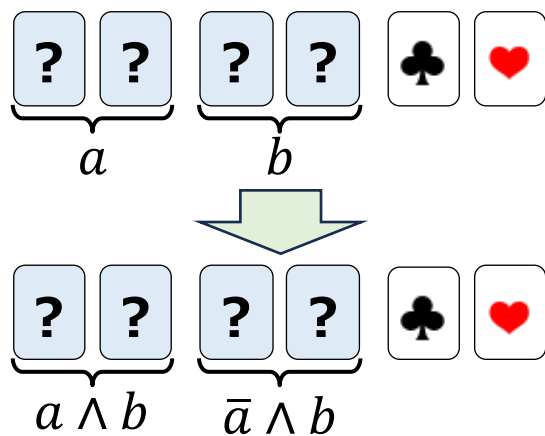
3. 上の2枚をめくり、出力値を以下のように得る



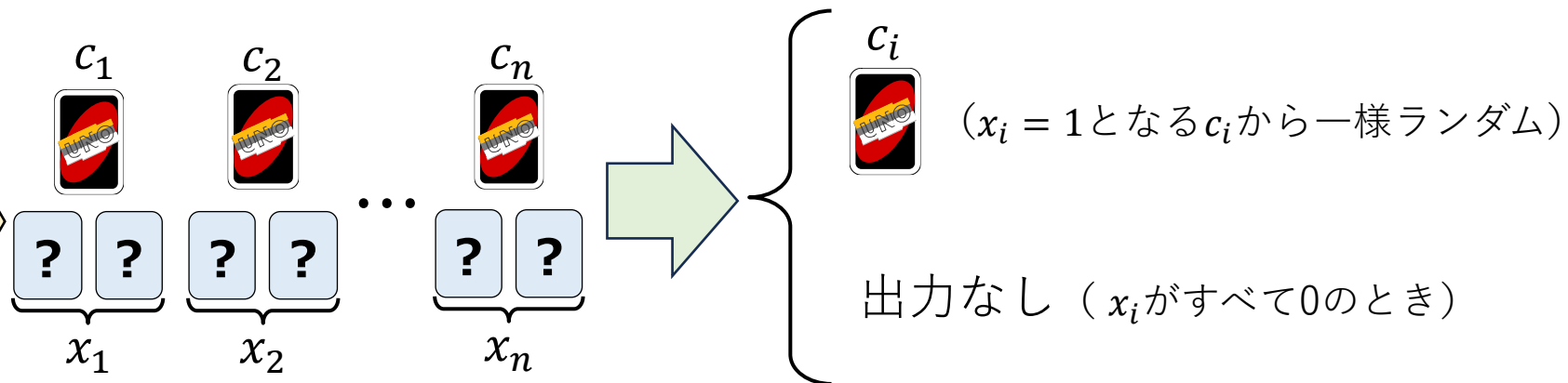
- 秘匿性

- めくったカードは、 $\clubsuit\heartsuit$ と $\heartsuit\clubsuit$ が（入力に依らず）確率1/2で生じる
- そのため、プロトコルの実行の様子を見ても、入力は分からない

