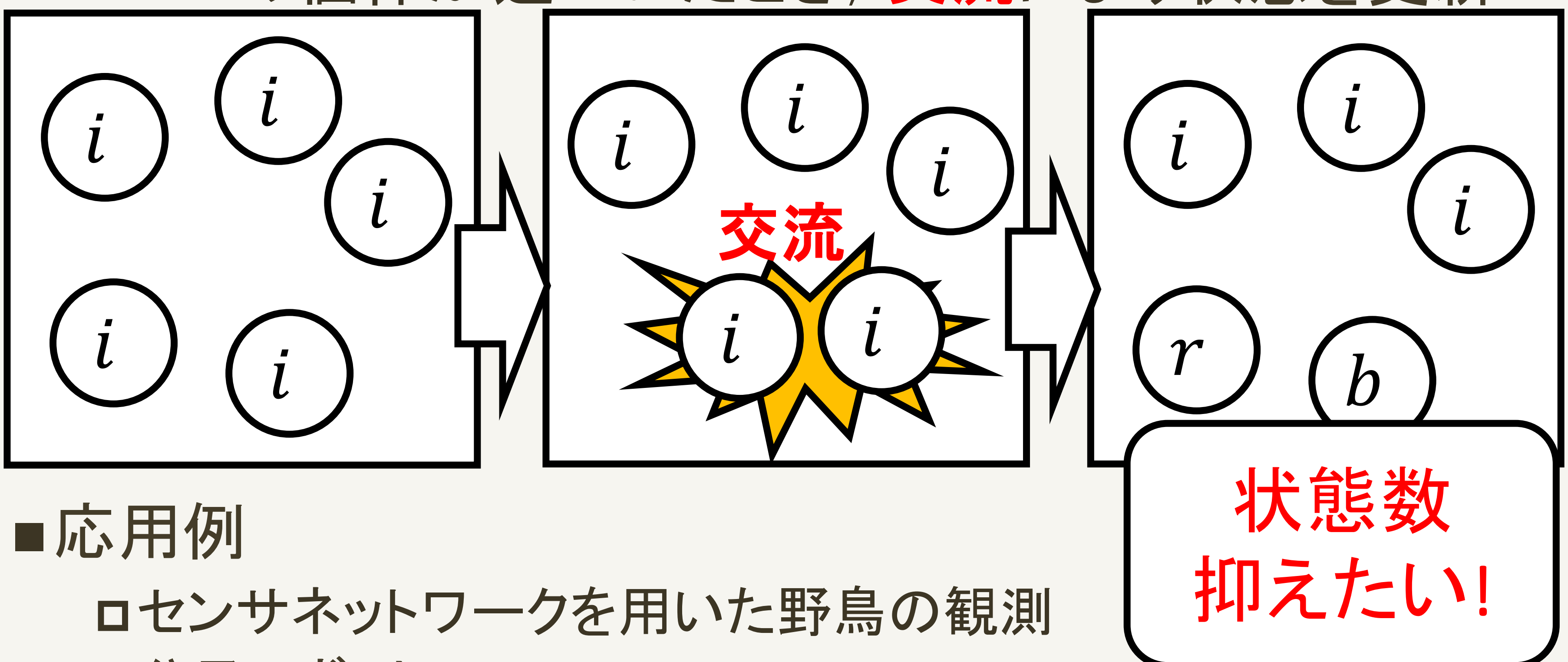
Uniform Bipartition in Population Protocol Model over Arbitrary Communication Networks

安見 嘉人[1]　大下 福仁[1]　井上 美智子[1]
セバスチャン・ティクソイ[2]
1.奈良先端科学技術大学院大学
2. ソルボンヌ大学

個体群プロトコルモデル [1]

■複数の受動的に移動する個体で構成

- 各個体は同一の状態機械
- 2つの個体が近づいたとき，交流により状態を更新



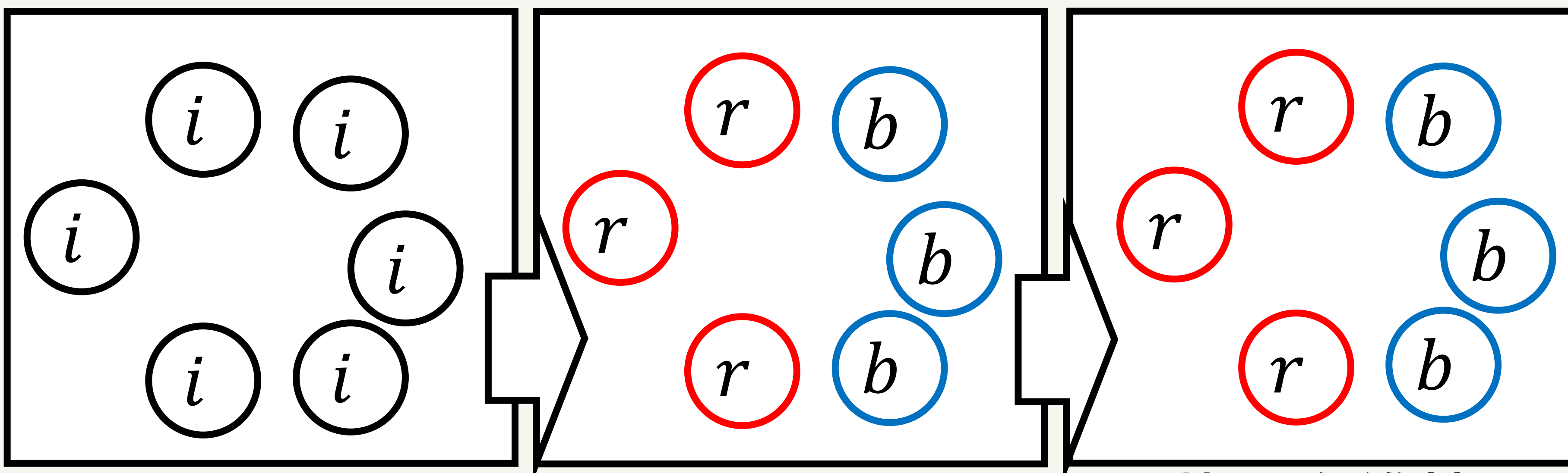
■応用例

- センサネットワークを用いた野鳥の観測
- 分子ロボット

[1] Angluin, D., Aspnes, J., Diamadi, Z., Fischer, M. J., and Peralta, R., Distributed Computing(2006)

半数分割問題[2]

