

2022年度 卒業論文

相性を考慮したレーティング
変動に関する研究

指導教員：渡辺 大地 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト
学籍番号 M0119007
朝比奈 悠紀

2023年2月

2022年度 卒業論文概要

論文題目

相性を考慮したレーティング
変動に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0119007

氏名

朝比奈 悠紀

指導
教員

渡辺 大地 教授

キーワード

レーティング、ゲーム、相性、
オンライン対戦

近年、オンライン対戦ゲームが人気を博している。オンライン対戦ゲームでは、拮抗した試合を行うために、実力の近い対戦相手とマッチングすることが重要である。そのために、多くのオンライン対戦ゲームでは、実力を数値に表したレーティングを利用して、実力の近い対戦相手とのマッチングを実現している。

しかし、オンライン対戦ゲームでは、同じ実力のプレイヤー同士で対戦しても、ゲーム内の要素が組み合わさることで一方が勝ちやすくなる相性関係が存在する。レーティングの計算式には、この点が考慮されていない場合もある。その場合に、レーティングのみから割り出す期待勝率を用いて新たなレーティングを算出すると、プレイヤーの実力とは離れたレーティングが算出される可能性がある。例えば、常に相性が有利なプレイヤーは、相性が有利だから勝ちやすいというだけで、本人の実力とは別にレーティングが大きく上がることになる。

そこで、本研究では、レーティングの算出に相性を用いることで、本来のレーティングとの乖離を防ぐことができると考えた。対戦するプレイヤー間に相性による有利不利が存在する場合に、レーティングの変動量が増減する手法を提案する。本手法がレーティングの分布にどのような影響を及ぼすか、レーティング対戦を想定したシミュレーターを作成し、シミュレートを行った。シミュレートの結果、レーティングの変動量を調整することで、プレイヤー個人のレーティングは本来のレーティングとの乖離を防ぎ、全体のレーティング分布では、既存のシステムでのレーティングの分布とは違う結果になることが確認できた。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第2章	提案手法	4
2.1	レーティングシステム	4
2.1.1	イロレーティング	4
2.1.2	マッチングアルゴリズム	5
2.2	提案手法概要	6
2.3	提案手法式	6
第3章	実験	8
3.1	実験概要	8
3.2	プレイヤーデータ	8
3.3	シミュレーター	9
3.3.1	シミュレートフロー	9
3.3.2	シミュレート設定	12
第4章	実験結果と考察	13
4.1	結果	13
4.2	評価	21
4.2.1	個人レーティング	21
4.2.2	全体レーティング	21
4.3	考察	23
第5章	まとめ	25
	謝辞	26
	参考文献	27

目次

3.1	フローチャート	11
4.1	常に有利なプレイヤーのレーティング	14
4.2	常に不利なプレイヤーのレーティング	15
4.3	変動量が C のときのレーティング差	16
4.4	変動量が D のときのレーティング差	16
4.5	変動量 C が 0 のときのレーティング分布	17
4.6	変動量 C が 0.05 のときのレーティング分布	17
4.7	変動量 C が 0.1 のときのレーティング分布	18
4.8	変動量 C が 0.15 のときのレーティング分布	18
4.9	変動量 C が 0.2 のときのレーティング分布	19
4.10	変動量 D の基本値が 0.05 のときのレーティング分布	19
4.11	変動量 D の基本値が 0.1 のときのレーティング分布	20
4.12	変動量 D の基本値が 0.15 のときのレーティング分布	20
4.13	変動量 D の基本値が 0.2 のときのレーティング分布	21

表 目 次

2.1	両者のレーティング差によるレーティング変化量	5
2.2	相性によるレーティング変化量	6
3.1	シミュレーターの設定項目と設定値	12
4.1	常に有利または不利なプレイヤーのレーティング	14
4.2	F 検定の結果	22
4.3	各実験での分散	23

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、オンライン対戦ゲームが人気を博している。オンライン対戦ゲームでは、拮抗した試合を行うために、実力の近い対戦相手とマッチングすることが重要である。そのために、スプラトゥーン 3[1]、VALORANT[2]、Dead by Daylight[3] など、多くのオンライン対戦ゲームでは、レーティングシステムを利用して、実力の近い対戦相手とのマッチングを実現している。実力の近い対戦相手とのマッチングは、プレイヤーが継続してゲームを遊び続けるために重要になる。[4] レーティングシステムでは、各ゲームプレイヤーの実力の指標を、試合の勝敗などによって変動するレーティングという数値で表している。レーティングを参照することで、実力の近い対戦相手とマッチングすることができる。レーティングシステムは、レーティングの計算手法と、対戦相手を見つけるためのマッチングアルゴリズムの 2 つから成り立っている。そのため、レーティングシステムの研究においては、レーティングの計算手法を対象にしたものと、マッチングアルゴリズムを対象にした研究がある。例えば、Glickman は、それまでのレーティングシステムを改良した Glicko System[5] と、さらにそれを改良した Glicko-2 System[6] という手法を提案している。これらの手法では、レーティングに偏差を追加し、新規プレイヤーなどのレーティングの変動量を変化させることで、信頼性を高めている。相性関係を考慮したレーティングの研究として、大渡ら [7] は、相性関係による勝率の違いをベクトルとして表し、相性を定義して勝率を推定する研究を行った。森田ら [8] は、カードゲームの大貧民での、初期手札の優劣がある場合に期待勝率を補正する研究を行った。さらに、高尾ら [9] は、森田らの研究をオセロに適用して、研究を行っ

た。また、Microsoft はレーティング計算手法として、複数人での対戦も考慮した Trueskill[10] および Trueskill2[11] を開発し、特許を取得している。他にも、勝敗のみでなく個人の活躍度をレーティング計算の指標に入れた研究 [12][13] もある。対戦プレイヤーの数が増えても対応できる、大規模なレーティングシステムかつ、予測精度や計算速度で優れたシステムを提案した研究 [14] もある。マッチングアルゴリズムの研究としては、Gong ら [15] や、Deng ら [16] は、マッチメイキングに機械学習を用いることで、最適なマッチングをする手法を提案した。佐藤 [17] は、プレイヤーの待機時間を短縮する代わりに、レーティングの変動量を減らす研究を行った。