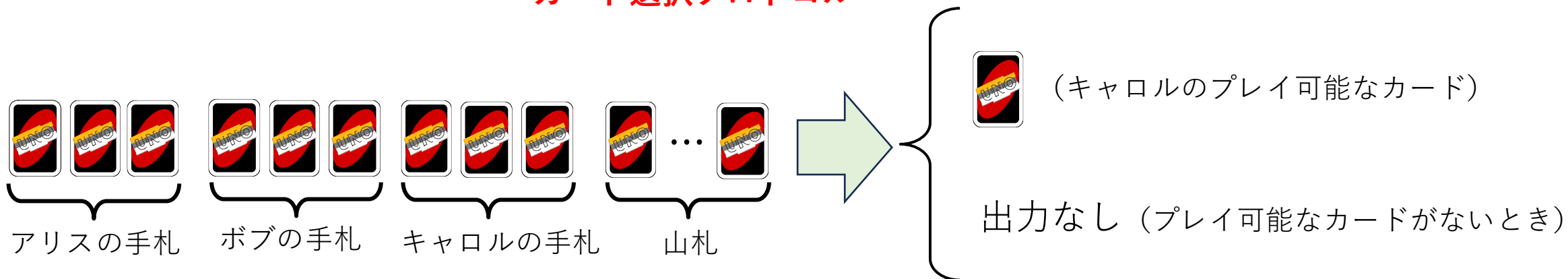
ANDプロトコル



隠密抽選プロトコル

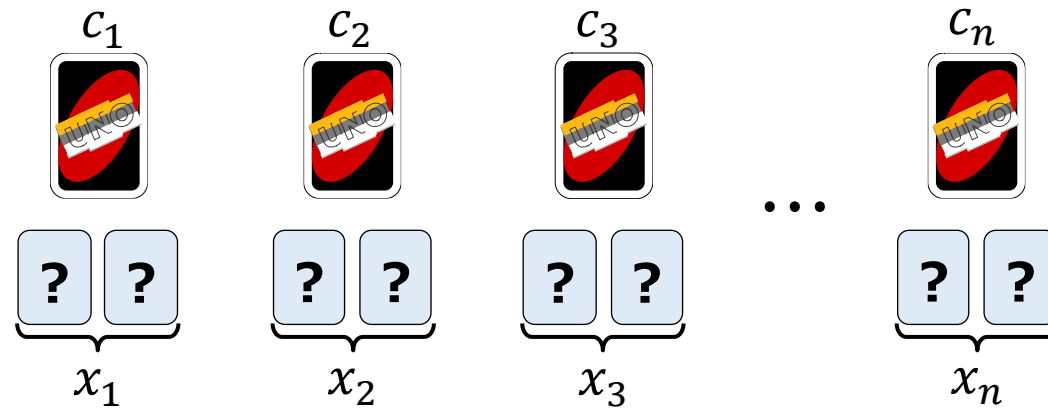


カード選択プロトコル



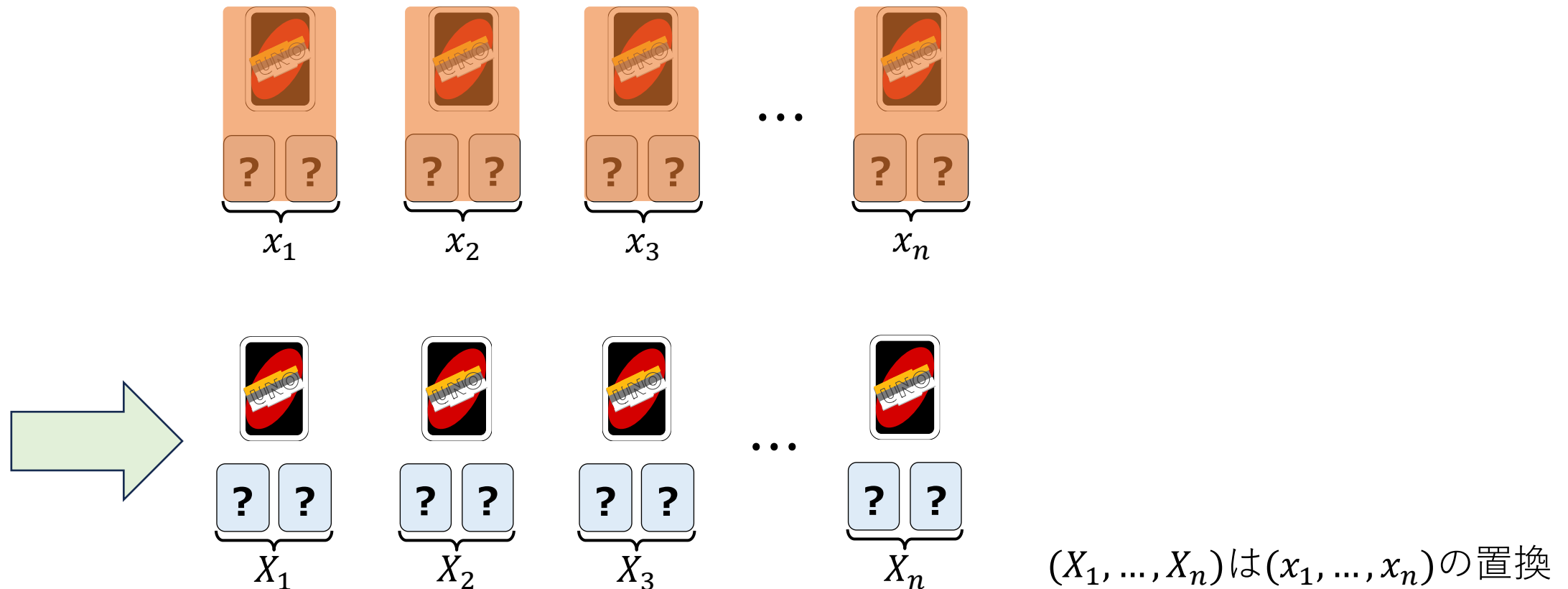
隠密抽選プロトコル [Shinoda et al., SecITC 2020]

1. 入力カード列は以下の通り



隠密抽選プロトコル [Shinoda et al., SecITC 2020]

