Vol.2014-GI-31 No.14
2014/3/17

大貧民における初期手札の不均等性を考慮したレーティングアルゴリズムの提案

森田 茂彦[1,a)]　松崎 公紀[2,b)]

概要：チェスや将棋などにおいて，プレイヤの強さを数値として表すレーティングシステムが広く用いられている．レーティングアルゴリズムとして良く知られるイロレーティングでは，プレイヤ間のレート差と勝敗によってレートの増減が計算される．特に，弱いプレイヤが強いプレイヤに勝つと，レートの増分が大きくなる．本研究では，大貧民を対象としたレーティングアルゴリズムを提案する．大貧民では，プレイヤの強さに加えて，初期手札の良さが勝敗に大きく影響する．そのため，初期手札の良し悪しに差がある場合，従来のレーティングアルゴリズムを用いるとレートの増減が過剰であったり不足することが起こりうる．この問題を解決するため，初期手札の不均等性を考慮に入れたレーティングアルゴリズムを提案し，そのアルゴリズムについて評価を行う．

キーワード：レーティングアルゴリズム，大貧民，モンテカルロ法，UECda

1. はじめに

本研究では，大貧民を対象としたレーティングアルゴリズムを提案する．また，実際に複数の大貧民プレイヤに対して提案アルゴリズムによりレーティングを行う．

レーティングシステムは，プレイヤの (集合の中における相対的な) 強さを数値として表す仕組みであり，チェス (World Chess Federation [7]) や将棋 (将棋倶楽部 24 [8]) を始め広く利用されている．そのプレイヤの強さを表す数値はレートと呼ばれ，これまでに，レートを計算するためのレーティングアルゴリズムが複数提案されている．チェスや将棋などの二人ゲームに適用されるよく知られたレーティングアルゴリズムのひとつはイロレーティング [1] である．イロレーティングは，対戦する 2 人のプレイヤのレート差をもとに勝率を計算し，その勝率と実際の勝敗のみからレートの増減量を決定する．すなわち，イロレーティングでは，先手・後手のいずれであるか，もしくは，開始時点での有利不利 (例えば，将棋における駒落ち) などの情報を考慮しない．

本研究でレーティングの対象とする大貧民は，多人数不完全情報ゲームである．大貧民では，他の多くのトランプゲームと同様に，プレイヤの持つ初期手札はランダムに配られる．カードの枚数はほぼ均等であるものの，それぞれのカードの強さが異なるため初期手札にも優劣が存在する．大貧民では，1 回のゲームの勝敗がそのような初期手札の優劣に大きく影響される特徴がある．

そのようなゲームの初期盤面の優劣が存在する場合には，単純にイロレーティングを適用しても，求まったレートが本来のプレイヤの強さを表さないことがある．実際，第 3 章にて述べる評価実験のひとつでは，初期盤面の優劣がある仮想ゲームにおいてイロレーティングをもとにレートを計算すると，本来 1700 となるべきレートが 1607 となった (全プレイヤのレートの平均は 1500)．したがって，初期盤面の優劣を考慮に入れたレーティングアルゴリズムが必要である．

本研究の貢献をまとめると以下の 3 点となる．

- イロレーティングをもとに，初期盤面に優劣があるようなゲームや多人数ゲームへ適用できるレーティングアルゴリズムを提案する．
- 初期盤面に優劣があるようなゲームにおいて，イロレーティングと提案レーティングアルゴリズムとのレーティング結果を数値実験により評価する．
- これまでのコンピュータ大貧民大会 (UECda) [5] における優勝／準優勝プログラムを主な対象として，提案アルゴリズムにおけるレートの計算結果を示す．

本論文の構成は以下の通りである．まず第 2 章で，イロレーティングについて説明する．次に第 3 章で，初期盤面

1　高知工科大学大学院工学研究科
2　高知工科大学情報学群
a)　165069u@gs.kochi-tech.ac.jp
b)　matsuzaki.kiminori@kochi-tech.ac.jp