オンライン対戦ゲームでは、それぞれのゲーム性に適したレーティング計算手法やマッチングアルゴリズムを選んで利用したり、独自にシステムを作成したりしている。しかし、オンライン対戦ゲームでは、同じ実力のプレイヤー同士で対戦しても、ゲーム内の要素が組み合わさることで一方が勝ちやすくなる相性関係が存在する。実際のゲームを例に挙げると、スプラトゥーン 3 や Counter-Strike[18] のような、銃で撃ち合うことがメインのゲームジャンルであれば、開けた場所では射程の長い武器が有利であり、狭い場所では射程が短くても威力や連射力に優れる武器が有利になる。オーバーウォッチ 2[19] や鉄拳 7[20] のような、使用するキャラクターを選ぶゲームジャンルであれば、相手をするのが得意で有利な試合になるキャラクターもいれば、相手をするのが苦手な試合になってしまうキャラクターもいる。こういった要素は、選択肢の多さや駆け引きとしてゲームの特色や楽しみになる一方、プレイヤー自身の実力とは別に勝敗を左右する要素になってしまう。その場合に、レーティングのみから割り出す勝率を用いて新たなレーティングを算出すると、プレイヤーの実力とは離れたレーティングが算出される可能性がある。例えば、対戦相手に対して常に相性が有利になるプレイヤーがいた場合、相性が良いから勝ちやすいという部分を反映しないため、プレイヤー本来の実力とは別に、レーティングが大きく上がることになる。

そこで、本研究では、レーティング以外の要素で勝率が変化する場合にレーティング変動量を調整することで、本来のレーティングとの乖離を防ぐことを目的とする。相性による有利不利が

存在する場合に、レーティングの変動量が増減する手法を提案する。レーティングの計算手法は、A.E.Elo が考案したイロレーティング [21] を基にする。イロレーティングは、国際チェス連盟や FIFA ランキングでも、用いられている。

本手法がレーティングの測定においてどのような効果があるか、仮想プレイヤーデータとレーティング対戦を想定したシミュレーターを作成し、検証実験を行った。実験では、本手法を適用していない場合と、本手法のレーティング調整の度合いの段階を何度も変えた場合とのシミュレートを行い比較した。その結果、本手法を適用した場合に、プレイヤー個人のレーティングは、本来のレーティングとの乖離を防いだと考えられた。また、本手法を適用した場合としていない場合とのプレイヤー全体のレーティングの分布に違いが起き、本手法を適用したレーティングの分散が小さくなり、レーティングが収束傾向にあることが確認できた。

1.2 論文構成

本論文は全 5 章で構成する。第 2 章では提案手法について述べる。第 3 章では実験手法について述べる。第 4 章では実験の評価および考察を行う。第 5 章では本研究のまとめを述べる。

第 2 章

提案手法

本章では、本研究の前提となるレーティングシステムと、提案するレーティング計算手法について説明する。2.1 節では、イロレーティングとマッチングアルゴリズムについて述べる。2.2 節では提案手法の概要について述べる。2.3 節では、提案手法で用いる式について述べる。

2.1 レーティングシステム

2.1.1 イロレーティング

イロレーティングとは、対戦型の競技において、実力を示すための指標であるレーティングの算出方法の一つである。指標のひとつに勝率があるが、勝率のみで実力を判断すると、強いプレイヤーを相手にして 5 割の勝率を出せるプレイヤーと、初心者相手にして 5 割の勝率を出せるプレイヤーの強さが同じということになってしまう。この問題を解決するために、平均的な強さのプレイヤーと対戦したときに予想される勝率を推計し、対数に変換した指標がイロレーティングである。

レーティングは、対戦を行うたびに対戦に参加したプレイヤーのみ変動する。このときのレーティングの更新は以下の手順で行う。

1. 対戦相手とのレーティング差をもとに期待勝率を推計する
2. 対戦結果と期待勝率に基づいてレーティングを更新する

プレイヤー A のレーティングが R_a 、プレイヤー B のレーティングが R_b のとき、式 (2.1) はプレ

プレイヤー A の期待勝率 W_{ab} を推計する式である。両者のレーティングが同じ場合は、期待勝率は 0.5 になる。プレイヤー A のレーティングよりも、プレイヤー B のレーティングが低いほど、プレイヤー A の期待勝率は高くなる。

$$W_{ab} = \frac{1}{10^{(R_b - R_a)/400} + 1}. \quad (2.1)$$

また、期待勝率は 0 から 1 の間に収まるため、 $W_{ba} = 1 - W_{ab}$ が成り立つ。

試合の後に更新するプレイヤー A のレーティング R'_a は式 (2.2) で求められる。このとき s_{ab} は対戦結果により変化する定数であり、プレイヤー A 勝利時に 1、敗北時には 0 を代入する。また、 W_{ab} には、プレイヤー A の期待勝率を代入する。さらに、 K は任意に設定できる定数であり、レーティングの増減幅に影響する重み係数である。

$$R'_a = R_a + K(s_{ab}W_{-ab}). \quad (2.2)$$

以上のことから、自分よりもレーティングが高い相手と対戦する場合は、期待勝率は低くなり、その相手に勝利した場合はレーティングが大きく上がる。逆に、自分よりもレーティングが低い相手と対戦する場合は、期待勝率は高くなり、勝利してもレーティングは少ししか上がらない。表 2.1 は、両者のレーティング差によるレーティング変化量を示した表である。

表 2.1 両者のレーティング差によるレーティング変化量

相手のレーティングが	低い	互角	高い
勝利する	少し上がる	上がる	多く上がる
敗北する	多く下がる	下がる	少し下がる

2.1.2 マッチングアルゴリズム

マッチングアルゴリズムとはオンライン対戦ゲームにおける対戦相手の決定手法である。本研究では 1 対 1 での対戦を想定している。両者のレーティング差の絶対値が許容値以下の場合に試合が行われる。本研究では、この許容値を 150 とする。この数値は、レーティングが高い側の期待勝率が 70% となる数値である。

2.2 提案手法概要

本研究では、レーティングシステムの中でも多く利用されている、イロレーティングシステムを基にした手法を提案する。対戦相手との相性関係により、試合結果によるレーティングの変動量が、上下するように調整をする。

表 2.2 は、提案手法の方針を示した表である。相手との相性が有利な場合に勝った場合は、勝ちやすいためレーティングは少ししか上がらない。逆に、有利な状況で負けてしまった場合は、実力が低いと判断し、レーティングが多く下がる。相手との相性が不利な場合に勝つことができれば、実力が高いと判断し、レーティングは多く上がる。逆に、不利な状況で負けた場合は、負けてしまうのも仕方ない部分はあるため、レーティングは少ししか下がらない。

表 2.2 相性によるレーティング変化量

相手との相性が	有利	互角	不利
勝利する	少し上がる	上がる	多く上がる
敗北する	多く下がる	下がる	少し下がる

2.3 提案手法式

本節では、本研究で提案する、相性によるレーティング変動の調整量を加えた計算式について述べる。調整量が固定値の場合と、対戦者間のレーティング差に応じて変動する場合を提案する。