- 個体群を半数に分ける
  - 赤と青の2グループに分ける
- 半数に分けた後はその状態を維持



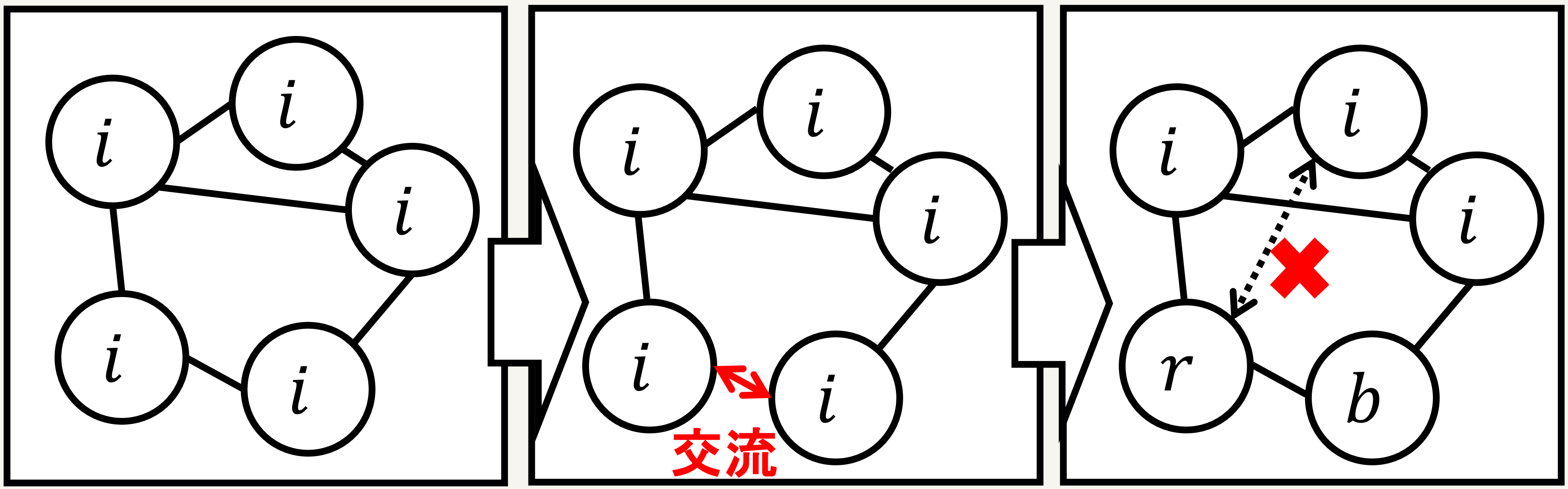
分割完了　　状況を維持

- 応用例
  - グループごとに役割を与えることが可能
  - 片方のグループだけ動かすことでバッテリーを節約

[2] Yasumi, H., Ooshita, F., Yamaguchi, K., Inoue, M., OPODIS2017

個体群プロトコルモデルの通信グラフ

- グラフのノードは個体
- グラフの辺はその個体間で交流可能かどうか



研究成果

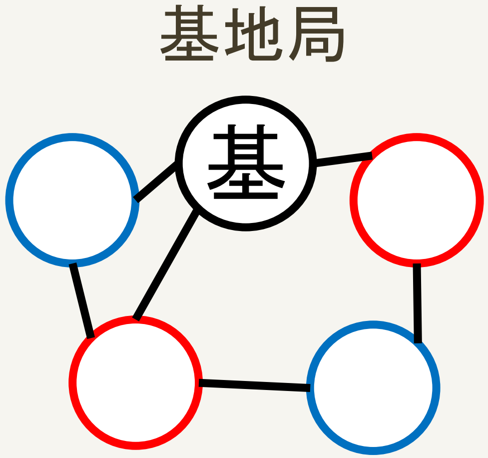
半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	公平性	対称性	上界	下界	上界	下界
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	

[2] H. Yasumi, et al., *the 21st International conference on Principles of Distributed Systems*, 2017.
[3] J. Beauquier, et al., *International Conference on Principles of Distributed Systems*, 2013.

基地局(base station)

- 基地局あり
  - 特別な個体(基地局)が一つ存在
    - 他の個体と区別可能
    - 強力な性能を仮定可能(状態数無制限など)
  - 他の個体は同一
- 基地局なし
  - 全個体が同一

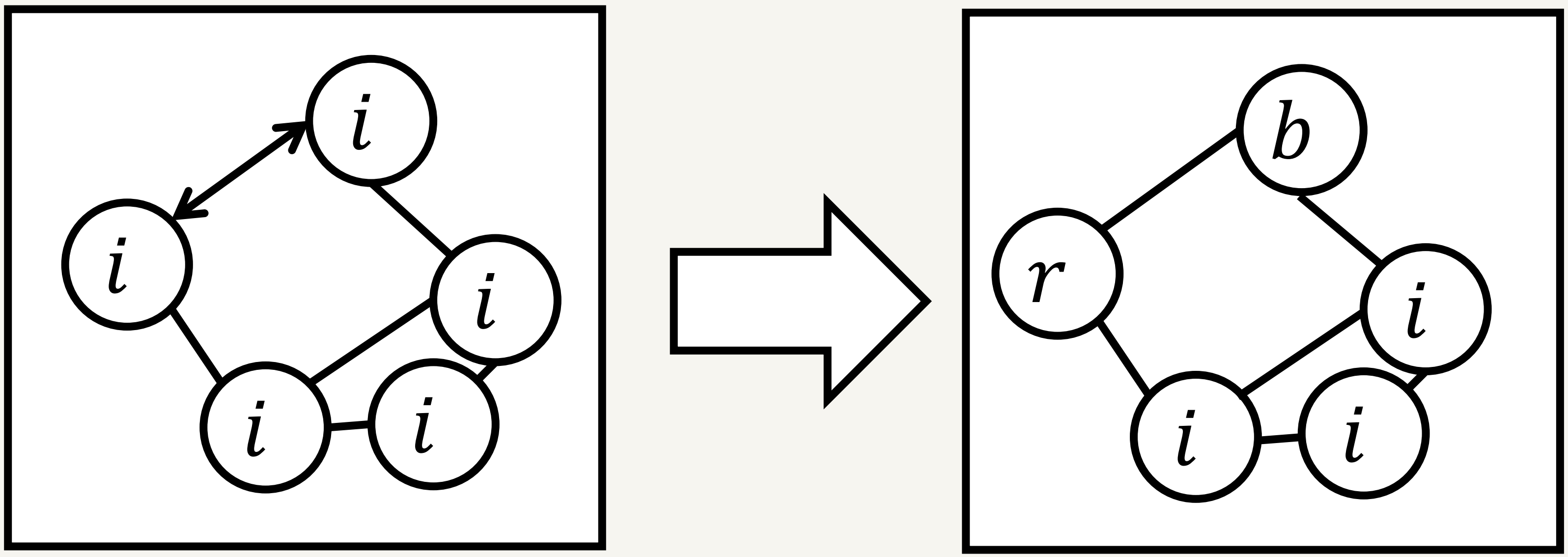


公平性(fairness)

- 交流順序に関する仮定
- 公平性の種類
  - 弱公平性
  - 全体公平性

状況(configuration)

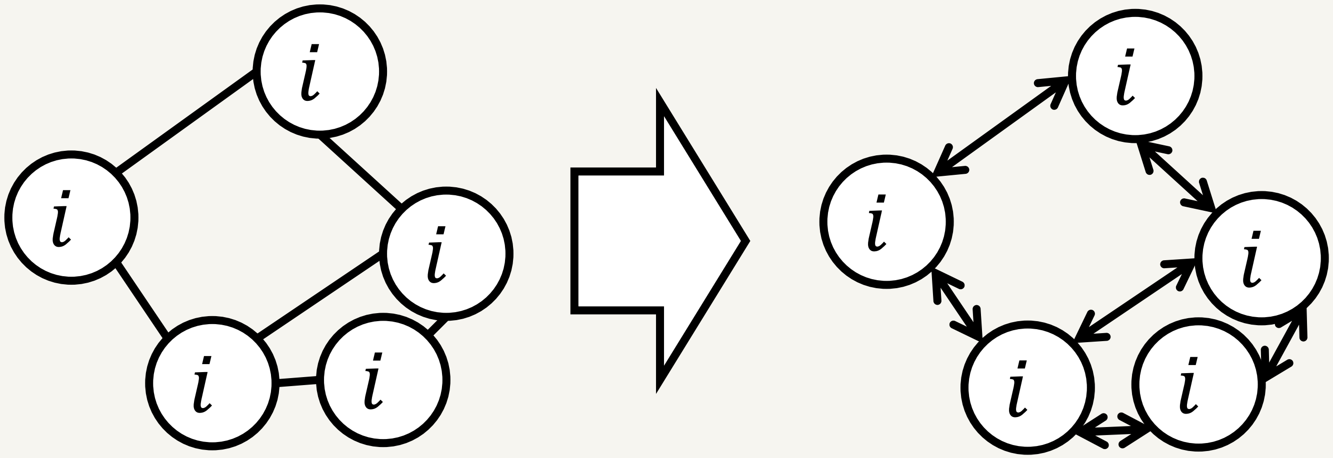
- 個体群の大域的な状態
  - 状態が遷移すると状況も遷移



状況C　　状況C'

弱公平性(weak fairness)

