Vol.2019-GI-41 No.12
2019/3/8

# コンピュータ大貧民におけるローカルルールの効果に関する研究

門 裕太[1]　大久保 誠也[2]　若月 光夫[1]　西野 哲朗[1]

**概要**：コンピュータ大貧民の研究が UEC 標準ルールに基づいて行われている．しかし，ローカルルールの効果に関する研究は，ほとんど行われていない．本研究では，ローカルルールが各種指標にどのような影響を与えるかについて検討を行った．特に，平均終了手数や平均合法手数といった指標について検討した．また，UEC 標準ルールに基づいた大貧民は，戦略的複雑さが，他の現代のゲームと比べて非常に単純であることが示されている．そこで，ローカルルールによって複雑にすることができるかについて検討した．さらに，大貧民は，交換ルールによる順位の格差が大きいことや，席順によって得点に差があることも知られている．そこで，各種ローカルルールが席順と得点に与える影響について調査した．具体的には，代表的な大貧民プログラムを 11 バックや 5 飛び，6 リバースに対応させ，それらを用いた計算機実験によりデータを収集し，その分析を行った．その結果，11 バックは，階級の格差を改善するが，平均合法手数や戦略的複雑さは変化させないこと．また，5 飛びや 6 リバースは，席順に応じた得点の差に影響を与えることがわかった．

## 1. はじめに

トランプゲームの大貧民（大富豪）は多人数不完全情報ゲームの 1 つであり，UEC コンピュータ大貧民大会（UECda）[1] が 2018 年に第 13 回を迎えるなど，近年，よく研究されている．UECda では UEC 標準ルールが用いられているが，ルールの変更はほとんど行われず今日に至っている．

ゲーム情報学の研究においては，さまざまなデータが収集されている．例えば，将棋やチェス，囲碁，オセロといった 2 人完全情報ゲームの研究においては，ゲームを特徴付けるデータとして平均合法手数や平均終了手数 [2] が収集されてきた．同様に，多人数不完全情報ゲームの大貧民においても，平均終了手数や平均合法手数に関する研究が，少しずつではあるが進められている [3]．それらの研究により，UEC 標準ルールに基づいた大貧民の普遍的指標が求められた結果，他の現代のゲームと比較して，戦略的複雑さが非常に単純であることが示された．

また，大貧民にはさまざまなローカルルールがあることが知られている．しかし，これまでコンピュータ大貧民のローカルルールに関する研究は行われておらず，ローカルルールが戦略的複雑さにどの程度影響を与えるかは示されていない．さらに，大貧民には戦略的複雑さのほかに，交換ルールによる順位の格差が大きいことや，席順によって得点に差があることも知られている．ローカルルールはこれらの格差を埋めることができると言われているが，どの程度改善できるかは明らかにされていない．

本研究では，大貧民におけるさまざまなローカルルールが与える影響を調べることを目的とする．また，それらを組み合わせることにより，平均終了手数や平均合法手数から求められる戦略的複雑さを，現在のゲームに近づけることが可能か否かについて検討する．特に，11 バックならびに 5 飛びと 6 リバースが与える影響を明らかにする．そこで，現在公開されている大貧民プログラムの中から特徴的なものをローカルルールに対応させ，それらを用いた計算機実験より分析を行う．

## 2. 大貧民

### 2.1 基本ルールとローカルルール

コンピュータ大貧民は大貧民をプレイするプログラムを計算機上で対戦させるものである．電気通信大学（UEC）において毎年コンピューター大貧民をプレイするプログラムの強さを競う大会，UECda が開催されている．トランプゲームである大貧民にはさまざまなローカルルールが存在するが，UECda では，以下の UEC 標準ルール（UEC ルール 2007）が用いられている．カードの強さと席順に関

1　電気通信大学大学院 情報理工学研究科情報学専攻
2　静岡県立大学経営情報学部 経営情報学科

するルールには，以下のようなものがある．

- カードの強さは，3 がもっとも弱く，2 がもっとも強い．
- 4 枚組または 5 枚以上の階段を出すと革命となり，その試合中はジョーカー以外の強さが逆転する．
- ゲームは 5 人で行われる．席順にしたがい，順番にカードを提出していく．試合中に順番が回る方向が変更されることはない．例を図 2 に示す．通常，カードの提出は黒い矢印の順番で行われる．
- 3 試合に 1 度，席替えが行われ，席順が変更される．