式 (2.3) はイロレーティングでのプレイヤー A の期待勝率を求める式に調整を加えた式である。 C は定数であり、対戦相手との相性によって値の正負は変化するが、対戦者間のレーティング差は考慮せず、調整量は固定値とする。

$$W'_{ab} = \frac{1}{10^{(R_b - R_a)/400} + 1} + C. \quad (2.3)$$

プレイヤー A がプレイヤー B に対して有利な相性である場合、プレイヤー A が勝ちやすくなると考えられるため、 C には正の数が入り、プレイヤー A の期待勝率は上がる。逆に、プレイヤー

A が不利である場合には、プレイヤー A は負けやすくなると考えられるため、 C には負の数が入り、プレイヤー A の期待勝率は下がる。

式 (2.4) は対戦者間のレーティング差に応じた変動量 D を算出する式である。対戦する両プレイヤーに実力差がなければ相性による勝敗への影響は大きくなるが、両プレイヤーに大きく実力差があれば相性は勝敗にあまり影響しないと考えた。そのため、両者のレーティングの差が少ないほど、相性による期待勝率の変動量が大きくなり、両者のレーティング差が大きいほど、相性による期待勝率の変動量が少なくなるように調整を行い、期待勝率の変動量が固定である場合との違いを調査する。

$$D = C(2.0 - (\frac{|R_b - R_a|}{100})). \quad (2.4)$$

式 (2.5) は、レーティング差に応じた期待勝率の変動量 D を用いた、期待勝率を求める式である。

$$W'_{ab} = \frac{1}{10(R_b - R_a)/400 + 1} + D. \quad (2.5)$$

変動量が固定である場合もそうでない場合も、 C の値を変えることで、相性による期待勝率への影響度を調整することができる。また、期待勝率は 0 から 1 の範囲に収まる必要があるため、その範囲を超えないように C を定める必要がある。

第 3 章

実験

3.1 実験概要

本手法を適用して、レーティングの分布にどのような影響があるか、検証実験を行った。実験を行うにあたり、1万人の仮想的なプレイヤーデータと、レーティング対戦を想定したシミュレーターを作成した。プレイヤーデータについては3.2節、シミュレーターについては3.3節にて詳細を説明する。実験では、相性による勝率の変化量を変えることで比較実験を行う。

3.2 プレイヤーデータ

本節では、作成したプレイヤーデータについて述べる。

仮想プレイヤーは以下のパラメーターを持つ。

- 現レーティング
- ログイン状況

現レーティングは、対戦後に、勝敗、対戦相手のレーティング、対戦相手との相性によって更新する。初期値は全プレイヤー一律で1500とした。

ログイン状況は、プレイヤーがログインしているかどうかを示すものである。本研究では、シミュレーターを立ち上げた直後と、マッチングが終了した直後に、ログイン状態になるかどうか判定される。

3.3 シミュレーター

本節では、作成したシミュレーターについて述べる。

3.3.1 シミュレートフロー

本項では、シミュレーターの流れについて説明する。

はじめに、1万人の仮想プレイヤーのうち、ランダムな100人をログインさせ、マッチングの待機キューに加える。

次に、待機キューのプレイヤーに対して処理を行う。待機キューの先頭にいるプレイヤーを取り出し、マッチングを行う。対戦が成立する条件は、両者のレーティングの差の絶対値が150以下の場合であり、条件を満たすプレイヤーの中で待機キューへの参加が早かったプレイヤーとマッチングする。

条件を満たすプレイヤーがいた場合、対戦を行う。対戦は1対1で行われる。1戦のみ行い、引き分けはなく必ず勝敗が付く。まず、相性の決め方として、両プレイヤーのタイプが3つの中からランダムに決まり、3すくみの相性として期待勝率が変化する。相性による個人レーティングへの影響を調べるために、一部の例外として、常に相性が有利になるプレイヤーと、常に相性が不利になるプレイヤーを一人ずつ設定してあるため、対戦者のどちらかが該当プレイヤーだった場合、相性の有利不利を強制的に置き換える。その後、式(2.3)を用いて期待勝率を算出する。勝敗は期待勝率に基づいて決定する。対戦の結果から、式(2.2)を用いて、小数第一位を四捨五入したものが新しいレーティングとなる。最後に、両プレイヤーは50%の確率で、待機キューの最後尾に並び直すか、ログアウトする。