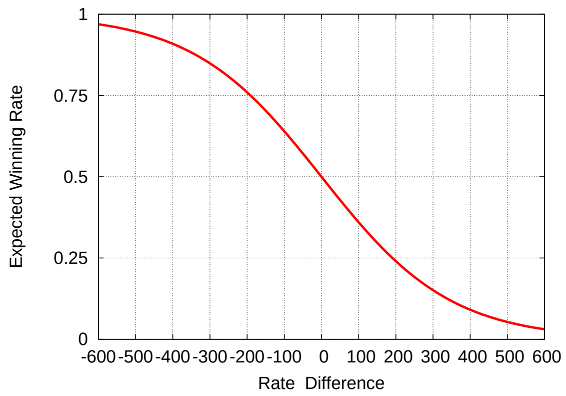

図 1 レート差による期待勝率の推移

に優劣があるようなゲームへのイロレーティングの拡張と，多人数ゲームへの適用について述べる．第 4 章では，仮想ゲームに対して既存のイロレーティングと提案アルゴリズムを適用し，初期盤面に優劣がある場合におけるレートの計算結果について示す．第 5 章では，これまでのコンピュータ大貧民大会のプレイヤを対象に，提案アルゴリズムによって計算したレートを示す．最後に第 6 章で本論文をまとめる．

2. イロレーティング

イロレーティング [1] は，チェスのような二人ゲームにおいて用いられるレーティングアルゴリズムである．イロレーティングでは，2 プレイヤ間のレート差とゲームにおける勝敗のみを用いてレートが更新される．

イロレーティングではまず，自分と相手とのレート差から期待勝率を求める．R_a と R_b を，プレイヤ A と B の現在のレートとする．このとき，プレイヤ A のプレイヤ B に対する期待勝率 e_{ab} は，シグモイド形の関数

$$e_{ab} = \frac{1}{1 + 10^{-(R_a - R_b)/400}} \tag{1}$$

で求められる．レート差 -600 から 600 における期待勝率のグラフを図 1 に示す．

たとえば，プレイヤ A のレートが 1700，プレイヤ B のレートが 1500 であるとする．このとき，$e_{ab} = 0.76$ である．すなわち，プレイヤ A がプレイヤ B に勝利する確率は，76%である．

次に，期待勝率とゲームの勝敗によってレートの増分を計算する．プレイヤ A の獲得得点 s_{ab} を，勝った場合に $s_{ab} = 1$，負けた場合に $s_{ab} = 0$ とする．プレイヤ A の新しいレート R'_a は，

$$R'_a = R_a + K(s_{ab} - e_{ab}) \tag{2}$$

で求められる．ここで，K は K 値と呼ばれ，レートの増分幅を決定する係数である．以降本論文では，$K = 16$ とする．

たとえば，プレイヤ A のレートが 1700，プレイヤ B のレートが 1500 である場合を考える．$e_{ab} = 0.76$ であるので，プレイヤ A が勝つと A のレートは 1703.84，プレイヤ A が負けると A のレートは 1687.84 となる．

このように，イロレーティングでは，レートの大きいプレイヤが勝った場合にはレート増減は小さくなり，レート差が大きいほど増減の絶対値は小さくなる．一方，レートの小さいプレイヤが勝った場合にはレート増減が大きくなり，レート差が大きいほど増減の絶対値は大きくなる．

3. 手札の不均等性と多人数性を考慮したレーティングアルゴリズム

イロレーティングは，チェスなどの二人ゲームを対象としたレーティングアルゴリズムである．本研究で対象とする大貧民は，不完全情報多人数ゲームであり，特に初期手札の優劣が勝敗に大きく影響するゲームである．したがって，イロレーティングを大貧民に直接適用することはできない．

本章では，イロレーティングを 2 つの観点から拡張する．一つ目は，初期手札の不均等性を考慮して期待勝率への補正を行うことである．二つ目は，多人数ゲームへの対応である．