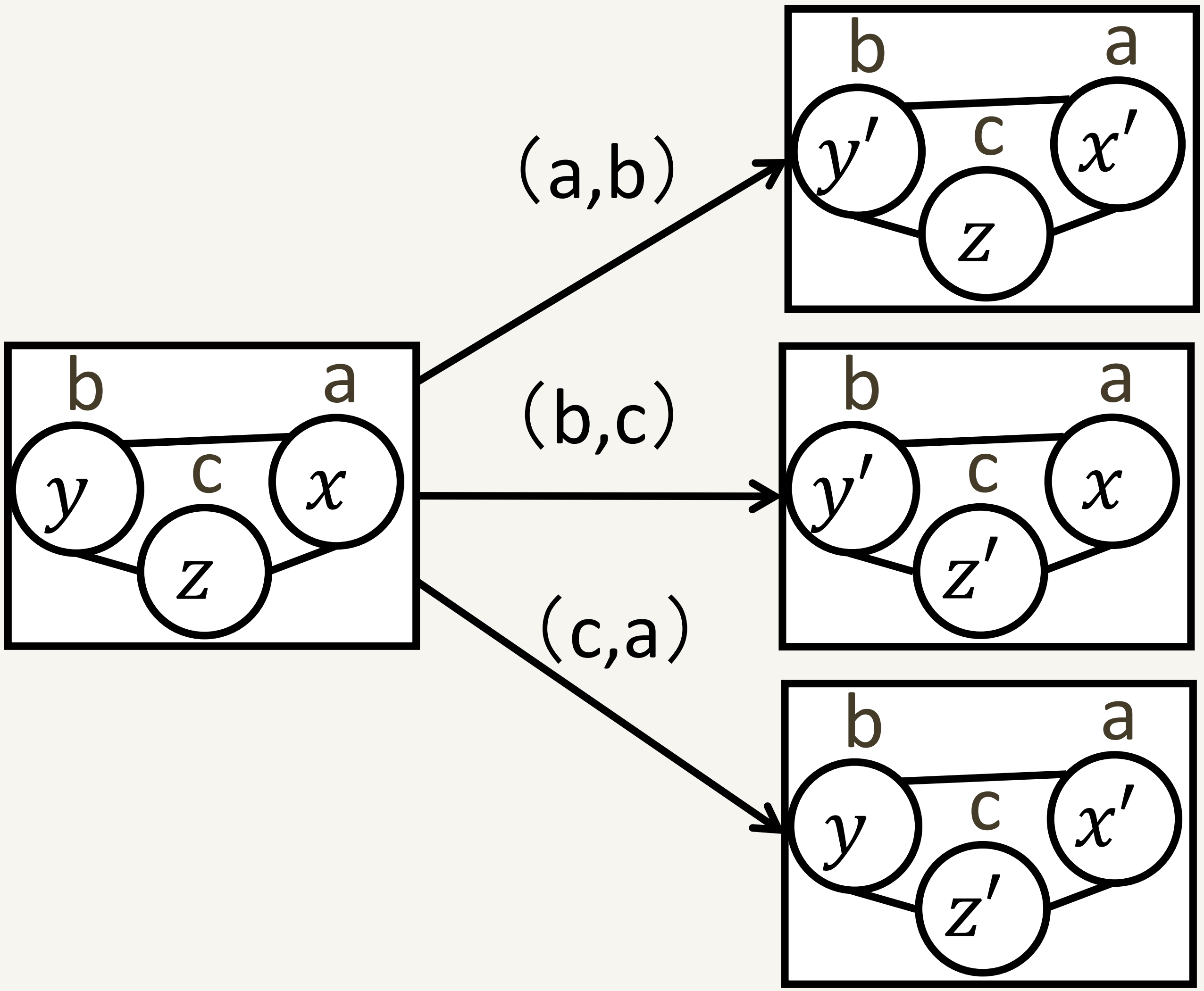
■交流可能な各個体間で無限回交流が発生



それぞれ無限回交流

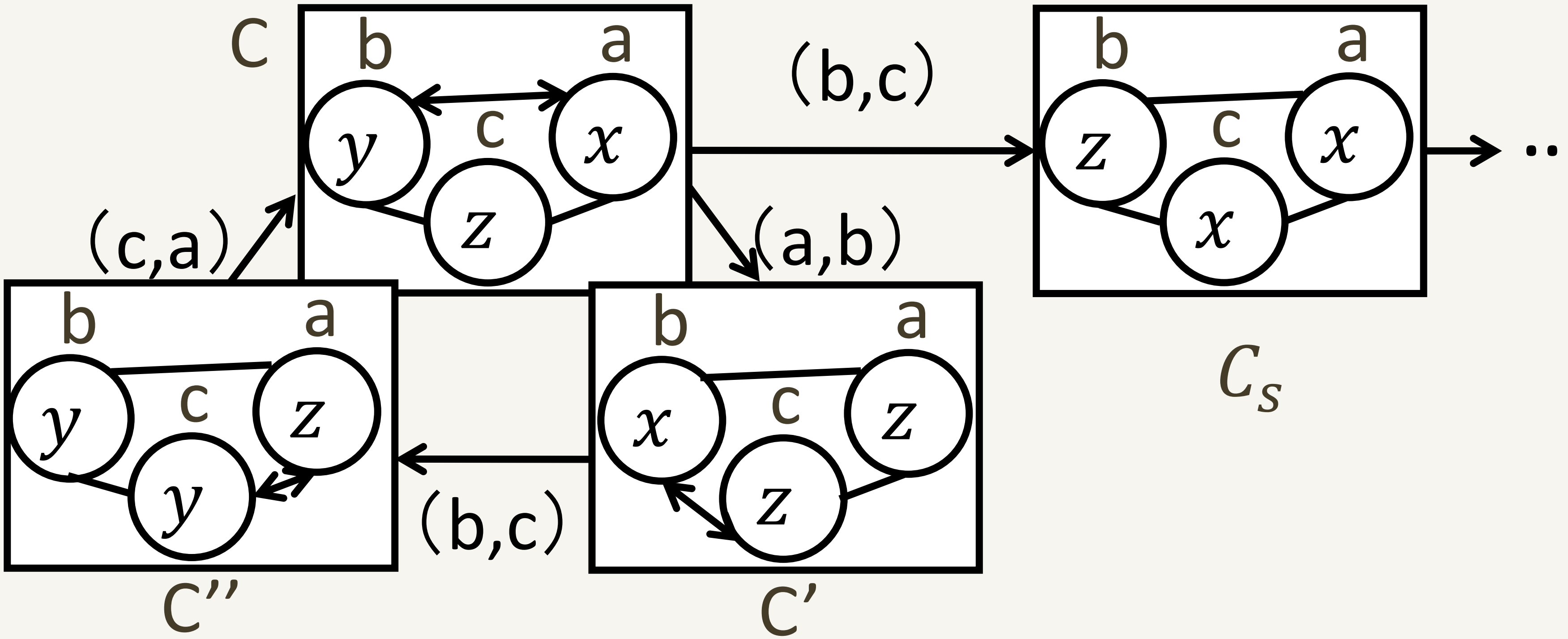
全体公平性(global fairness)