対戦が成立しなかった場合、待機キューの先頭にいるプレイヤーはログアウトする。

次に、対戦の成立に関わらず、ログインしていないプレイヤーの中からランダムに1人がログインして、待機キューの最後尾に加わる。

その後、新たに待機キューの先頭にいるプレイヤーを取り出し、マッチングを行う。

図 3.1 は、本シミュレーターの一連の流れを示した図である。

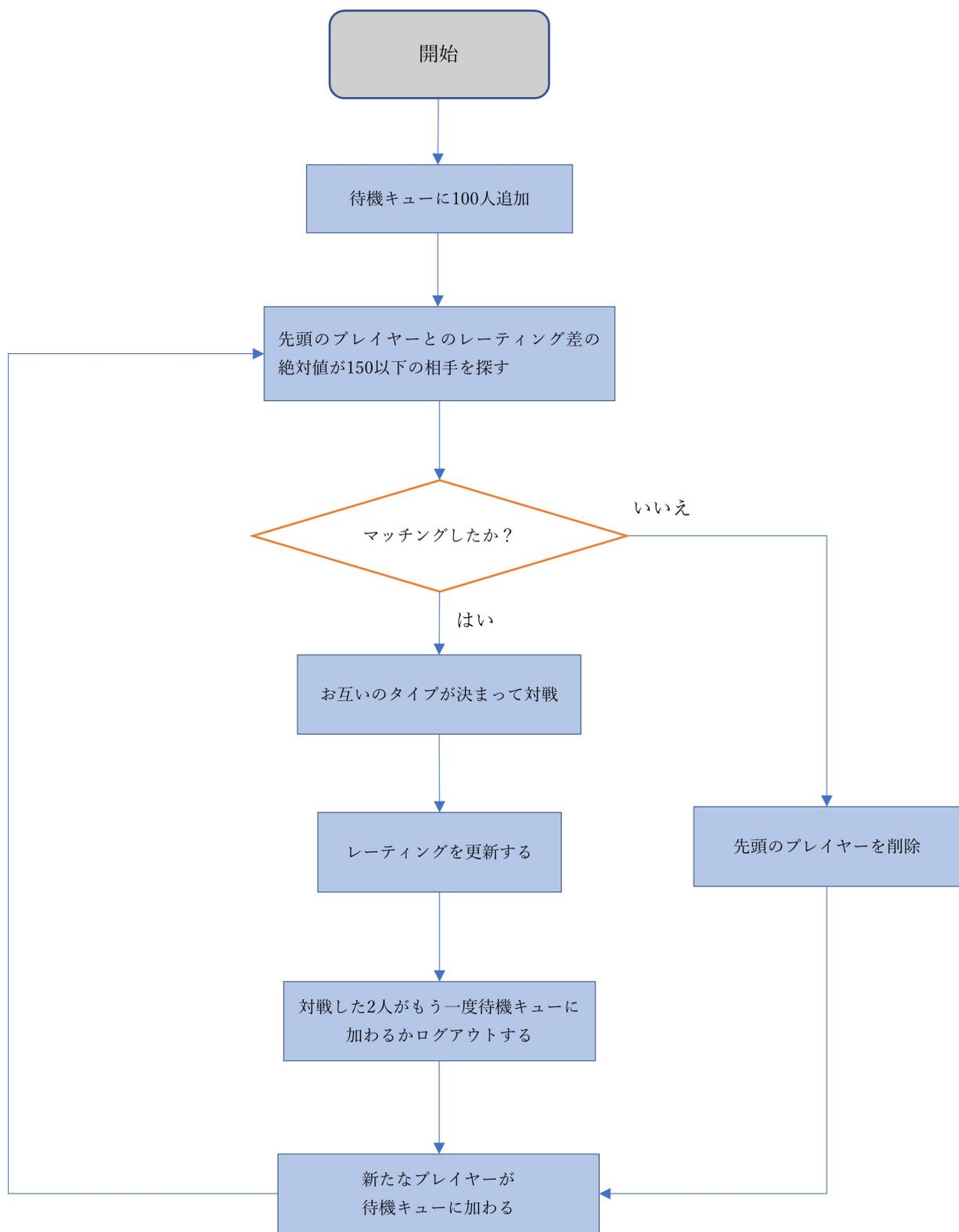


図 3.1 フローチャート

3.3.2 シミュレート設定

本項では、シミュレーターの設定について述べる。

表 3.1 はシミュレーターの設定項目と設定値を示した表である。

表 3.1 シミュレーターの設定項目と設定値

設定項目	設定値
重み係数	32
許容レーティング差	150
相性による期待勝率変動量	0
	0.05
	0.1
	0.15
	0.2

重み係数は、式 (2.2) における K であり、この値が大きくなるほど、一度の対戦でのレーティング増減量も大きくなる。オンライン対戦ゲームでは実力のばらつきも大きいため、レーティングが上下しやすいように本研究では 32 とする。許容レーティング差は 150 までとする。マッチングの際には、両者のレーティング差の絶対値がこの数値以下の場合に対戦が行われる。この数値は、レーティングのみで期待勝率を推定した場合に、レーティングが高い側の期待勝率が 70% となる数値である。相性による期待勝率変動量は式 (2.3) における C または式 (2.4) における D であり、この値が大きくなるほど、相性による期待勝率への影響が大きくなる。比較実験のために、1 回目での実験では C の数値を 0 とし、2 回目での実験では C の数値を 0.05 とする。このように、実験のたびに数値を変えて、相性による勝率の変化がレーティングの変動にどのような影響を及ぼすかを調べる。

第 4 章

実験結果と考察

本章では、シミュレーターで行った実験の結果と、考察を述べる。4.1 節では、各条件での実験結果について述べる。4.2 節では、結果をもとに評価を行う。4.3 節では、結果や評価をもとに考察を述べる。

4.1 結果

実験は、相性による期待勝率の変動量 C をそれぞれ、0 (変化なし)、0.05、0.1、0.15、0.2 と設定して行った。その次に、対戦者間のレーティング差に応じた変動量 D を用いて実験を行った。変動量 D を用いた実験では、相性による勝率の変動量の基本値 C をそれぞれ、0.05、0.1、0.15、0.2 と設定して行った。基本値が 0 の場合は変化がなく、固定値の場合と条件が変わらないので除外してある。すべての条件で 10 万回の対戦を行った。

表 4.1 は、常に相性が有利になるプレイヤーと、常に相性が不利になるプレイヤーの最終的なレーティングおよびその差分である。

表 4.1 常に有利または不利なプレイヤーのレーティング

係数	値	常に有利	常に不利	レーティング差
C	0	1626	1338	288
C	0.05	1595	1472	123
C	0.1	1484	1442	42
C	0.15	1530	1451	79
C	0.2	1644	1614	30
D	0.05	1554	1479	75
D	0.1	1585	1541	44
D	0.15	1609	1508	101
D	0.2	1449	1568	-119