他にも，カード交換や 8 切り，スペ 3，しばり等のルールがある．また，上がった順に大富豪・富豪・平民・貧民・大貧民の階級となる．UECda では，1 試合ごとに，各階級に対して 5 点，4 点，3 点，2 点，1 点が与えられる．そして，このゲームを数千回繰り返し，総得点を競う．

本研究では，UEC 標準ルールを基本ルール，それ以外をローカルルールとする．また，A というローカルルールを基本ルールに追加したルールを A ルールと表す．カードの強さや席順に関する主なローカルルールとして，以下のようなものがある．

**11 バック**　J のカードが提出された際，場が流れるまで革命，つまり，ジョーカー以外のカードの強弱が逆転した状態になる．J を含んだペアや階段を出した場合も同様に，J を提出した枚数に関わらず強弱が逆転する．例を図 1 に示す．UEC 標準ルールでは，J が 1 度場に提出されたとしても，通常どおり 2 がもっとも強いカードである．一方，11 バックルールでは，J が 1 度場に提出されたとき，革命状態と同様に 3 がもっとも強いカードとなる．

**5 飛び**　5 のカードが提出された際，次のプレイヤの手番をスキップする（ここで，手番をスキップされたプレイヤはパス扱いとはならない）．5 を含んだペアや階段を出した場合も同様に，5 を提出した枚数に関わらず次のプレイヤの手番のみをスキップする．例を図 2 に示す．カードの提出は黒い矢印の順番で行われているとする．基本ルールでは席順 (0) のプレイヤが 5 を提出したとき，黒い矢印が示すとおり次の手番は席順 (1) のプレイヤになる．一方，5 飛びルールでは，席順 (0) のプレイヤが 5 を提出したとき，赤い矢印が示すとおり次の手番は席順 (2) のプレイヤになる．

**6 リバース**　6 のカードが提出された際，提出順が逆になる．ペアや階段を出した場合も同様に，6 を提出した枚数に関わらず提出順が逆になる．この効果は試合終了まで続く．例を図 3 に示す．順番が黒い矢印が示すとおりに回っているとする．席順 (0) のプレイヤが 6 を提出すると，今までとは逆向きの緑の矢印が示す回り方となり，次のプレイヤは席順 (4) のプレイヤになる．つまり，6 が出た回数が偶数回なら黒の矢印，奇数回なら緑の矢印の方向にしたがって順番が回る．