- 無限回現れる状況から起こりうる全ての状況に無限回遷移



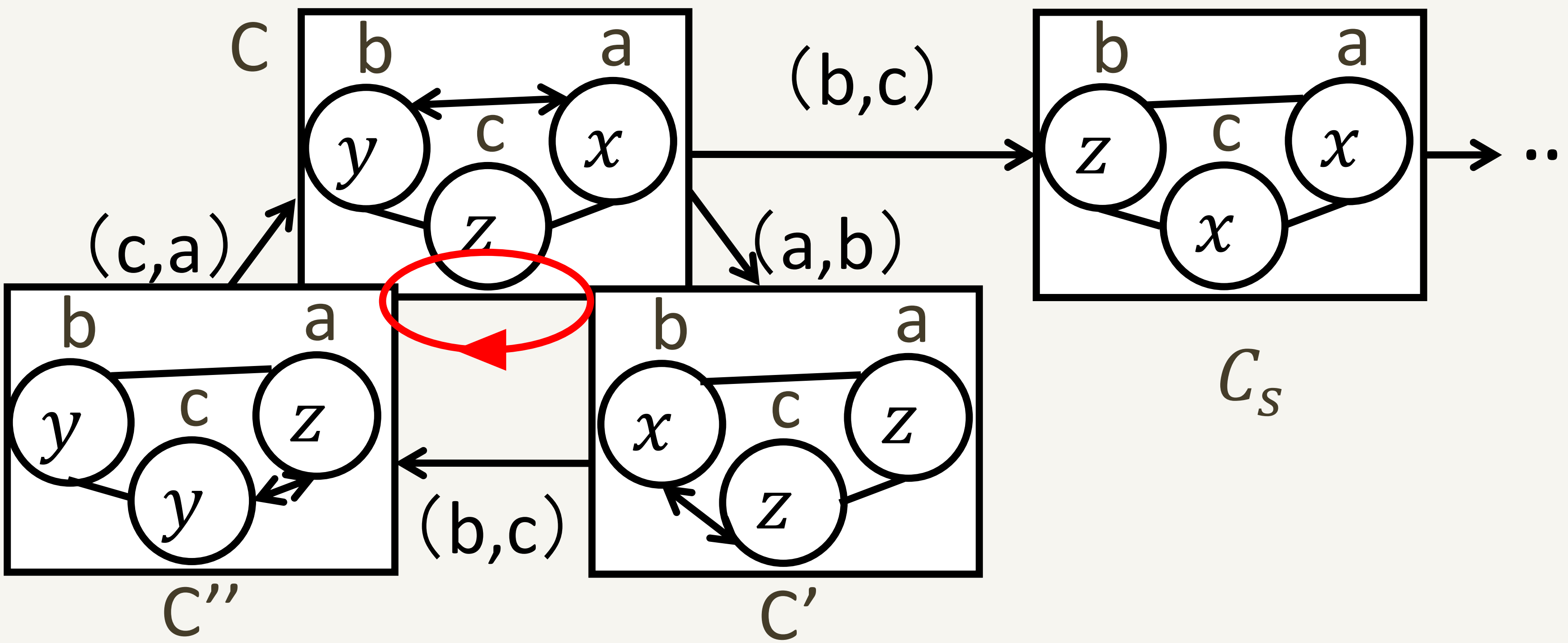
弱公平性と全体公平性の違い

- 弱公平性
  - 交流可能な各個体間で無限回交流が発生



弱公平性と全体公平性の違い

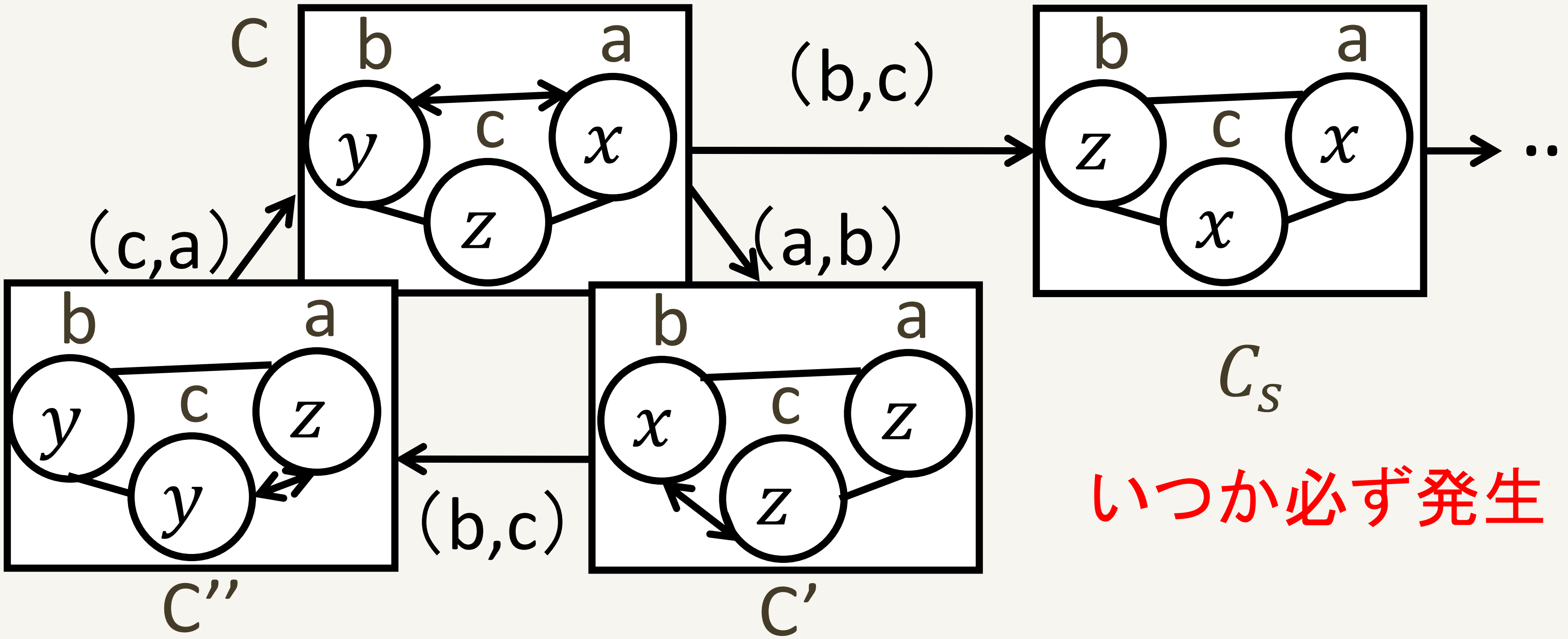
- 弱公平性
  - 交流可能な各個体間で無限回交流が発生



個体はこれらの交流を
無限に繰り返すかもしれない

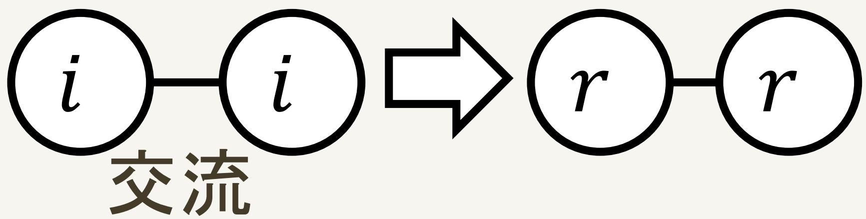
弱公平性と全体公平性の違い

- 全体公平性
  - 無限回現れる状況から起こりうる全ての状況に無限回遷移

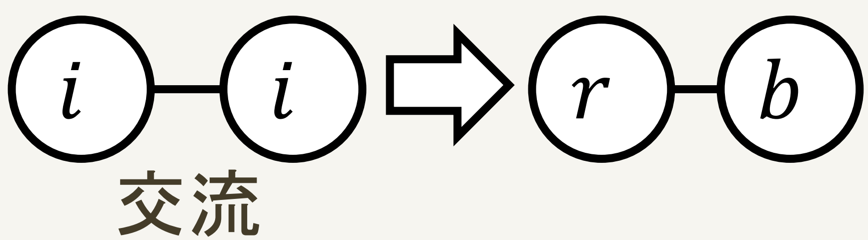


対称性(symmetry)

- 同状態交流に対する仮定
- 対称な遷移
  - 同状態で交流したとき，同状態に遷移



- 非対称な遷移
  - 同状態で交流したとき，別々の状態に遷移

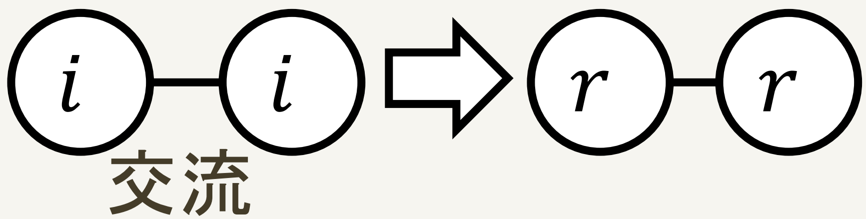


対称性(symmetry)

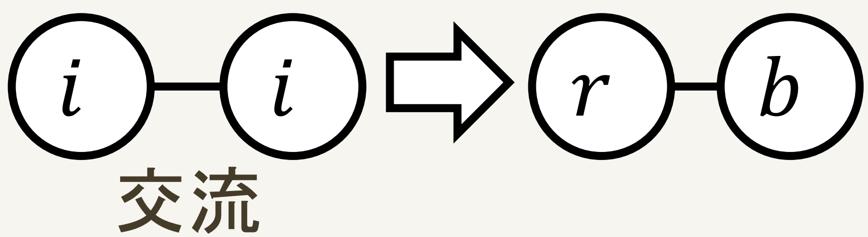
- 同状態交流に対する仮定

対称なアルゴリズム

- 対称な遷移
  - 同状態で交流したとき，同状態に遷移

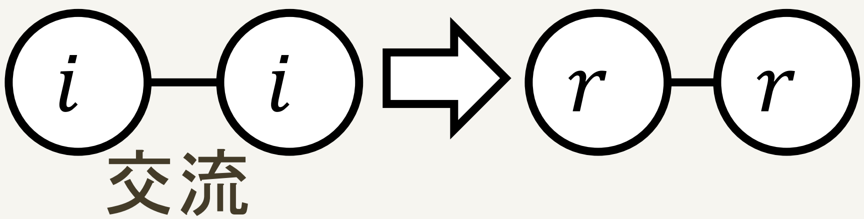


- 非対称な遷移
  - 同状態で交流したとき，別々の状態に遷移

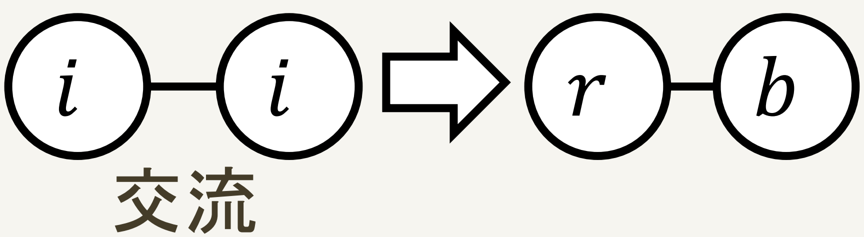


対称性(symmetry)

- 同状態交流に対する仮定
- 対称な遷移
  - 同状態で交流したとき，同状態に遷移



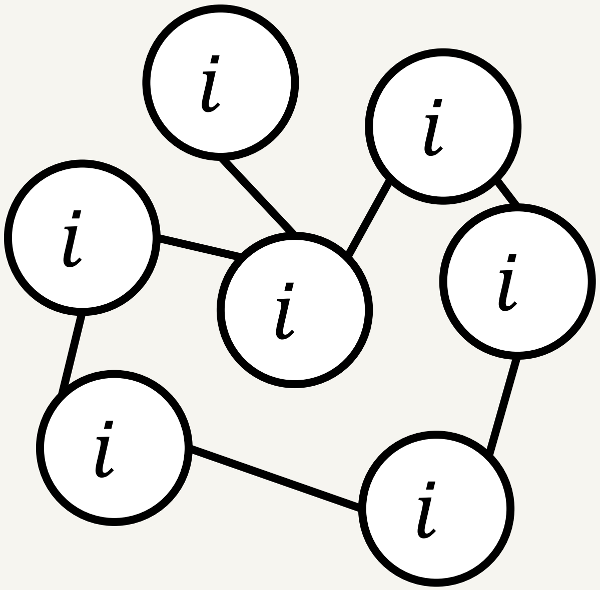
- 非対称な遷移
  - 同状態で交流したとき，別々の状態に遷移



非対称な
アルゴリズム

初期状態

■全ての個体が同じ初期状態を持つという仮定



研究成果

半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	公平性	対称性	上界	下界	上界	下界
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	

[2] H. Yasumi, et al., *the 21st International conference on Principles of Distributed Systems*, 2017.
[3] J. Beauquier, et al., *International Conference on Principles of Distributed Systems*, 2013.