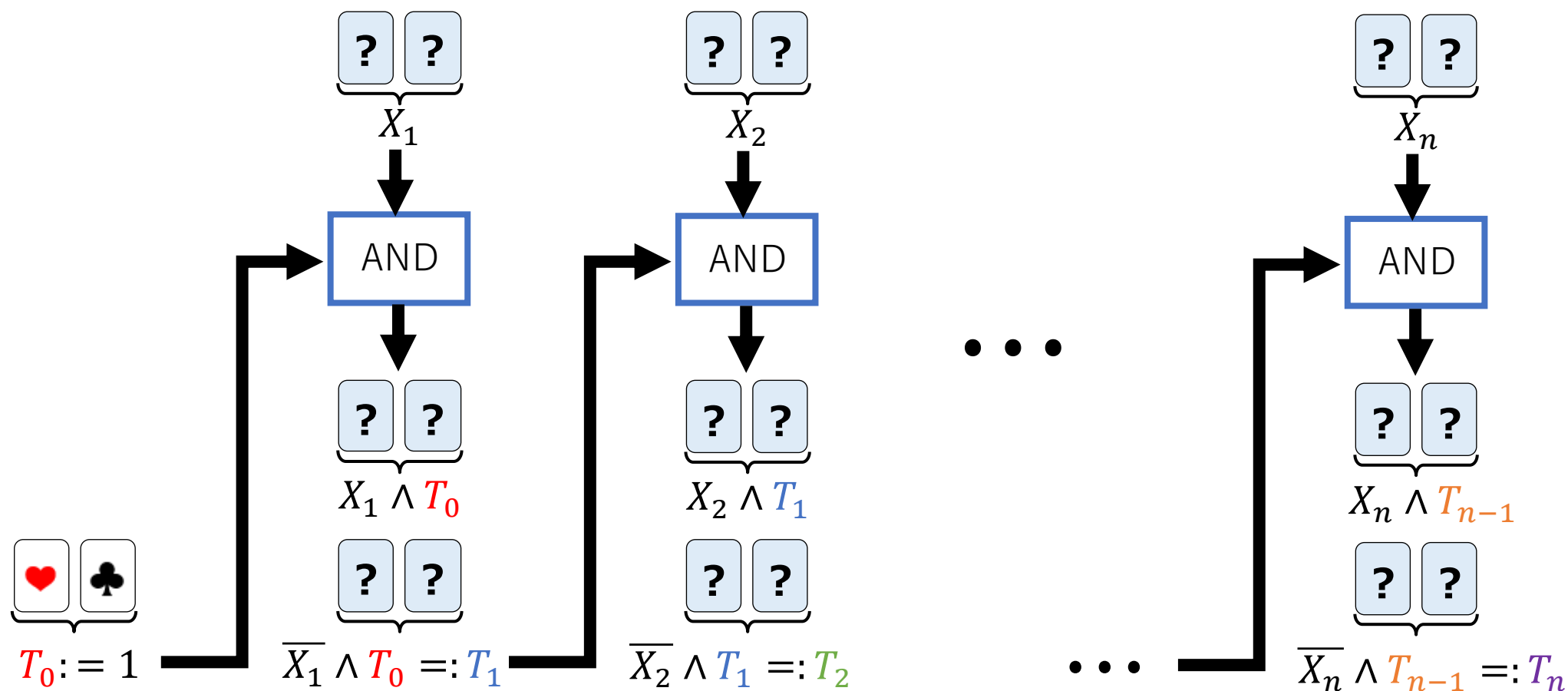
2. 各3枚を1個の束とみなし、シャッフルを適用する



隠密抽選プロトコル [Shinoda et al. SecITC 2020]

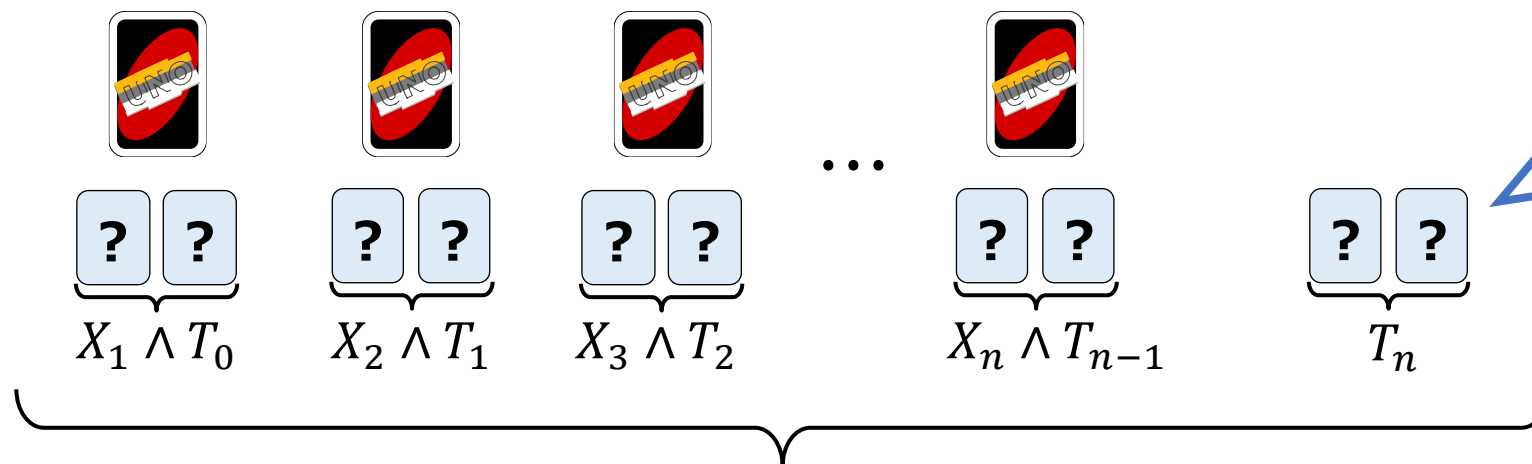
$$\begin{array}{|c|c|} \hline \clubsuit & \heartsuit \\ \hline \end{array} = 0 \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \heartsuit & \clubsuit \\ \hline \end{array} = 1$$