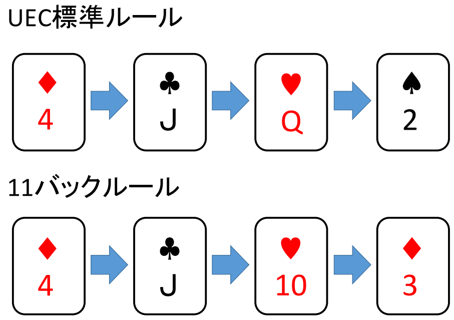


**図 1**　11 バックのルール

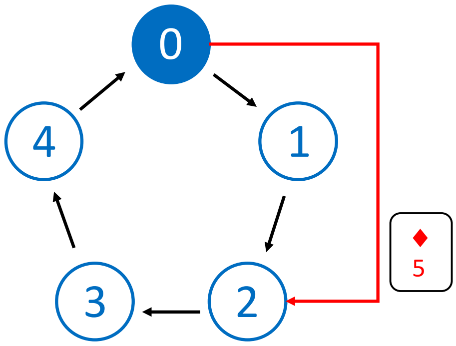


**図 2**　5 飛びのルール

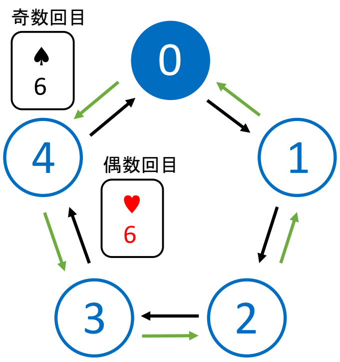


**図 3**　6 リバースのルール

### 2.2　大貧民プログラム

UECda では，無差別級とライト級の 2 つの階級に分かれて，大貧民プログラムの対戦が行われている．無差別級の大貧民プログラムには，モンテカルロ法 [4] などの機械学習を実行しているものが多い．ライト級の大貧民プログラムには，人間のプレイの思考戦略を参考とした，ヒューリスティックなアルゴリズムを実行しているものが多い．ここでは，本研究で使用した各プログラムを弱い順に説明する．

**標準クライアント (default)**

UECda の公式サイトで公開されている． 標準的な動作のみを行うプログラムであり，そのアルゴリズムは提出で

表 1 最強レベルのプレイヤの試合から得られた各指標の値

| ゲーム | $B$ | $D$ | $\sqrt{B}/D$ | $B^D$ |
|---|---|---|---|---|
| チェス | 35 | 80 | 0.074 | $3.35*10^{125}$ |
| 将棋 | 80 | 115 | 0.078 | $7.17*10^{218}$ |
| 麻雀 | 12.47 | 44.7 | 0.079 | $3.84*10^{20}$ |

きるカードからもっとも弱いものを選択するという単純なものである．

**ishinomaki**

ishinomaki は第 6 回 UECda の出場プログラムであり，一部にモンテカルロ法を用いている．モンテカルロシミュレーションは手札が 9 枚以下の時に行っており，それ以外のときは default と同様に提出できるカードからもっとも弱いものを選択する．報酬値は大富豪が 2 点，富豪が 1 点，それ以外の階級が 0 点としている．モンテカルロシミュレーションの際に事前学習したデータ等は用いていない．

**snowl**

snowl[5] は第 5 回 UECda で優勝したプログラムであり，手番における行動をモンテカルロ法で決定している．報酬値は各階級の得点の 2 乗値としている．シミュレーションでは，カード交換で得られる情報を考慮したり，見込みのある手を重点的にシミュレーションしたり，あらかじめ定めた評価関数を用いるなどの工夫が凝らされている．

**paoon**

paoon は第 7 回 UECda 無差別級で優勝したプログラムであり，手番における行動をモンテカルロ法で決定している．報酬値は各階級の得点としている．ishinomaki や snowl と異なり，場に自分が提出したカードが提出されているときのシミュレーションを，自分が提出する場合と他のプレイヤが提出する場合に場合分けして行っている．

## 3. 普遍的指標

コンピュータを用いたゲームの研究では，そのゲームのプログラムを強くする試みが数多くなされてきた．ゲーム木の大きさはそのゲームの難しさを特徴付ける重要な要素である．ゲーム木の大きさは平均合法手数と 1 ゲームあたりの平均終了手数で表される．平均合法手数を $B$，平均終了手数を $D$ とおくと，ゲーム木の大きさは $B^D$ と定義できる．そのため，平均合法手数と平均終了手数はゲームにおいて，重要な基本統計量といえる．また，平均合法手数や平均終了手数によりゲームの戦略的複雑さを表せることも示されている．ゲームの戦略的複雑さは $\sqrt{B}/D$ で表すことができる．チェスや将棋について，それぞれ一番強い人がプレイした場合の各指標を表 1 に示す．

大貧民は多人数不完全情報ゲームであるためゲーム木を

表 2 大貧民の合法手数を決定する要素

| 要素 | 合計手数 |
|---|---|
| 同じ数字が 1 枚 | 1 |
| 同じ数字が 1 枚 | 3 |
| 同じ数字が 1 枚 | 7 |
| 同じ数字が 1 枚 | 15 |
| (同じ数字が 1 枚) | 31 |
| 最大 3 階段 | 1 |
| 最大 4 階段 | 3 |
| 最大 5 階段 | 6 |
| 最大 6 階段 | 10 |
| 最大 7 階段 | 15 |
| 最大 8 階段 | 21 |
| 最大 9 階段 | 28 |
| 最大 10 階段 | 36 |
| 最大 11 階段 | 45 |
| パス | 1 |