4状態アルゴリズム

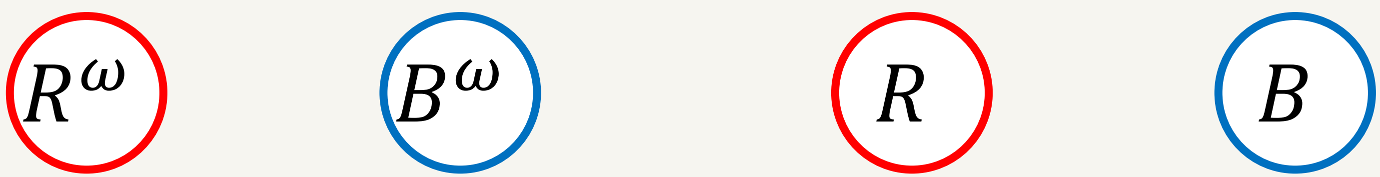
半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	**公平性**	**対称性**	**上界**	**下界**	**上界**	**下界**
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	

[2] H. Yasumi, et al., *the 21st International conference on Principles of Distributed Systems*, 2017.
[3] J. Beauquier, et al., *International Conference on Principles of Distributed Systems*, 2013.

前準備

- 個体の状態集合 $\{R^{\omega}, B^{\omega}, R, B\}$
  - R^{ω}と R が赤グループ
  - B^{ω}と B が青グループ
- 各個体の状態は以下のように表記



R^{ω}　　B^{ω}　　R　　B

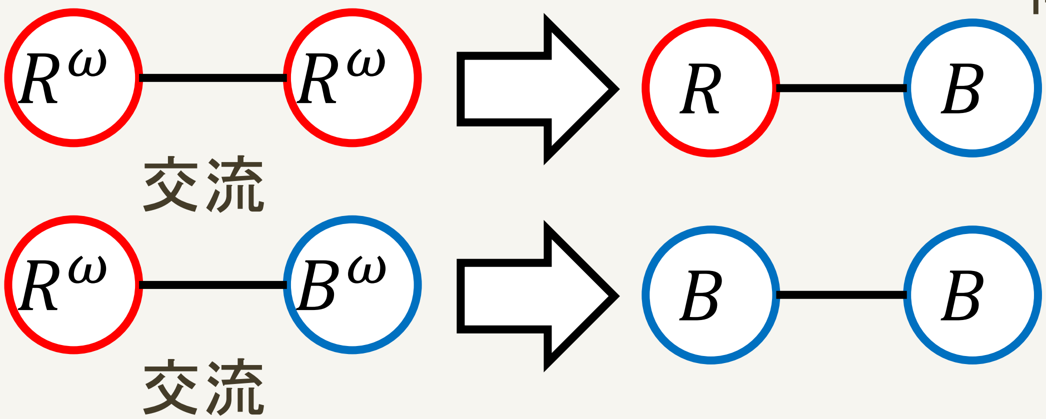
- 個体の初期状態はR^{ω}
- R^{ω}とB^{ω}はトークン持ち

基地局なし
全体公平
非対称遷移あり
初期値一定

アルゴリズム

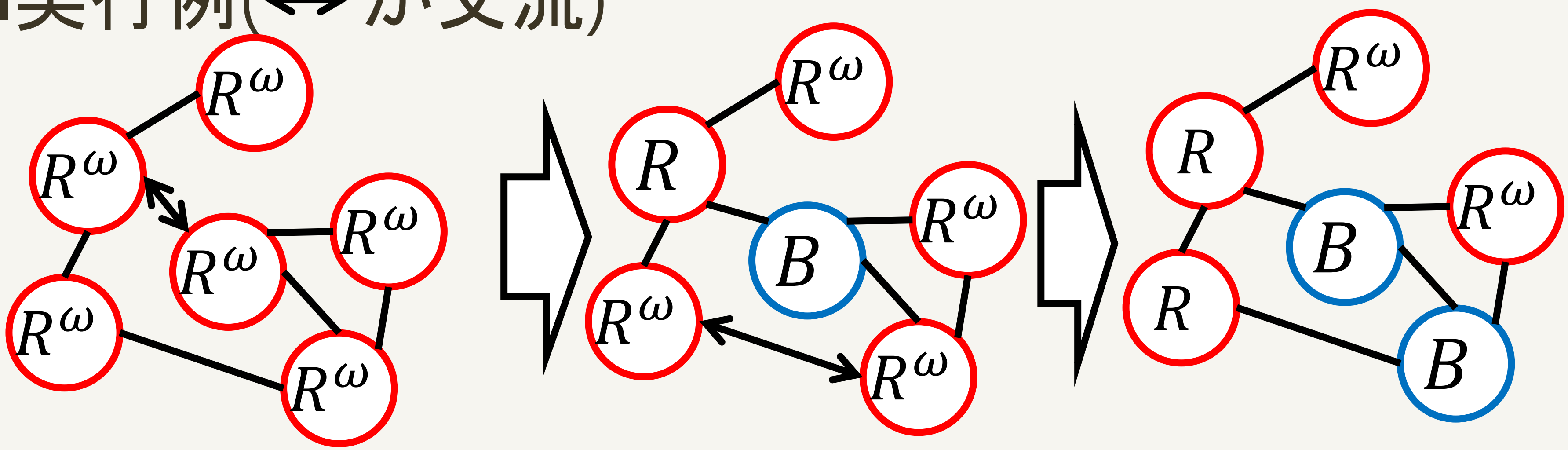
■トークン2つで青を一つ作成

※B^{ω}同士の交流では何も起こらない



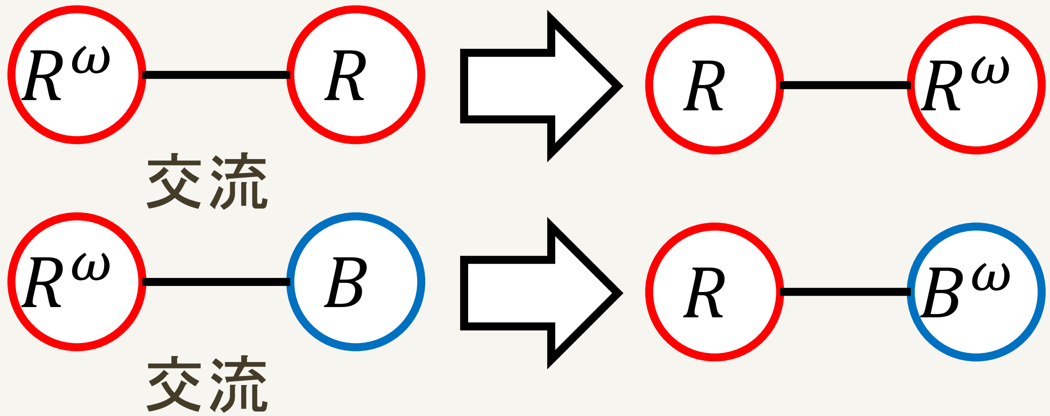
基地局なし
全体公平
非対称遷移あり
初期値一定

■実行例(↔ が交流)



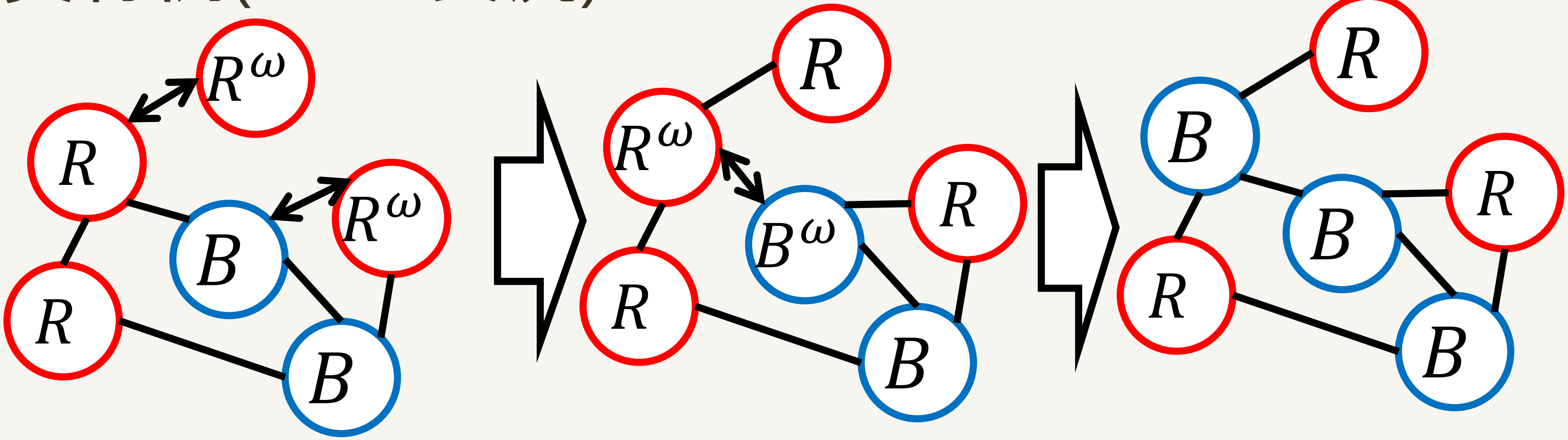
アルゴリズム

■トークンは状態の交換により，グラフ中を移動



基地局なし
全体公平
非対称遷移あり
初期値一定

■実行例(↔が交流)