3. ANDプロトコルを n 回用いて以下の計算を行う



隠密抽選プロトコル [Shinoda et al. SecITC 2020]

$$\begin{array}{|c|} \hline \clubsuit \heartsuit = 0 \quad \heartsuit \clubsuit = 1 \\ \hline \end{array}$$



$X_i = 1$ となる i が存在しなければ
ここが1になる

$$T_i := \bar{X}_i \wedge T_{i-1}$$

1になるのは1個だけ（残りは0）

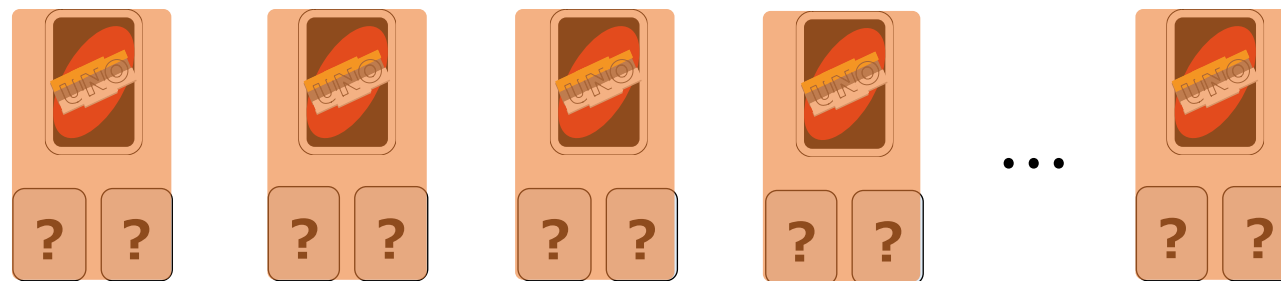
4. ここで T_n のコミットメントをめくる

- もし $T_n = 1$ なら、**出力なし**と判断し、プロトコル終了
- もし $T_n = 0$ なら、次の手順に進む

隠密抽選プロトコル [Shinoda et al. SecITC 2020]

$$\boxed{\clubsuit} \boxed{\heartsuit} = 0 \quad \boxed{\heartsuit} \boxed{\clubsuit} = 1$$