以下の図 4.1、4.2 は、各条件における常に相性が有利なプレイヤーと、常に相性が不利なプレイヤーのレーティングを示した図である。

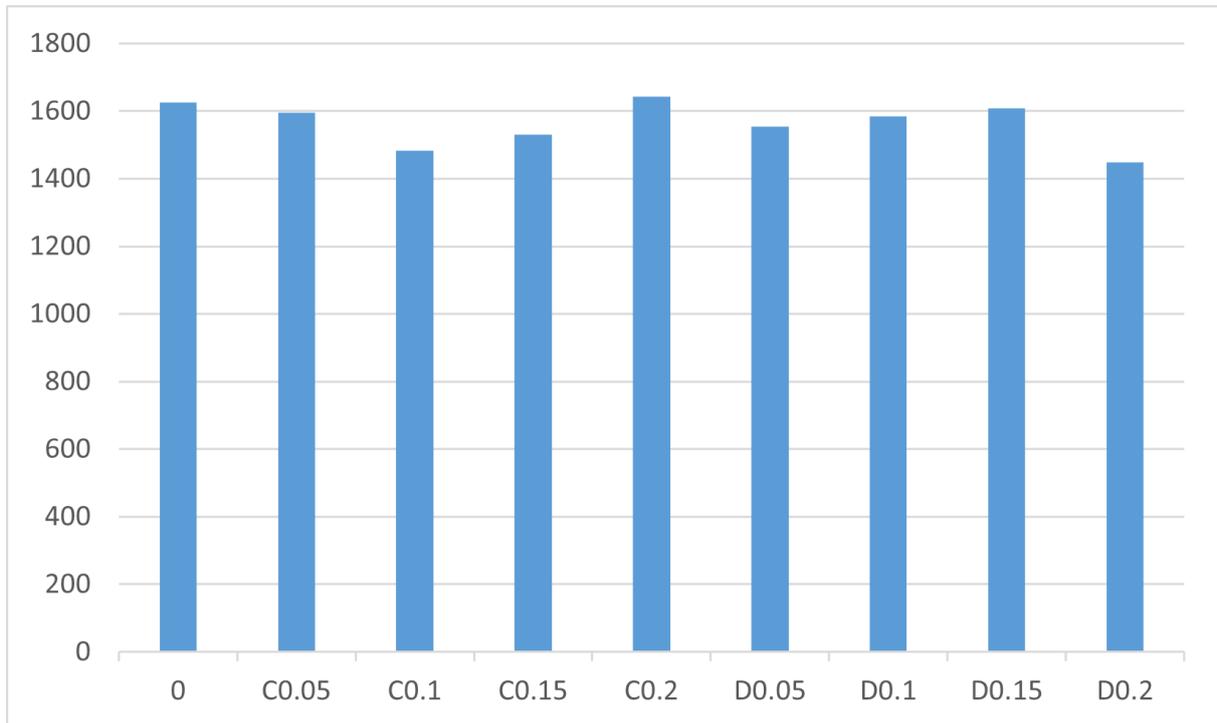


図 4.1 常に有利なプレイヤーのレーティング

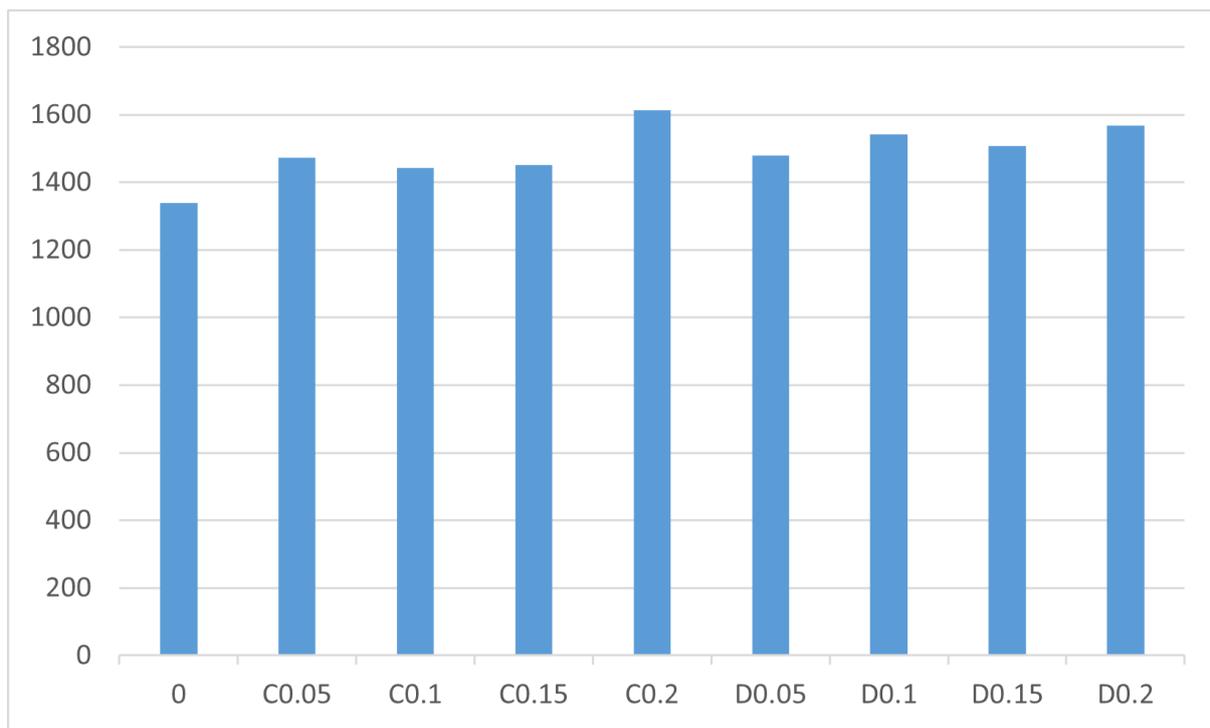


図 4.2 常に不利なプレイヤーのレーティング

以下の図 4.3、4.4 は、常に相性が有利なプレイヤーと、常に相性が不利なプレイヤーのレーティングの差を示した図である。