3状態アルゴリズム

半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

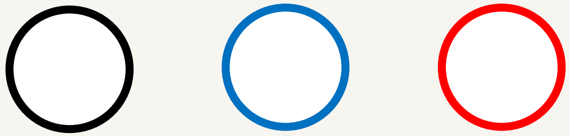
モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	公平性	対称性	上界	下界	上界	下界
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	

[2] H. Yasumi, et al., *the 21st International conference on Principles of Distributed Systems*, 2017.
[3] J. Beauquier, et al., *International Conference on Principles of Distributed Systems*, 2013.

3状態アルゴリズム

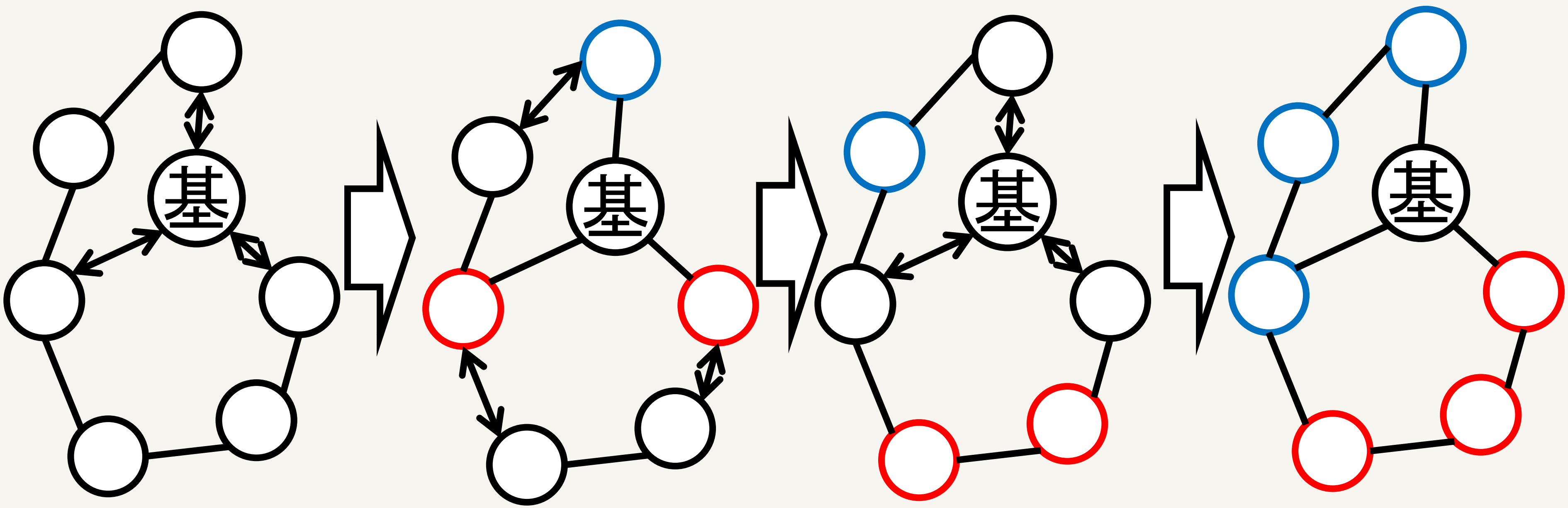
基地局あり
全体公平
初期値一定

- 状態



初期

- 基地局が ◯ に 赤，青，赤，青,…と個体に色を割り当て
- ◯ は交流によって別の色と交換

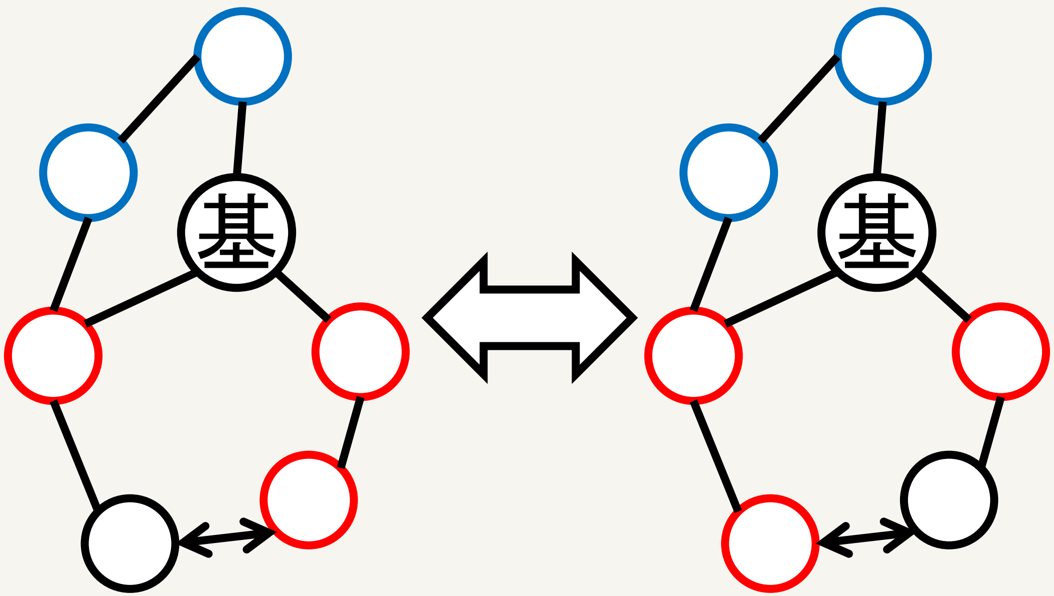


弱公平では？

■基地局の隣に ◯ が来ないかもしれない

□2個体間を行き来する

基地局あり
全体公平
初期値一定



割り当てられない ◯ が出てくる

$3P+1$状態アルゴリズム

半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

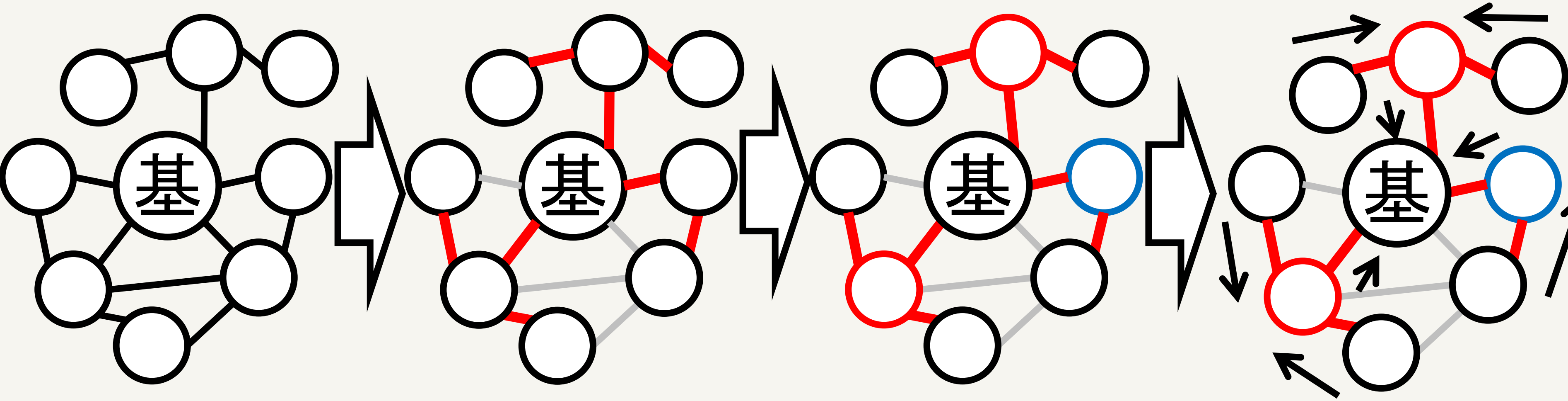
モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	公平性	対称性	上界	下界	上界	下界
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	

[2] H. Yasumi, et al., *the 21st International conference on Principles of Distributed Systems*, 2017.
[3] J. Beauquier, et al., *International Conference on Principles of Distributed Systems*, 2013.