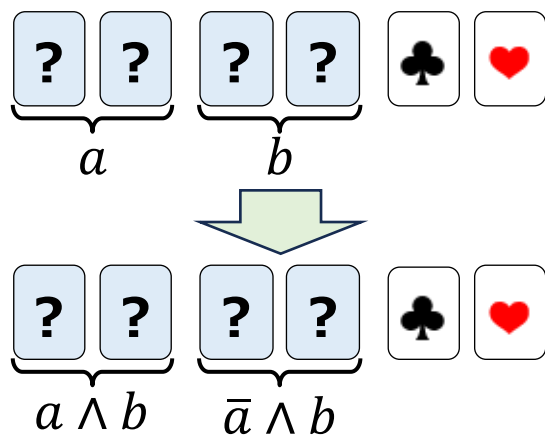
5. 各3枚を1個の束とみなし、シャッフルを適用する



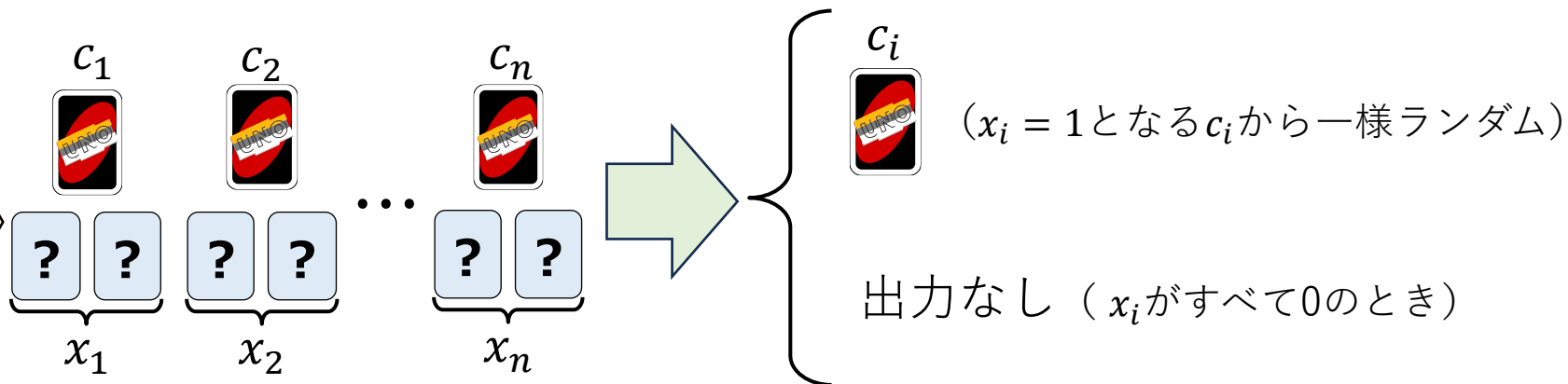
6. 下段をすべてめくり、 $\boxed{\heartsuit} \boxed{\clubsuit}$ の上のカードを出力する