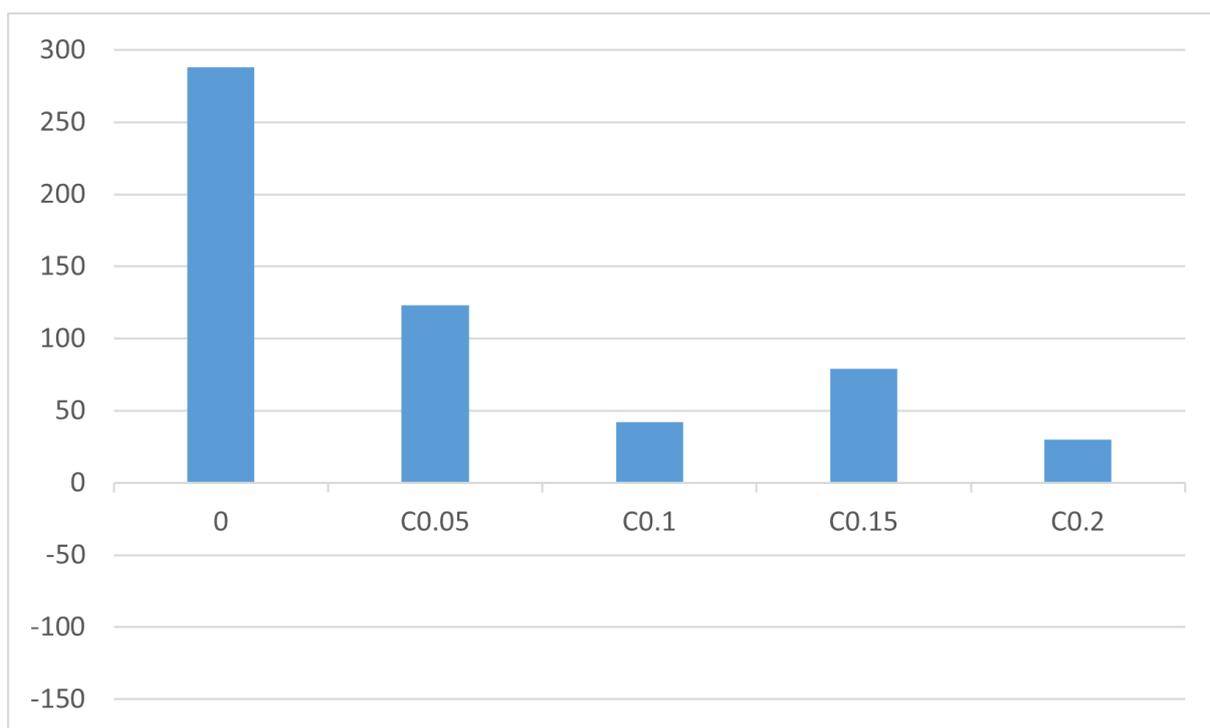


図 4.3 変動量が C のときのレーティング差

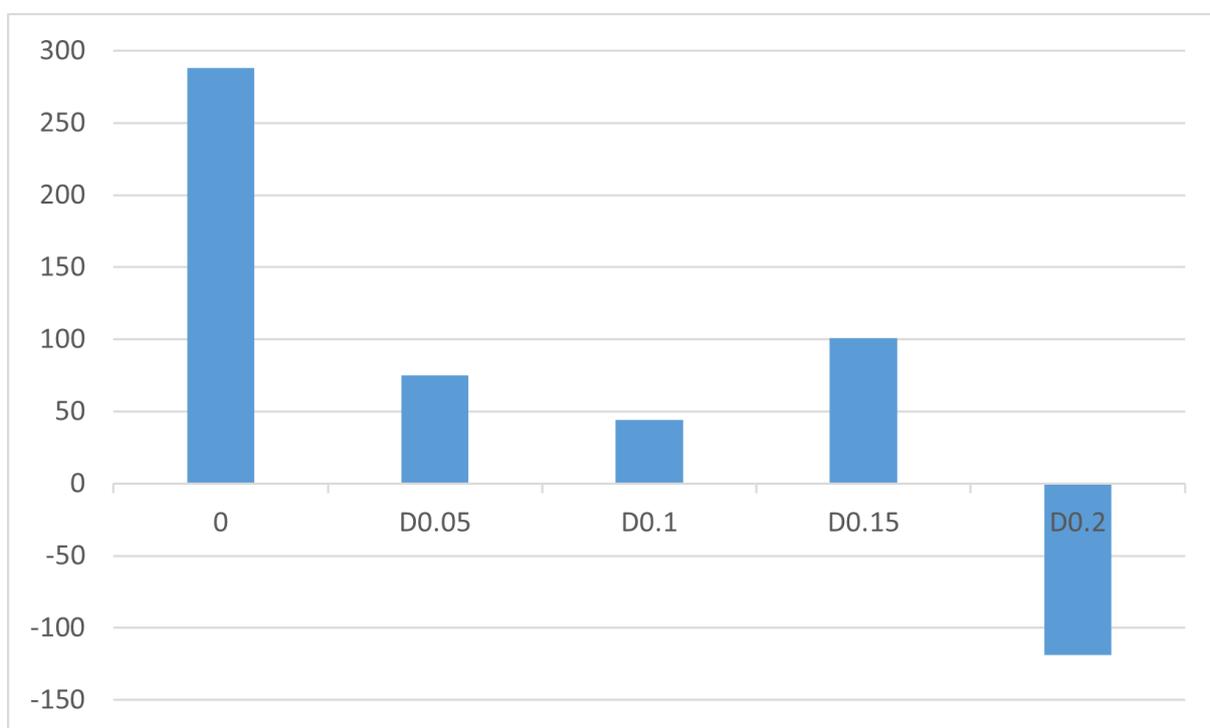


図 4.4 変動量が D のときのレーティング差

以下の図 4.5、図 4.6、図 4.7、図 4.8、図 4.9、図 4.10、図 4.11、図 4.12、図 4.13 は、各条件で