完全な形で作ることはできないが，普遍的指標である平均終了手数と平均合法手数を調べることはできる．ここで，平均終了手数を求める際，パスをどのように扱うかが問題となる．本研究の平均終了手数はパスを含めた回数とする．

表 2 に大貧民の平均合法手数を決定する要素を示す．ただし，計算する上でジョーカーの存在を考慮しなければならない．

## 4. 11 バックの影響の評価

計算機実験により，基本ルールと 11 バックルールの場合における平均終了手数および平均合法手数，順位の変動のデータを収集した．また，違いの原因を検討するため，1 ゲーム中のパスの回数，1 位の平均終了手数，場が空の場合の平均合法手数を収集した．

実験は，同じプログラム 5 つの対戦を，1 セット 3000 試合で 100 セット行った．各データはプログラムの強さによって異なるため，プログラムとして，出せるカードを単調に出す default と，モンテカルロ法を用いた ishinomaki，snowl を用いた．また，これらのプログラムを 11 バックに対応できるよう書き換えた b11def，b11monte，b11snowl の 3 種類を作成して用いた．

表 3 に各プログラムの平均終了手数および平均合法手数，戦略的複雑さ，1 ゲーム中のパスの回数，1 位の平均終了手数，場が空の場合の平均合法手数を示す．表 4〜表 5 に 11 バックルールと基本ルールの各階級の順位遷移確率の差を示す．

表 3 において平均終了手数を比較すると，default は基本ルールの方が 11 バックルールより長いのに対し，ishinomaki は 11 バックルールの方が基本ルールより長いことがわかる．これは，11 バックの場合，ishinomaki は default よりパスの回数が多いためであると考えられる．つまり，default はカードが提出できるときは必ず提出するため，

表 3　大貧民の普遍的指標

| player | $D$ | $B$ | $\sqrt{B}/D$ | 1st$D$ | パス | 空 $B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| default | 78.93 | 2.88 | 0.022 | 52.40 | 43.98 | 7.22 |
| ishino | 84.02 | 3.15 | 0.022 | 44.21 | 47.98 | 7.28 |
| b11def | 78.62 | 2.90 | 0.022 | 53.48 | 43.55 | 7.13 |
| b11mo | 86.07 | 2.94 | 0.020 | 48.87 | 50.13 | 7.13 |

1st$D$ は 1 位の平均終了手数，パスは 1 ゲーム中のパスの回数，空 $B$ は場が空のときの平均合法手数．

表 4　順位の遷移確率の差 (b11def-default)

| 階級 | 大富豪 | 富豪 | 平民 | 貧民 | 大貧民 |
|---|---|---|---|---|---|
| 大富豪 | -7.47 | -2.18 | 1.54 | 3.61 | 4.52 |
| 富豪 | -2.38 | -2.20 | 0.05 | 1.81 | 2.71 |
| 平民 | 1.66 | -0.06 | -1.12 | -0.47 | -0.02 |
| 貧民 | 3.16 | 1.80 | -0.12 | -2.14 | -2.70 |
| 大貧民 | 5.03 | 2.63 | -0.34 | -2.80 | -4.52 |

縦軸が現在の順位，横軸がゲームの結果．単位は%.

表 5　順位の遷移確率の差 (b11monte-ishinomaki)

| 階級 | 大富豪 | 富豪 | 平民 | 貧民 | 大貧民 |
|---|---|---|---|---|---|
| 大富豪 | -2.12 | -1.85 | 0.52 | 1.67 | 1.78 |
| 富豪 | -1.52 | -2.50 | -0.08 | 1.71 | 2.38 |
| 平民 | 0.87 | 0.25 | -2.13 | -0.65 | 1.65 |
| 貧民 | 1.44 | 1.56 | -0.86 | -2.77 | 0.64 |
| 大貧民 | 1.34 | 2.53 | 2.55 | 0.04 | -6.46 |

縦軸が現在の順位，横軸がゲームの結果．単位は%.