概要

- 最初は全員色がない状態
- 基地局を根としたスパニングツリーを構築
- 基地局は交互に色を割り当て
- ツリーに沿って色がない状態が基地局に向かう

基地局あり
弱公平
初期値一定



前準備

- 個体の状態変数
  - $color \in \{ini, R, B\}$, 初期値はini
  - $depth \in \{\perp, 1, 2, 3, \dots, P\}$, 初期値は$\perp$
- 各個体の状態は以下のように表記

x

$color = ini$
$depth = x$

y

$color = R$
$depth = y$

z

$color = B$
$depth = z$

基

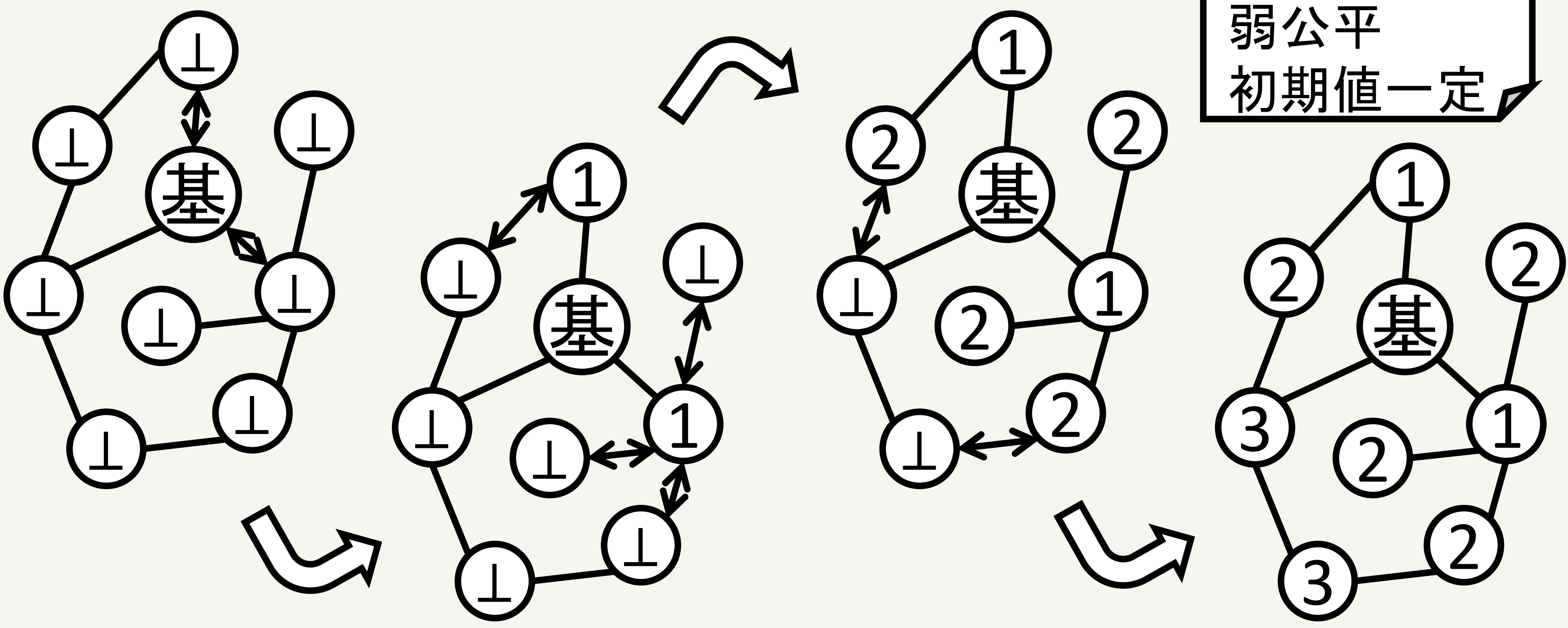
基地局

基地局あり
弱公平
初期値一定

スパニングツリーの構築

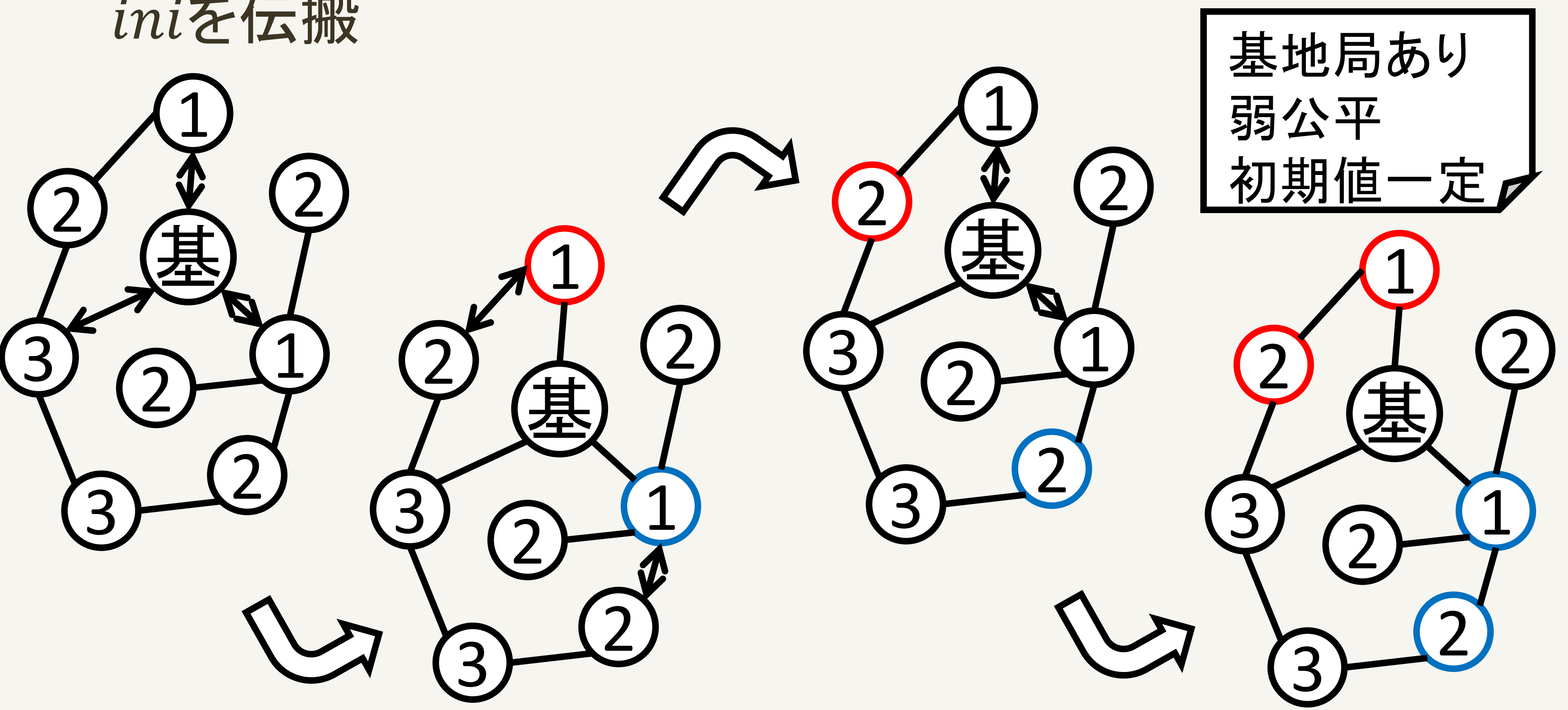
- 初期状態では，全個体の$depth$が⊥
- ⊥を持つ個体が基地局と交流すると1になる
- ⊥でない個体が⊥を持つ個体と交流すると$depth+1$を割り当て

基地局あり
弱公平
初期値一定



色の割り当て

- 基地局と$depth = 1$の個体が交流すると,
  基地局が$color$を$R, B, R, B, \ldots$と順に割り当て
- iniの個体は自分より$depth$が小さい個体と交流すると
  iniを伝搬