3.1 手札の不均等性による期待勝率への補正

第 2 章で述べたとおり，イロレーティングではプレイヤのレート差と勝敗のみからレートが計算され，レートの増減幅は，勝者のレートと敗者のレートの大小関係で大きく異なる．初期手札の優劣が勝敗に大きく影響するとき，単純にイロレーティングを適用するとレートの増減幅が不適切になることがある．例えば，小さなレートを持つプレイヤが良い初期手札を得て勝ったとすると，イロレーティングではレートを大きく増やすが，初期手札により期待勝率が高くなったと考えるとこれは適切ではない．すなわち，イロレーティングにおける期待勝率を補正することが必要である．

ゲームの初期手札における優劣を初期盤面勝率 p_a と呼び，ここではなんらかの手段によって p_a の値 $(0 < p_a < 1)$ を求められるとする．期待勝率 e_{ab} に対して，初期盤面勝率 p をもとに補正を行った期待勝率を $f_{ab}(p)$ とする．このとき，p_a，e_{ab}，f_{ab} の間には次の関係が成り立つことが要求される．

- 初期盤面が対等であるとき，すなわち $p_a = 0.5$ のとき，$f_{ab}(0.5) = e_{ab}$ である．
- プレイヤ間のレート差がないとき，$f_ab(p_a) = p_a$ である．

これらを満たす解は複数あるが，以下の最も単純な式を用いる．

$$f_{ab}(p) = \frac{1}{1 + 10^{-((R_a - R_b)/400 + \log(p_a/(1-p_a)))}} \tag{3}$$

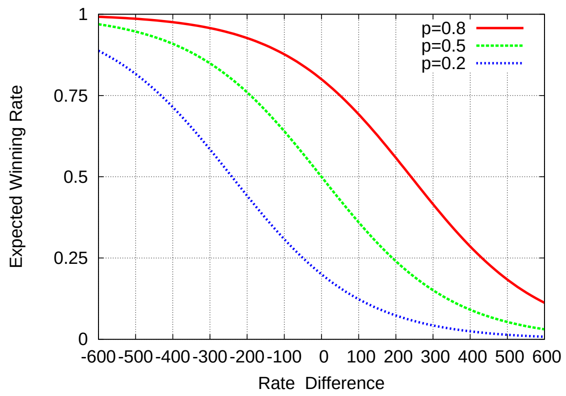

図 2 レート差による補正付き期待勝率の推移

この式は，初期盤面勝率 p_a に対応するレート差 $\log \frac{p_a}{1-p_a}$ を，プレイヤ間のレート差に足して期待勝率を計算することを意味する．

図 2 は，初期盤面勝率 $p_a = 0.8$，$p_a = 0.5$，$p_a = 0.2$ の場合について，レート差と補正付きの期待勝率をグラフに示したものである．たとえば，プレイヤ A のレートが 1700，プレイヤ B のレートが 1500 とする．初期盤面勝率が 0.1 のとき，$f_{ab}(0.1) = 0.26$ となり，プレイヤ A が負けた場合は新しいレートが 1695.84 となる．初期盤面勝率を考慮しない場合 (イロレーティング) では新しいレートは 1687.84 であるため，初期盤面勝率の考慮の有無によってレートの増減幅が大きく変化している．

3.2 レート平均による多人数プレイヤへの対応

イロレーティングは，2 人対戦ゲームであるチェスでのレーティングのために開発されたアルゴリズムである．そのため，多人数ゲームでのレーティングには対応していない．本研究では，多人数ゲームにおけるレーティングを，他のプレイヤのそれぞれに対して新しいレートを計算し，その平均によって定義する．

あるゲームに参加するプレイヤの集合を P とする．プレイヤ i の現在のレートを R_i，プレイヤ i のプレイヤ j に対する期待勝率を e_{ij}，プレイヤ i とプレイヤ j の間での勝敗を表す獲得得点を s_{ij} とする．このとき，プレイヤ i の新しいレート R'_i を求める式は，

$$R'_i = \frac{\sum_{j \in P, j \neq i} (R_i + K(s_{ij} - e_{ij}))}{|P| - 1} \quad (4)$$