ルールが変わっても行動が変化しないのに対し，ishinomaki は探索の際に，11 バックルールは基本ルールよりも，パスすることが有効であると判断したからだと考えられる．また，11 バックルールは基本ルールと比べ，平均合法手数がほとんど変わらないことがわかる．このことから 11 バックは平均合法手数を変える効果を持たないことがわかる．これは，11 バックが場を空にする回数を変えないことが原因だと考えられる．

表 4 から，default の場合，11 バックルールは基本ルールと比べ，大富豪と富豪は次のゲームで平民以下の階級になりやすく，貧民と大貧民は次のゲームで富豪以上の階級になりやすいことがわかる．それに対し表??から ishinomaki や snowl といったモンテカルロ法を使ったプログラムの場合，平民は次のゲームで大富豪だけでなく大貧民にもなりやすい．総じて，11 バックルールは基本ルールと比較して順位の維持が難しいことがわかる．これは，11 バックルールでは，基本ルールでは弱いカードを提出できる機会が増え，下の階級のプレイヤに逆転の機会が与えられるからだと考えられる．実際，表 5 からわかるとおり 11 バッククルールは基本ルールより，1 位のプレイヤは上がるのが遅くなっている．このように，11 バックは階級の格差を小さくする効果があることがわかる．

## 5. 6 リバースの影響の評価

計算機実験により，基本ルールと 6 リバースルールの場

表 6　snowl 1 つと default 4 つの得点（6 リバース，交換あり）

| プログラム | 基本 | 6 リバース | 6 の提出回数（序盤） | 6 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| snowl(0) | 12878.02 | 13001.90 | 1170.00 | 1341.81 |
| default(1) | 8269.99 | 8074.02 | 1332.54 | 1830.04 |
| default(2) | 7986.04 | 7922.03 | 1322.21 | 1834.26 |
| default(3) | 7962.82 | 7932.36 | 1249.18 | 1750.71 |
| default(4) | 7903.13 | 8069.70 | 1256.79 | 1745.46 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

表 7　snowl 1 つと default 4 つの得点（6 リバース，交換なし）

| プログラム | 基本 | 6 リバース | 6 の提出回数（序盤） | 6 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| snowl(0) | 11593.05 | 11438.93 | 1519.79 | 1855.54 |
| default(1) | 8602.30 | 8470.43 | 1421.46 | 1770.08 |
| default(2) | 8298.88 | 8314.62 | 1383.10 | 1763.52 |
| default(3) | 8271.07 | 8323.75 | 1338.70 | 1717.06 |
| default(4) | 8219.71 | 8452.27 | 1364.88 | 1718.28 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

表 8　paoon 1 つと snowl 4 つの得点（6 リバース，交換あり）

| プログラム | 基本 | 6 リバース | 6 の提出回数（序盤） | 6 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| paoon(0) | 9738.20 | 9682.58 | 1102.78 | 1665.27 |
| snowl(1) | 8702.52 | 8763.87 | 1066.56 | 1668.03 |
| snowl(2) | 8765.97 | 8837.50 | 1070.96 | 1681.33 |
| snowl(3) | 8823.38 | 8863.53 | 1070.59 | 1654.43 |
| snowl(4) | 8969.94 | 8882.52 | 1080.69 | 1662.13 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

合における各席順の点数のデータを収集した．席順の入れ替えはなしにした．また，違いの原因を検討するため，ゲーム全体の 6 のプレイ回数と 2 人がゲームから上がるまで（以後，ゲーム序盤と表す）の 6 のプレイ回数を収集した．さらに, 交換ルールによる初期手札の差が 6 のプレイ回数に差を与えることを考慮し, 交換ルールありの場合となしの場合のデータを収集した.