のプレイヤー全体のレーティングの分布を示したヒストグラムである。

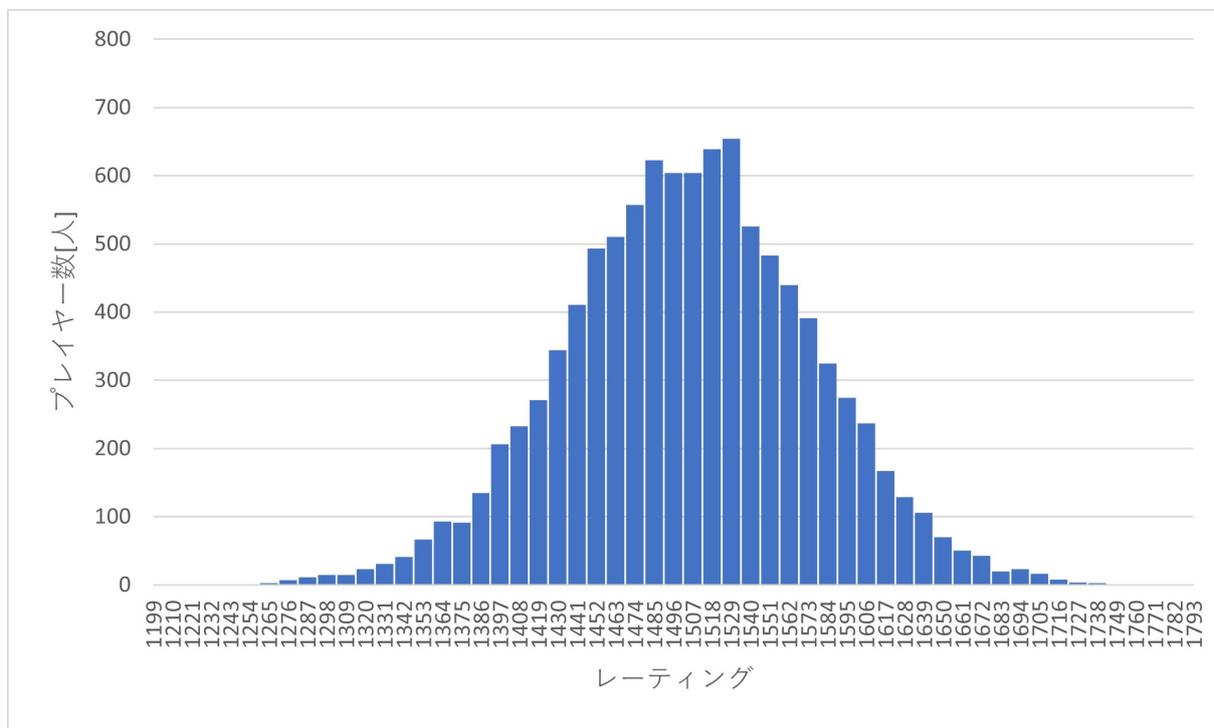


図 4.5 変動量 C が 0 のときのレーティング分布

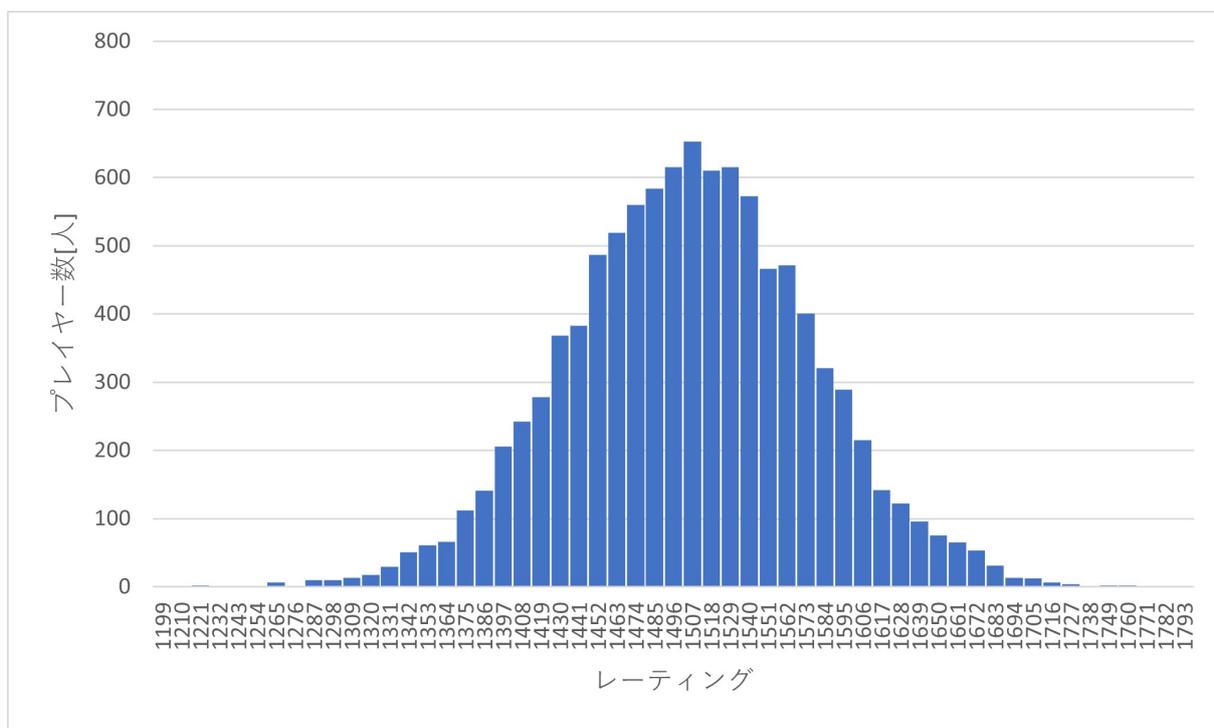


図 4.6 変動量 C が 0.05 のときのレーティング分布

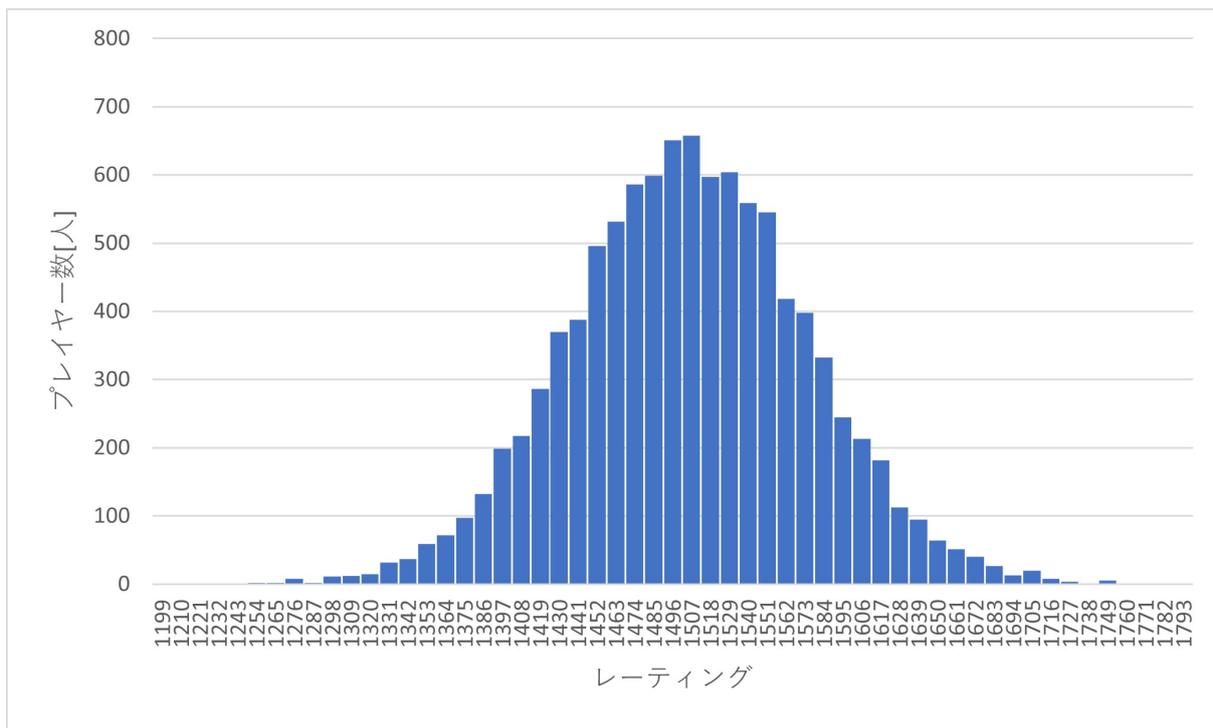


図 4.7 変動量 C が 0.1 のときのレーティング分布