となる．

たとえば，プレイヤ P_1 の現在のレートが 1500，プレイヤ P_1 の他のプレイヤ P_2 から P_5 に対する期待勝率がそれぞれ $e_{12} = 0.64, e_{13} = 0.47, e_{14} = 0.33, e_{15} = 0.30$ であるとする．このとき，プレイヤ P_1 が 1 位をとったとすると，他のすべてのプレイヤに対して勝ったことになるため，P_1 の新しいレート R'_1 は

$$\begin{aligned} R'_1 &= \frac{1}{4}((1500 + 16(1 - 0.64)) + (1500 + 16(1 - 0.47)) \\ &\quad + (1500 + 16(1 - 0.33)) + (1500 + 16(1 - 0.30))) \\ &= 1509.04 \end{aligned}$$

となる．

4. 2 人仮想ゲームによる提案手法の検証

この実験では，仮想的な 2 人ゲームの勝敗に対して，提案手法とイロレーティングによるレーティングを行い，比較を行う．

仮想ゲームでは，プレイヤの勝敗は，乱数によって決定される．このとき，式 3 を用いて初期盤面勝率込みの期待勝率を求め，その期待勝率に従うように勝敗を決定する．なお，初期盤面勝率は，以下の 3 つ分布をとるものとする．

- none: 2 人のプレイヤの初期盤面が対等である．すなわち，$p_a = 0.5$.
- gauss: 初期盤面勝率は平均 0.5，標準偏差 0.25 の正規分布に従う．
- binary: 初期盤面勝率として 0.1 か 0.9 を等確率で選択する．

2 つのプレイヤは，レート差が 400 となるような実力差があるものとする．すなわち，強者のレートは 1700 となるようにする．これらの各条件において，1000 セットの対局を行う．1 セットあたりのゲーム数は 1000 とした．そして，1 ゲームごとにレーティングを行う．

レーティングの方法として，以下の 3 種類を行う．

- 従来のイロレーティング．
- 初期盤面勝率を利用した提案手法．
- 初期盤面勝率に正規分布 ($\mu = 0$，$\sigma = 0.05$) に従う誤差を含めた上での，提案手法によるレーティング．

これらのレーティング方法によって得られたレートの度数分布を求め，差異などを比較する．

イロレーティングにおける初期盤面勝率の違いによる，レート 1700 のプレイヤのレーティング結果を図 3 に示す．グラフの左から，初期盤面勝率が，極端な場合，正規分布に従う場合，優劣なしの場合のレートの度数分布である．優劣無しの場合，中央値は約 1701 となっている．一方で，正規分布の場合の中央値は約 1607，極端な場合は約 1501 となっている．これらのことから，イロレーティングでは，初期盤面勝率によっては，本来のレートと大きなズレができることがわかる．

図 4，5 に，正規分布に従う初期盤面勝率の場合と，極端な初期盤面勝率を等確率で選ぶ場合のレーティングの結果をそれぞれ示す．初期盤面勝率を考慮したレーティングでは，初期盤面勝率に多少の誤差があってもほぼ正しいレートが計算できていることがわかる．