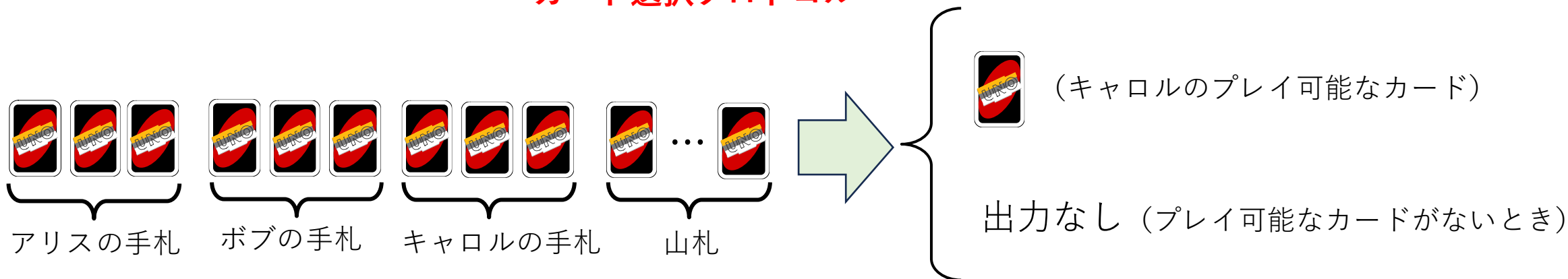
ANDプロトコル



隠密抽選プロトコル

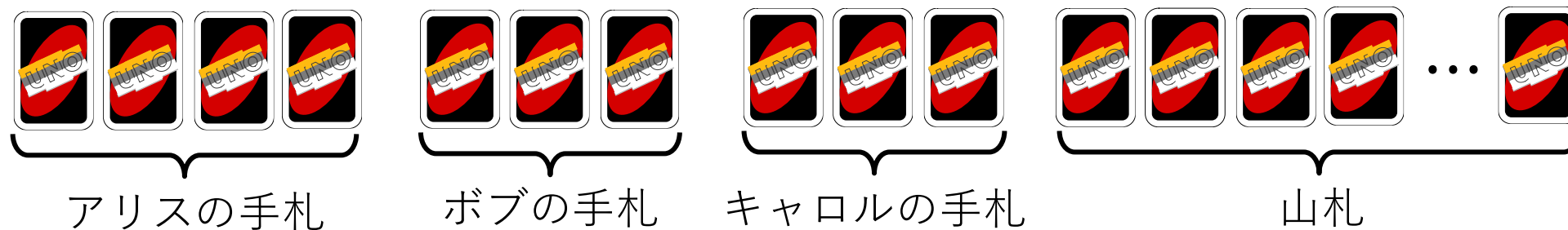


カード選択プロトコル



カード選択プロトコル

1. それぞれの手札と山札を伏せて並べる

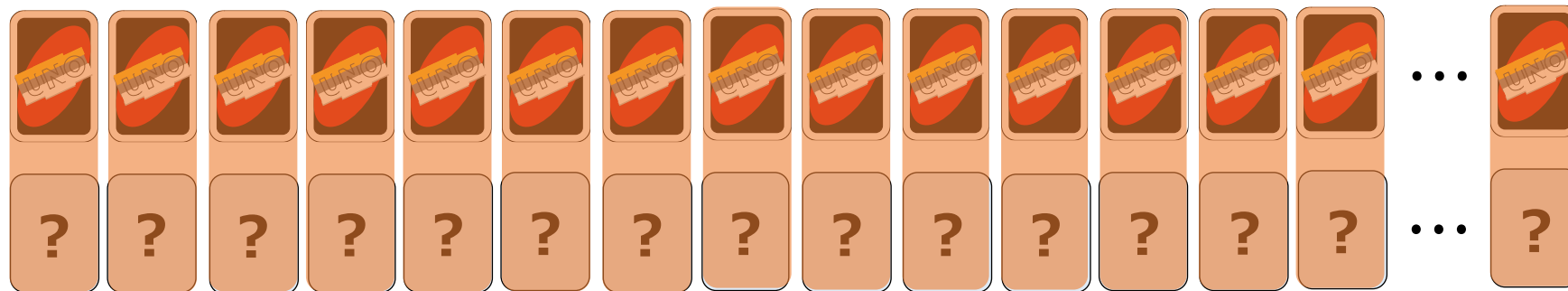


2. 「誰の手札か」を表すカードを下段に並べる



カード選択プロトコル

3. 各列の2枚を1個の束とみなし、シャッフルを適用する



4. 上段のカードをすべてめくる

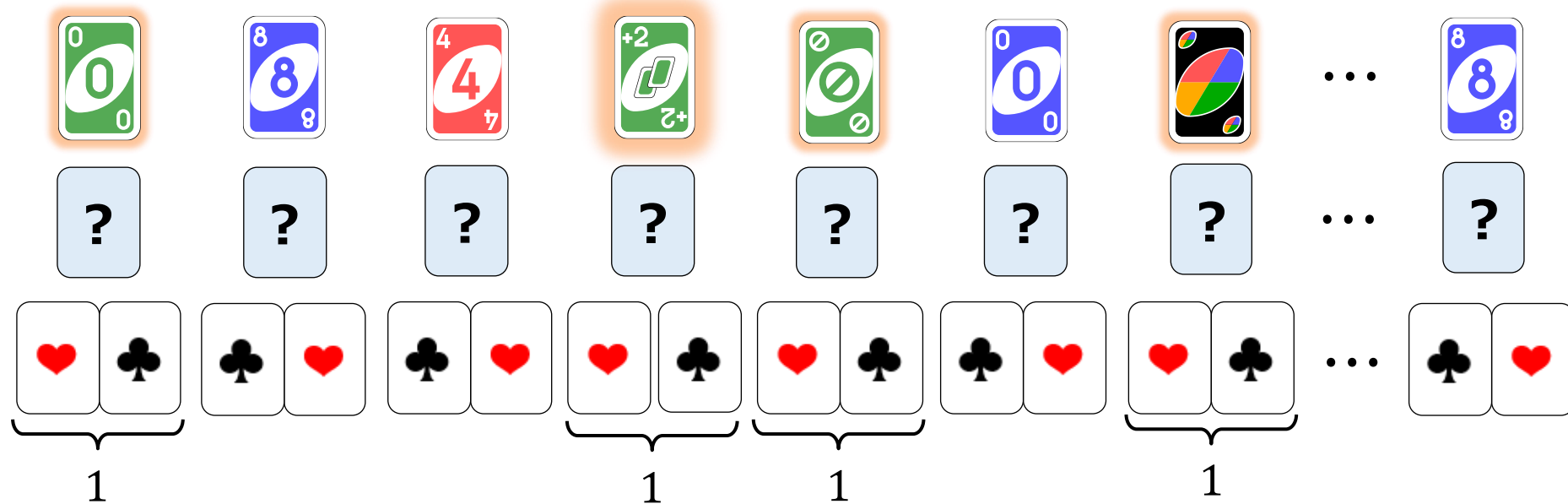


カード選択プロトコル

$$\{\spadesuit, \heartsuit\} = 0 \quad \{\heartsuit, \spadesuit\} = 1$$