10状態アルゴリズム

半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

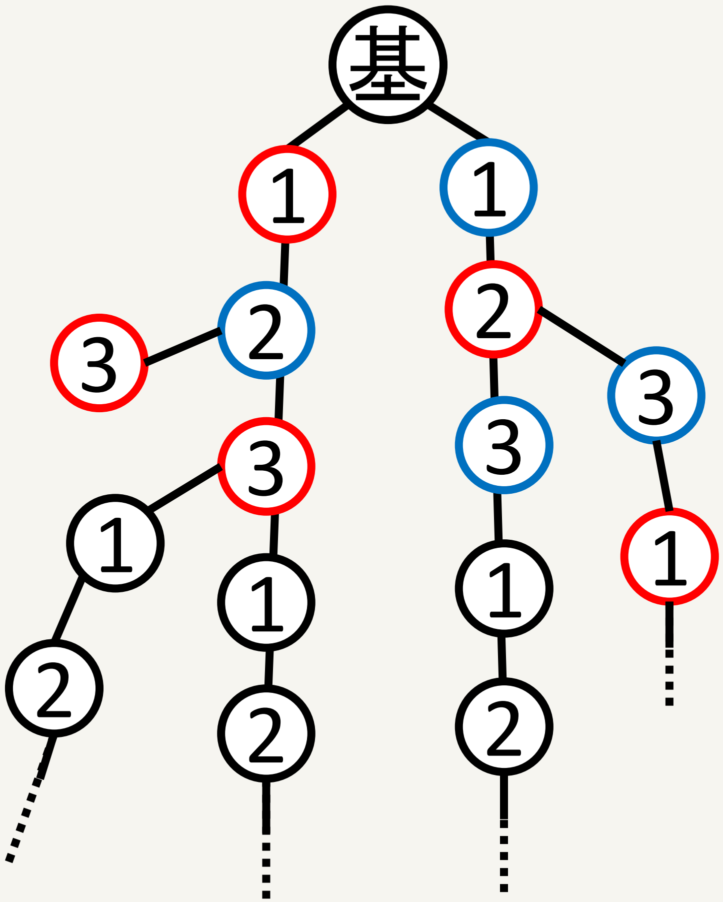
モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	公平性	対称性	上界	下界	上界	下界
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	

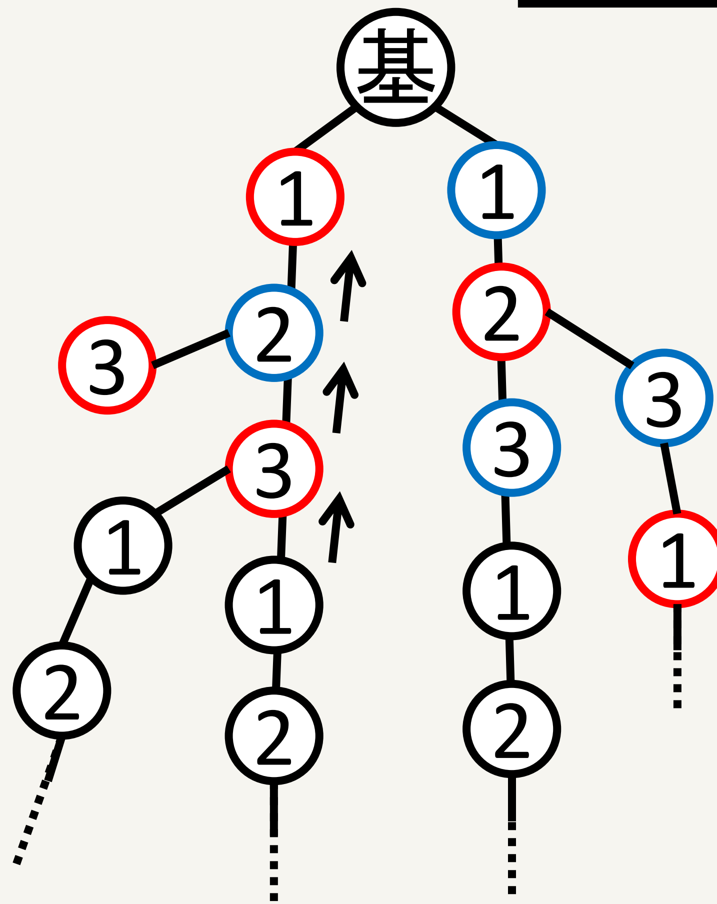
[2] H. Yasumi, et al., *the 21st International conference on Principles of Distributed Systems*, 2017.
[3] J. Beauquier, et al., *International Conference on Principles of Distributed Systems*, 2013.

10状態アルゴリズム

- 基本的な動作は$3P+1$と同じ
- 違いは$depth$の長さ(1,2,3を繰り返す)

基地局あり
弱公平
初期値一定



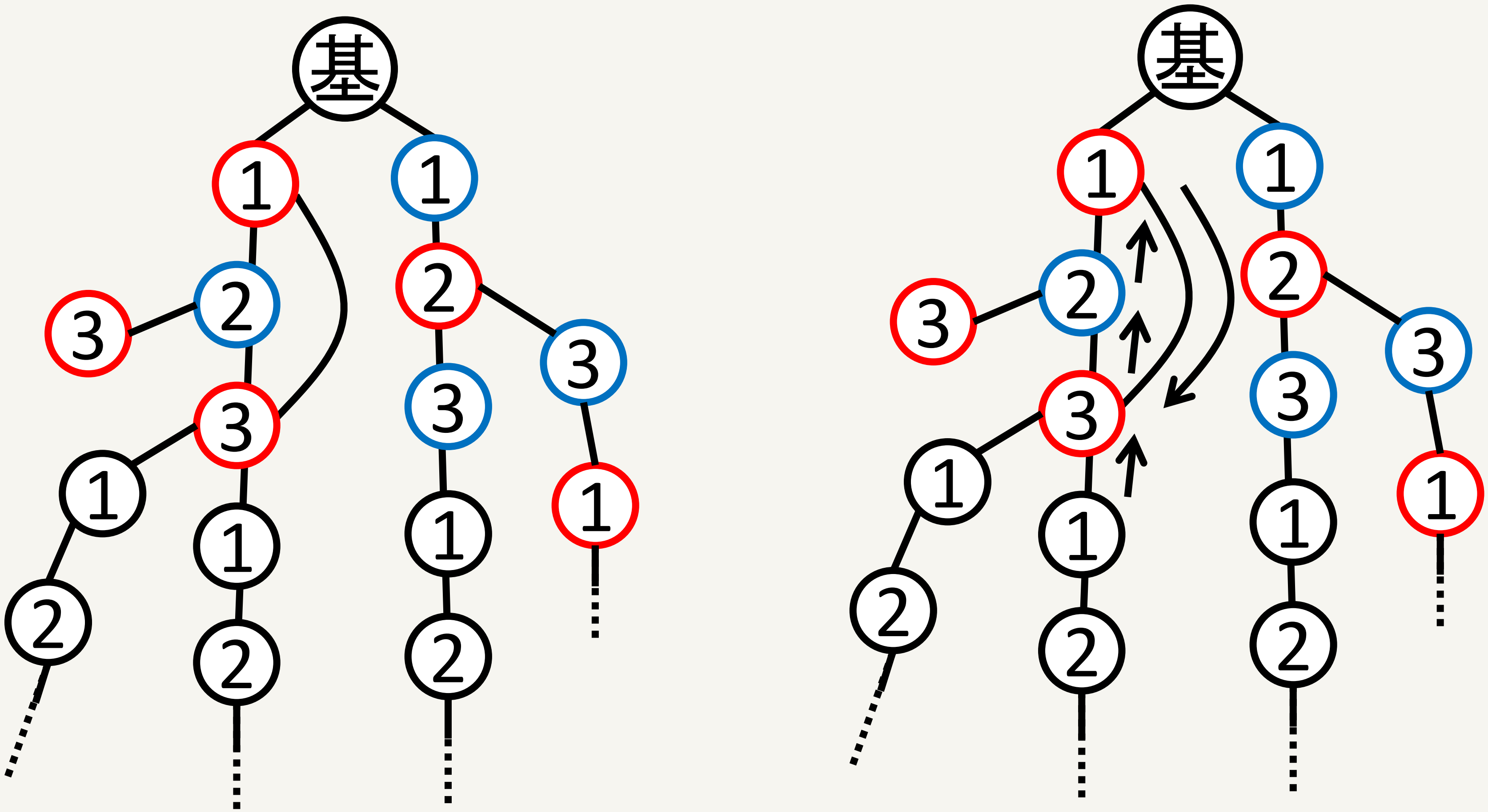


10状態アルゴリズム

- 3lの長さの閉路があると動かない

基地局あり
弱公平
初期値一定

動かない例



まとめと今後の課題

- 今後の課題
  - 未解明部分の解明
  - 時間計算量のよいアルゴリズムの提案
  - 分割数を任意の数にした問題(k分割問題)

半数分割問題を解く最小状態数 (Pは個体数の上界)　　*特別な閉路がない場合

モデル			完全グラフ[2][3]		本研究	
基地局	公平性	対称性	上界	下界	上界	下界
あり	全体公平	非対称/対称	3	3	3	3
	弱公平	非対称/対称	3	3	$3P+1$ 10*	3
なし	全体公平	非対称	3	3	4	4
		対称	4	4	5	5
	弱公平	非対称/対称	不可		不可	