5. 大貧民プレイヤへのレーティングの実施

この実験では，用意したプレイヤのなかから重複無しで

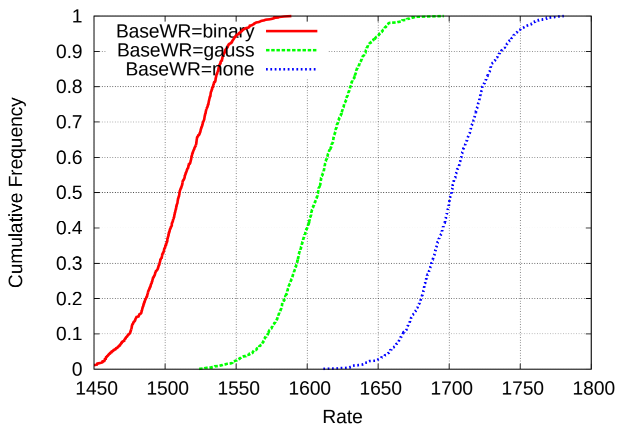

図 3 イロレーティングにおける初期盤面勝率の違いによる，レート 1700 のプレイヤのレーティング結果

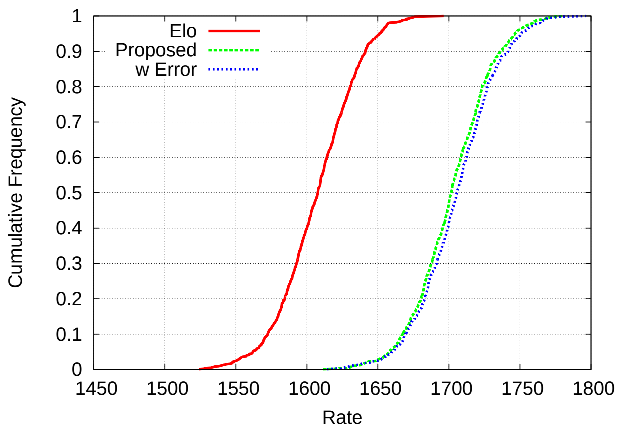

図 4 初期盤面勝率が正規分布に従う場合の，レート 1700 のプレイヤのレーティング結果

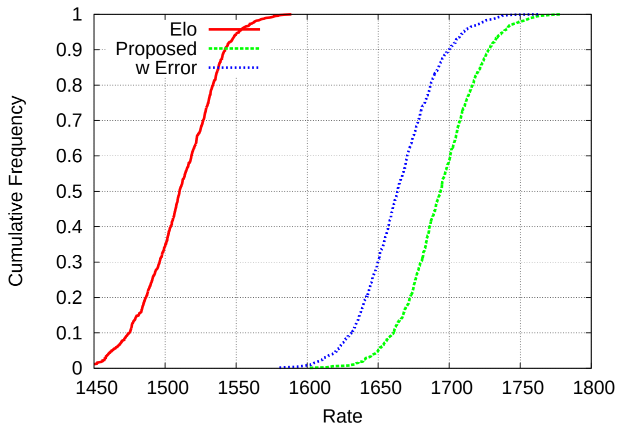

図 5 初期盤面勝率が 0.9 または 0.1 である場合の，レート 1700 のプレイヤのレーティング結果

無作為に 5 つのプレイヤを選び出し，30 ゲーム対局させる．プレイヤの選出から対局までを 1 セットとして，これを 2000 セット行う．そして，1 ゲームごとに提案手法によるレーティングを行っていき，2000 セット終了時点でのすべてのプレイヤのレートを記録する．

用意したプレイヤプログラムは，以下の 9 つである．

fugo_06 2006 年 UECda 優勝プログラム

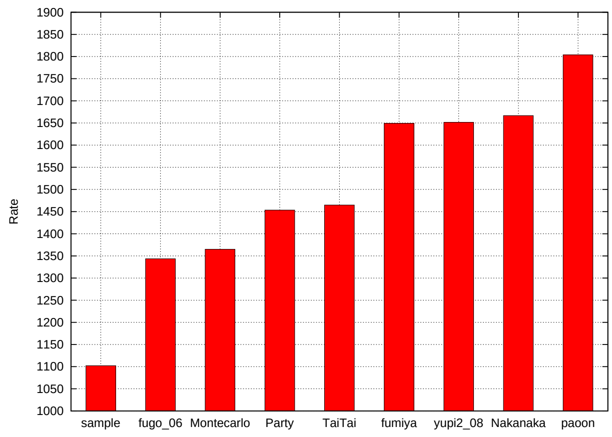

図 6 各プレイヤの最終レート

TaiTai 2007 年 UECda 準優勝プレイヤ

yupi2_08 2008 年 UECda 優勝プレイヤ

fumiya 2009 年 UECda 優勝プレイヤ

Party 2012 年 UECda ライト級優勝プレイヤ

paoon 2012 年 UECda 無差別級優勝プレイヤ

Nakanaka UECda ライト級基準プレイヤ

Montecarlo モンテカルロ型プレイヤ [3]