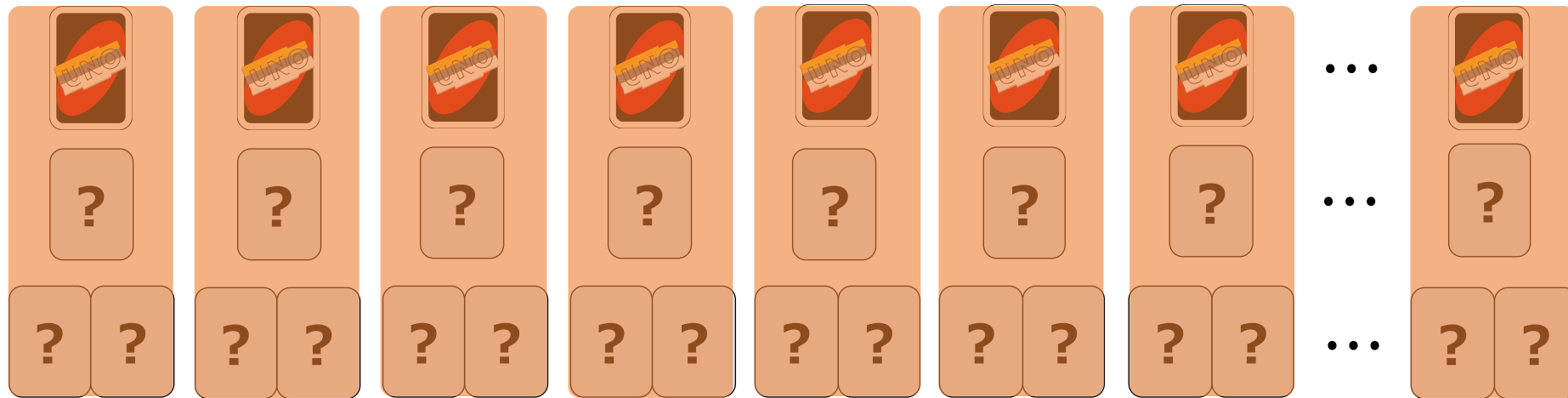
5. プレイ可能なカードの下に $\{\heartsuit, \spadesuit\}$ を置く

それ以外のカードの下には $\{\spadesuit, \heartsuit\}$ を置く



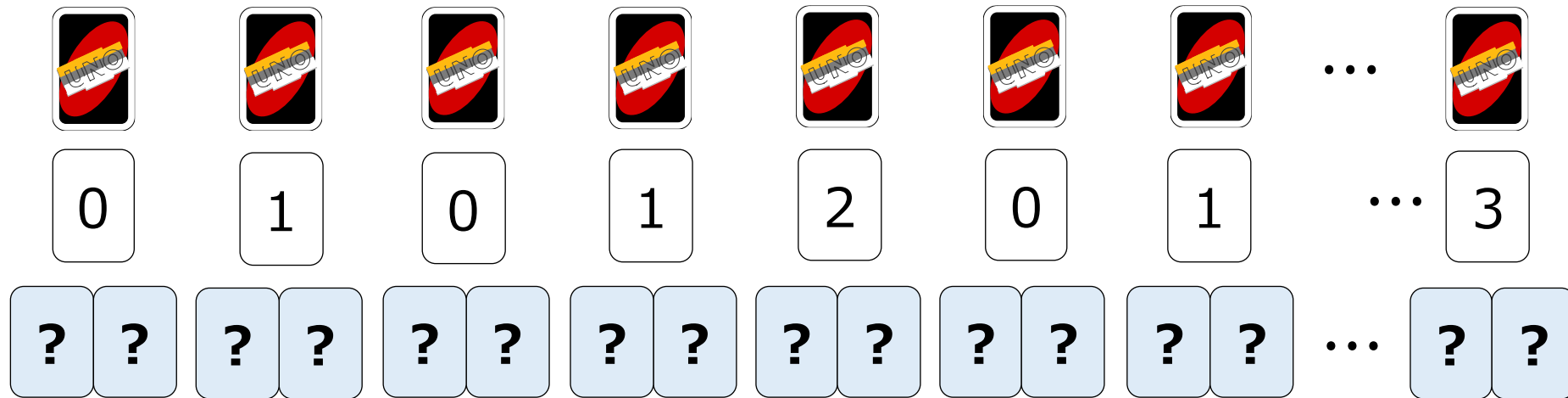
カード選択プロトコル

6. 各列の4枚を1個の束とみなし、シャッフルを適用する



カード選択プロトコル

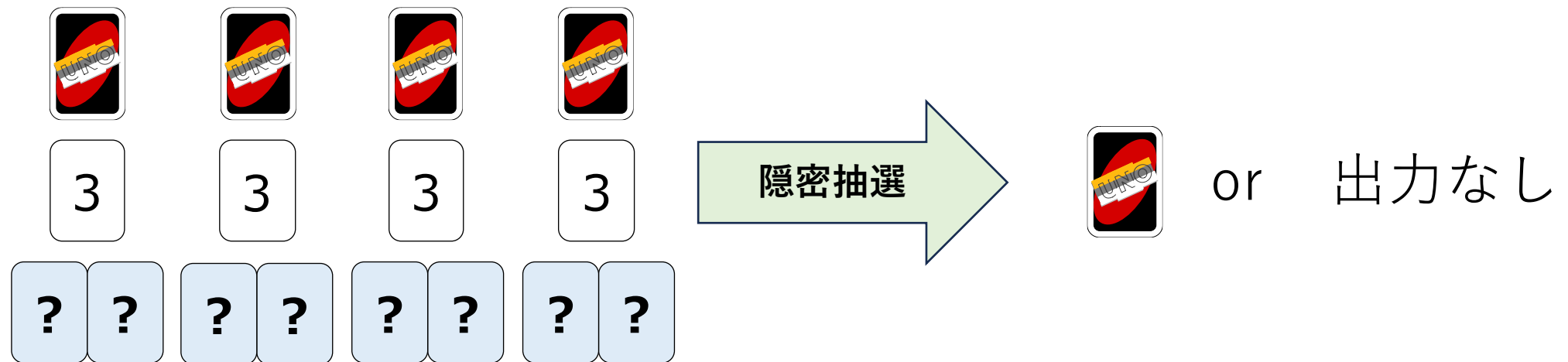
7. 2段目をすべてめくり、「誰の手札か」を表す情報を確認する
(アリス = 1、ボブ = 2、キャロル = 3、山札 = 0)