実験は，強いプログラム 1 つとそれより弱いプログラム 4 つの対戦を，1 セット 3000 試合で 100 セット行った．各データはプログラムの組み合わせによって異なるため，default，snowl，paoon を用いた．また，これらのプログラムを 6 リバースに対応できるよう書き換えた r6def, r6snowl，r6paoon の 3 種類を作成して用いた．

表 6～表 9 に基本ルールと 6 リバースルールの得点と 6 リバースの場合のゲーム全体および序盤の 6 の提出回数を示す．

表 6～表 9 から 6 リバースルールは基本ルールと比較すると default(4) や snowl(4) の順位が高くなっている傾向が見られる．特に，表 6～表 7 と表 8～表 9 を比較すると，

表 9　paoon 1 つと snowl 4 つの得点（6 リバース，交換なし）

| プログラム | 基本 | 6 リバース | 6 の提出回数（序盤） | 6 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| paoon(0) | 9296.62 | 9254.51 | 1347.04 | 1820.40 |
| snowl(1) | 8932.66 | 8875.68 | 1305.16 | 1761.39 |
| snowl(2) | 8918.83 | 8925.75 | 1311.08 | 1769.34 |
| snowl(3) | 8930.03 | 8953.39 | 1315.74 | 1766.95 |
| snowl(4) | 8921.86 | 8990.68 | 1320.13 | 1765.71 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

表 10　snowl 1 つと default 4 つの得点（5 飛び，交換あり）

| プログラム | 基本 | 5 飛び | 5 の提出回数（序盤） | 5 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| snowl(0) | 12878.02 | 13093.58 | 1108.66 | 1259.69 |
| default(1) | 8269.99 | 8325.27 | 1423.38 | 1862.44 |
| default(2) | 7986.04 | 7885.80 | 1375.68 | 1867.01 |
| default(3) | 7962.82 | 7853.98 | 1288.60 | 1778.76 |
| default(4) | 7903.13 | 7841.37 | 1288.96 | 1776.86 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

snowl 1 つと default 4 つの場合は paoon 1 つと snowl 4 つの場合と比較して，席順 (4) のプレイヤの点数が基本ルールと比べ大きく上がっていることがわかる．これは，snowl と default の方が paoon と snowl よりプログラムの強さの差が大きいため，交換ルールによって強いプログラムの初期手札から 3，4 などの弱いカードがなくなり，その結果，強いプログラムが序盤に高い比率で 6 をプレイしたことが原因だと考えられる．

## 6.　5 飛びの影響

計算機実験により，基本ルールと 5 飛びルールの場合における各席順の点数のデータを収集した．席順の入れ替えはなしにした．また，違いの原因を検討するため，ゲーム全体の 5 のプレイ回数 5 のプレイ回数を収集した．さらに, 交換ルールによる初期手札の差が 6 のプレイ回数に差を与えることを考慮し, 交換ルールありの場合となしの場合のデータを収集した．

実験は，強いプログラム 1 つとそれより弱いプログラム 4 つの対戦を，1 セット 3000 試合で 100 セット行った．各データはプログラムの組み合わせによって異なるため，default，snowl，paoon を用いた．また，これらのプログラムを 5 飛びに対応できるよう書き換えた j5def，j5snowl，j5paoon の 3 種類を作成して用いた．

表 10〜13 にに基本ルールと 5 飛びルールの得点と 5 飛びの場合のゲーム全体および序盤の 5 の提出回数を示す．

表 10〜表から 5 飛びルールは基本ルールと順位や得点に大きな差が見られないことが見られる．この原因としては，5 というカードが弱いため序盤にプレイすることが難しいこと，順番を 1 つ飛ばすだけでは席順に応じた得点の差に影響を与えにくいこと，1 回のプレイにつき 1 回の手番しか効果がないため影響を与えにくいことなどが考えられる．

表 11　snowl 1 つと default 4 つの得点（5 飛び，交換なし）

| プログラム | 基本 | 5 飛び | 5 の提出回数（序盤） | 5 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| snowl(0) | 11593.05 | 11488.30 | 1535.17 | 1864.70 |
| default(1) | 8602.30 | 8548.61 | 1487.88 | 1799.35 |
| default(2) | 8298.88 | 8376.14 | 1441.63 | 1782.48 |
| default(3) | 8271.07 | 8294.01 | 1405.86 | 1740.26 |
| default(4) | 8219.71 | 8292.94 | 1411.96 | 1740.35 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