sample UECda Java 版開発キット付属プレイヤ

各プレイヤの初期盤面勝率は，初期手札に対して単純なモンテカルロ法を用いて求める．あるプレイヤの初期盤面勝率を求める流れは，以下のようになる．まず，モンテカルロ法によってすべての手札を公開した状態でプレイアウトを行い，そのプレイヤの大貧民 1 ゲーム分の順位を求める．次に，得られた順位から自分以外のプレイヤ個々に対する勝数を記録する．勝数とは，自分の順位が相手に対して上になった数である．たとえば，あるプレイヤ 2 のプレイアウトの結果，プレイヤ 1 から 5 の順位が，1，3，4，2，5 位となったとする．このとき，プレイヤ 2 は，プレイヤ 3 と 5 のそれぞれに勝数 1 を得る．そして，勝数を得る操作を 10,000 回行い，それぞれの勝数をもとに初期盤面勝率を計算する．

実験によって得られた各プレイヤのレートを，昇順にならべると図 6 のようになる．UECda への参加年に注目すると，大きく見ると年を追うごとにプレイヤのレートが伸びている．ただし，fumiya(2009) と yupi2(2008) の差はほぼない．一方で，2012 年から開始されたライト級において，優勝プログラムの Party のレートは基準プログラムの Nakanaka のレートより小さくなっている[*1]．

6. まとめ

本研究では，初期盤面の優劣と多人数ゲームであることを考慮したレーティングアルゴリズムを提案し，その評価

[*1] Party の作者は「基準クライアントの Nakanaka に若干劣る印象があります．正直なところ，Nakanaka がそのまま出場していたら負けたかもしれません．」とコメントしている [6]

を行った．提案手法は，チェスや将棋などで用いられているイロレーティングを土台とした．初期盤面の優劣を考慮するために，初期盤面に対してシミュレーションによる初期盤面勝率の測定を行い，それによって期待勝率を補正するようにした．また，多人数ゲームへの対応として，個々のプレイヤとのレートを平均したものを新たなレートとすることにした．

本研究で提案するレーティングアルゴリズムを，これまでのコンピュータ大貧民クライアントの対戦結果に対して適用した．その結果，提案レーティングアルゴリズムは妥当な結果を示した．

今後の課題として，本論文の実験において利用できなかったコンピュータ大貧民クライアントを含めて実験を行い，コンピュータ大貧民プレイヤの進展をより見えるようにしたい．

参考文献

[1] Arpad E. Elo: *The Rating of Chessplayers Past&Present*. Ishi Press International, 2008.
[2] 第 5 回 UEC コンピュータ大貧民大会マニュアル 20101114 版. http://uecda.nishino-lab.jp/2010/man/index.html.
[3] 森田茂彦, 松崎公紀: 大貧民において他プレイヤのプレイアルゴリズムより受けるプレイヤの強さへの影響. **情報処理学会研究報告，GI，[ゲーム情報学]** Vol. 2013-GI- 29, pp. 1–6, 2013.
[4] 美添 一樹: モンテカルロ木探索 — コンピュータ囲碁に革命を起こした新手法. **情報処理**, Vol. 49, No. 6, pp. 686–693, 2008.
[5] UEC コンピュータ大貧民大会ホームページ. http://uecda.nishino-lab.jp/.
[6] UECda2012 結果発表, http://uecda.nishino-lab.jp/2012/result.html, 2014.
[7] World Chess Federation, http://www.fide.com/, 2014.
[8] 将棋倶楽部 24, http://shogidojo.com/, 2014.