キャロルの手札以外のカードをそれぞれの持ち主に返す

カード選択プロトコル

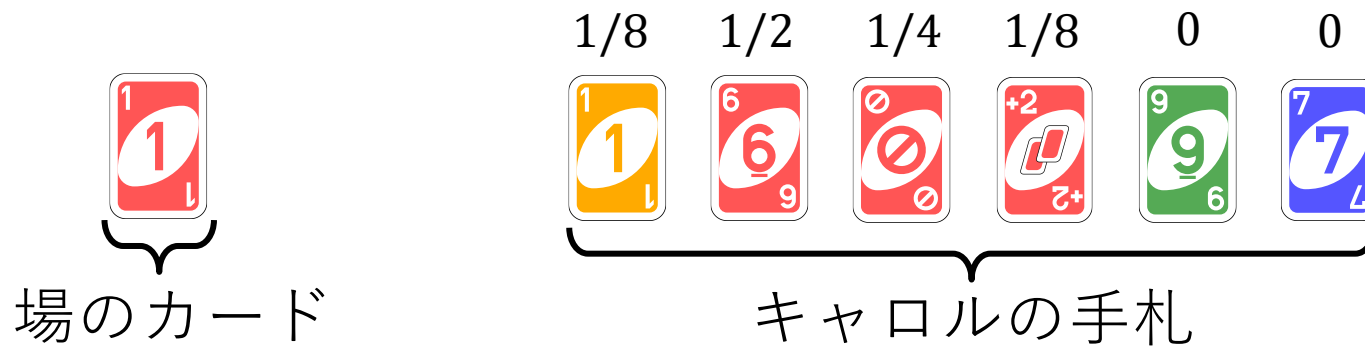
8. キャロルの手札の列に対して**隠密抽選プロトコル**を実行する



以上の手順がカード選択プロトコルである

戦略性向上のアイデア：非一様分布

- キャロルの手札が公開なら、次のような確率でカードを選びたい



- しかし、手札はもちろん秘匿なので、確率分布を設定できない

戦略性向上のアイデア：非一様分布

- 非負整数を出力する関数 $f(x, y)$ を与え、選択確率を次で定義する

$$\Pr[\text{場のカード } c_0 \text{ のとき、} c \text{ を選択}] = \frac{f(c_0, c)}{\sum_y f(c_0, y)}$$

- 全カードに非負整数を割り当て、その大きさに確率的に選択する
- 実現方法の概略
 - 各カード c を $f(c_0, c)$ 個に増やす
 - 「 c がキャロルの手札か否か」を表すビットも $f(c_0, c)$ 個に増やす
 - 隠密抽選プロトコルで、一様ランダムに1個選ぶ

他のゲームへの応用

- 七並べ
 - 「隣接するカード」をプレイ可能
 - 早く手札をなくしたプレイヤーが勝ち
- ドミノ（マギン）
 - 「端に合うタイル」をプレイ可能
 - 端の数の合計が5の倍数になったら得点ゲット
- ハーツ
 - 「同じスートのカード」をプレイ可能
 - 最も強いカードを出した人が、そのラウンドのマイナス点を獲得



写真元：ゲームばかりやってないで
<https://yau-ichi.hatenablog.com/entry/2016/04/12/002005>

おわりに

- まとめ
 - UNOの仮想プレイヤーを生成するプロトコルを提案
 - 「プレイ可能な手札集合が公開情報」というゲームには適用可能
- 「カードベース暗号×ゲーム」の研究の方向性
 - 仮想プレイヤーの生成
 - 仮想プレイヤーの戦略性の向上
 - 既存ゲームのゲームマスター排除
 - 例：人狼 [Kitamura-Kiya-Ono, arXiv26]
 - 既存ゲームに秘匿要素を追加
 - カードベース暗号を用いる新ゲームの提案
 - カードベース暗号を用いることが真に面白さ向上に寄与するゲームは？