表 12　paoon 1 つと snowl 4 つの得点（5 飛び，交換あり）

| プログラム | 基本 | 5 飛び | 5 の提出回数（序盤） | 5 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| paoon(0) | 9738.20 | 9756.33 | 1110.65 | 1692.33 |
| snowl(1) | 8702.52 | 8640.10 | 1021.22 | 1669.70 |
| snowl(2) | 8765.97 | 8776.80 | 1022.43 | 1652.47 |
| snowl(3) | 8823.38 | 8845.79 | 1016.38 | 1631.99 |
| snowl(4) | 8969.94 | 8980.98 | 1025.65 | 1626.09 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

表 13　paoon 1 つと snowl 4 つの得点（5 飛び，交換なし）

| プログラム | 基本 | 5 飛び | 5 の提出回数（序盤） | 5 の提出回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| paoon(0) | 9296.62 | 9288.65 | 1292.64 | 1778.38 |
| snowl(1) | 8932.66 | 8873.96 | 1290.27 | 1778.78 |
| snowl(2) | 8918.83 | 8881.47 | 1287.59 | 1772.68 |
| snowl(3) | 8930.03 | 8948.19 | 1287.03 | 1775.36 |
| snowl(4) | 8921.86 | 9007.72 | 1290.15 | 1772.71 |

縦軸の括弧内は席順，序盤は 2 人がゲームから上がるまで．

## 7.　席順に応じた得点の差に与える影響の検討

5 飛びや 6 リバースのどのような要素がゲームに影響を与えるかを調べるため，一部の性質を変化させた実験を行った．具体的には，6 リバースのカードの強さを変化させた 5 リバース，5 飛びのカードの効果の大きさを変化させた 5 二つ飛び，6 リバースのカードの効果の時間を変化させた 6 リバースリセットありルールである．それぞれを 6 リバースや 5 飛びと同様の条件で実験を行った．

表 14 に 5 リバース，表 15 に 5 二つ飛び，表 16 に 6 リバースリセットありの場合の得点とゲーム全体および序盤の 5 および 6 の提出回数を示す．また表??に各ルールの回る向きのターン数を示す．

表 7 と表 14 から，6 リバースルールと 5 リバースルールの各プログラム間の得点に大きな差がないことがわかった．表 11 と表 15 から，5 二つ飛びの方が 5 飛びよりも席

**表 14** snowl 1 つと default 4 つの得点（5 リバース, 交換なし）

| プログラム | 基本 | 5 リバース | 5 の提出 回数（序盤） | 5 の提出 回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| snowl(0) | 11593.05 | 11428.77 | 1518.64 | 1868.04 |
| default(1) | 8602.30 | 8484.36 | 1449.11 | 1774.92 |
| default(2) | 8298.88 | 8310.62 | 1418.13 | 1777.48 |
| default(3) | 8271.07 | 8341.50 | 1379.46 | 1734.43 |
| default(4) | 8219.71 | 8434.75 | 1395.93 | 1733.23 |

縦軸の括弧内は席順, 序盤は 2 人がゲームから上がるまで.

**表 15** snowl 1 つと default 4 つの得点（5 二つ飛び, 交換なし）

| プログラム | 基本 | 5 二つ飛び | 5 の提出 回数（序盤） | 5 の提出 回数（全体） |
|---|---|---|---|---|
| snowl(0) | 11593.05 | 11446.83 | 1525.79 | 1869.43 |
| default(1) | 8602.30 | 8552.31 | 1478.07 | 1798.65 |
| default(2) | 8298.88 | 8303.66 | 1433.32 | 1781.86 |
| default(3) | 8271.07 | 8366.20 | 1401.18 | 1742.83 |
| default(4) | 8219.71 | 8331.00 | 1402.64 | 1738.39 |

縦軸の括弧内は席順, 序盤は 2 人がゲームから上がるまで.

**表 16** snowl 1 つと default 4 つの得点（6 リバースリセットの有無, 交換なし）

| プログラム | 基本 | リセットあり | リセットなし |
|---|---|---|---|
| snowl(0) | 11593.05 | 11458.24 | 11438.93 |
| default(1) | 8602.30 | 8636.43 | 8470.43 |
| default(2) | 8298.88 | 8346.32 | 8314.62 |
| default(3) | 8271.07 | 8271.91 | 8323.75 |
| default(4) | 8219.71 | 8287.11 | 8452.27 |

縦軸の括弧内は席順.

**表 17** snowl 1 つと default 4 つの提出順のターン数（6 リバースリセットの有無, 交換なし）

| ターン数 | リセットあり | リセットなし |
|---|---|---|
| 順方向 | 68.43 | 43.73 |
| 逆方向 | 14.13 | 38.99 |

順に応じた得点の差に大きな影響を与えていることがわかる．表 17 から順方向での手番は，基本ルール，6 リバースリセットありルール，6 リバースルールの順に長い．それに応じて，表 16 から 6 リバースリセットありルール，6 リバースルールの順に基本ルールの得点に近いことがわかる．

## 8. 考察

第 4 節からわかるとおり，11 バックは平均終了手数を大きくする効果があったが，平均合法手数を変える効果がなかった．その結果，11 バックは戦略的複雑さをあげることができなかった．戦略的複雑さを上げるには平均合法手数を上げる必要がある．表 3 からわかるとおり，場が空のときの平均合法手数は全体の合法手数と比較して非常に大きい．このことから平均合法手数を上げるもっとも簡単な方法の 1 つは，場を空にする回数を増やすことだとわかる．例えば，8 切りと同じ効果を他の数字にも割り当てると平均合法手数を増やすことができると考えられる．

一方，11 バックは交換ルールによる階級の格差を小さくする効果があることがわかった．11 バックルールだけでは階級の格差を小さくする効果は大きくないが，他のローカルルールと組み合わせることでさらに階級の格差を小さくすることが期待できる．

第 7 節からわかるとおり，5 飛びルールが 6 リバースルールに比べ席順に応じた得点の差に与える影響が小さいのは，カードの効果の大きさや時間の違いが要因であると考えられる．また，カードの強さは要因ではないと考えられる．

全体の計算機実験から，1 つのローカルルールが平均終了手数や平均合法手数，戦略的複雑さ，席順に応じた得点の差などに与える影響は小さいことがわかった．本研究では取り扱わなかった他のローカルルールと組み合わせることで，さまざまな要素に大きな影響を与えることが期待できる．

## 9. おわりに

本研究では，コンピュータ大貧民におけるローカルルールの効果を調べるために，幾つかの計算機実験を行った．その結果，幾つかの性質を明らかとした．

11 バックは，平均終了手数を大きくする効果があるが，平均合法手数や戦略的複雑さを変える効果がないことが明らかとなった．また，11 バックルールは基本ルールと比べ，交換のルールによる階級の格差が小さいことが明らかとなった．6 リバースは，席順に応じた得点の差に影響を与えることが明らかとなった．一方，5 飛びは，席順に応じた得点の差に与える影響が非常に小さいことが明らかとなった．

以上のことから，各種ローカルルールは，さまざまな要素に影響を与えることが明らかとなった．

今後，現在のゲームと同等の戦略的複雑さを持つルールの発見が期待される．

### 参考文献

[1] 電気通信大学．UECda-2018 コンピュータ大貧民大会．http://www.tnlab.inf.uec.ac.jp/daihinmin/2018/.
[2] 佐々木宣介，橋本剛，梶原羊一郎，飯田弘之．チェスライクゲームにおける普遍的指標．情報処理学会研究報告ゲーム情報学 (GI)，Vol.1999，No.53，pp.9198，1999.
[3] Seiya Okubo，Yuuta Kado，Yamato Takeuchi，Mitsuo Wakatsuki，and Tetsuro Nishino: Toward a Statistical Analysis of Computer Daihinmin，5th International Conference on Applied Computing & Information Technology(ACIT 2017)，July 9-July 13(2017).
[4] 美添一樹．モンテカルロ木探索．情報処理，Vol. 49，No.6，pp.686-693，2008.
[5] 須藤郁弥，成澤和志，篠原歩．UEC コンピュータ大貧民大会向けクライアント「snowl」の開発．第 2 回 UEC コンピュータ大貧民シンポジウム，2010.