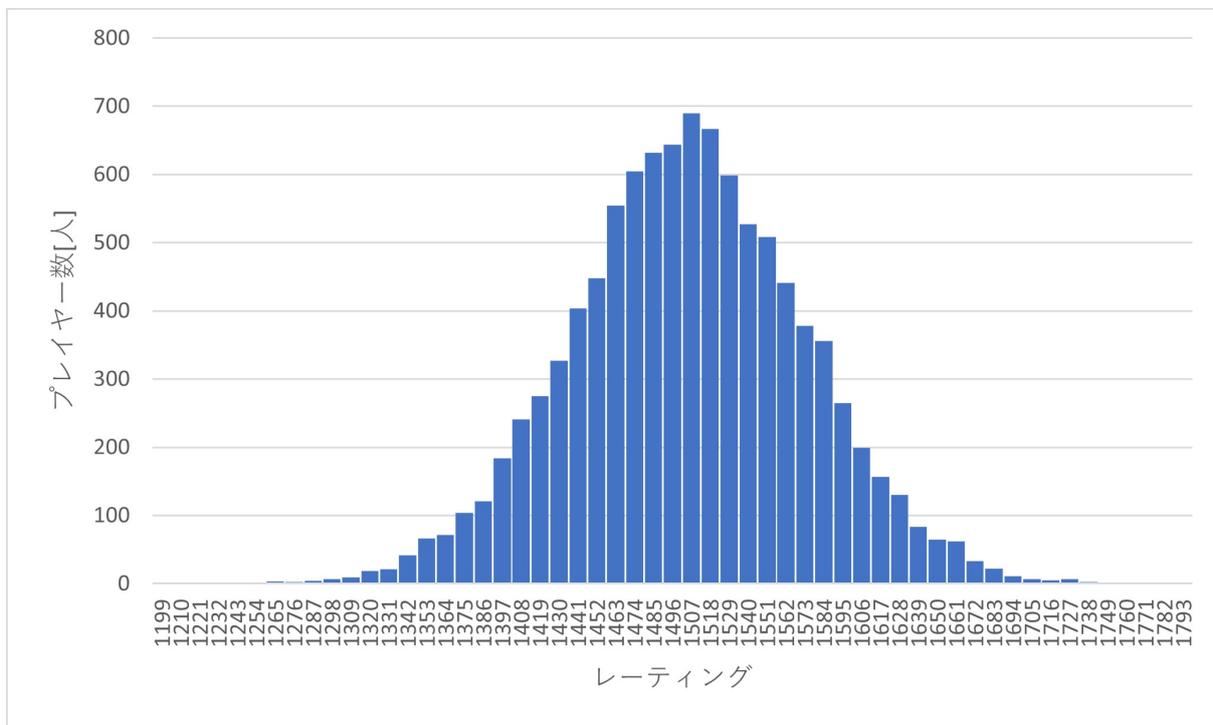


図 4.8 変動量 C が 0.15 のときのレーティング分布

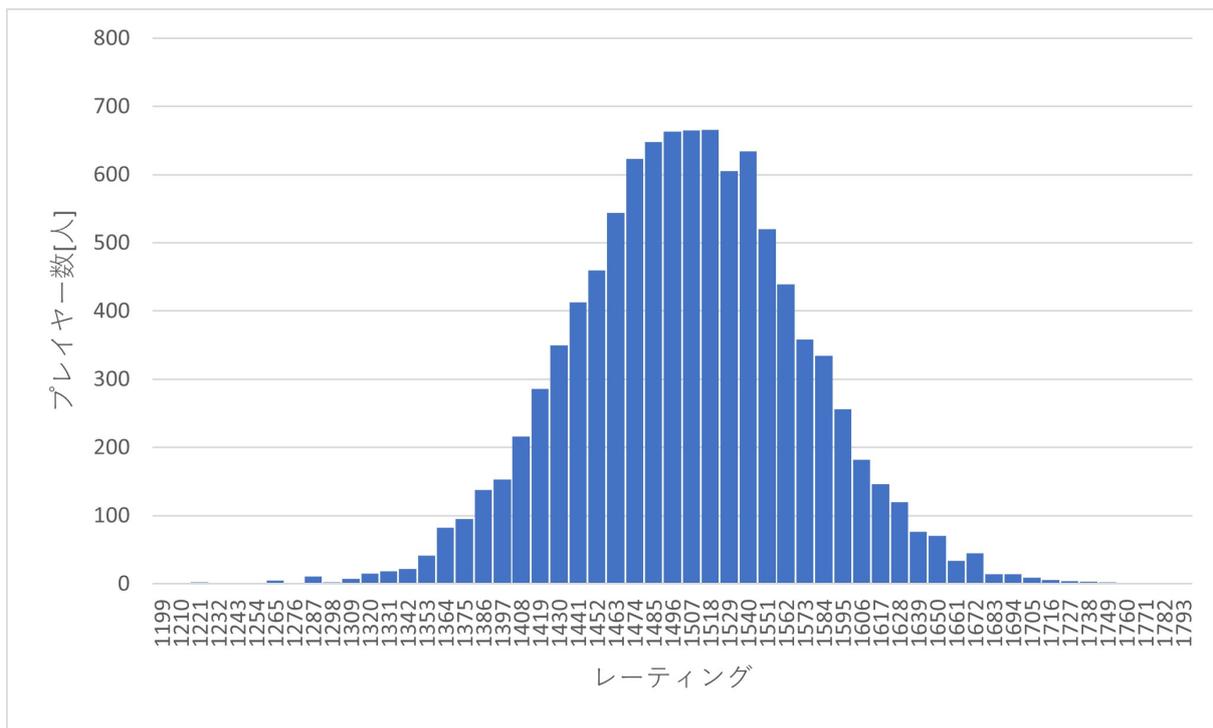


図 4.9 変動量 C が 0.2 のときのレーティング分布

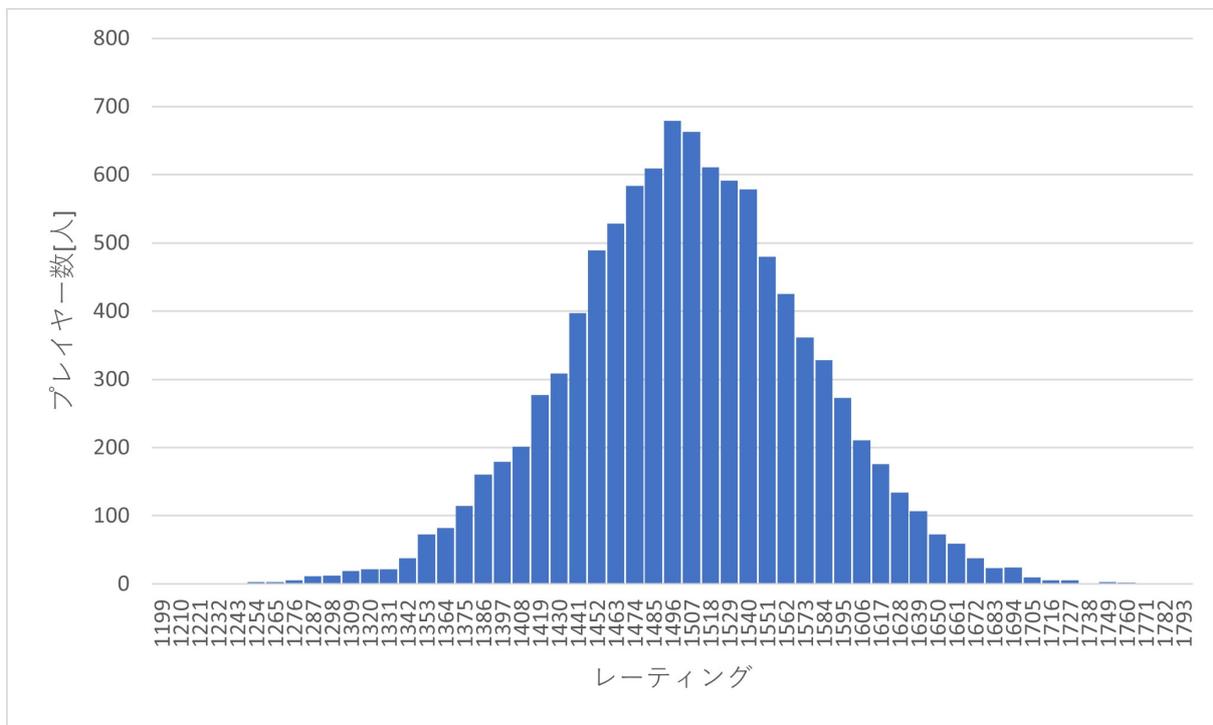


図 4.10 変動量 D の基本値が 0.05 のときのレーティング分布

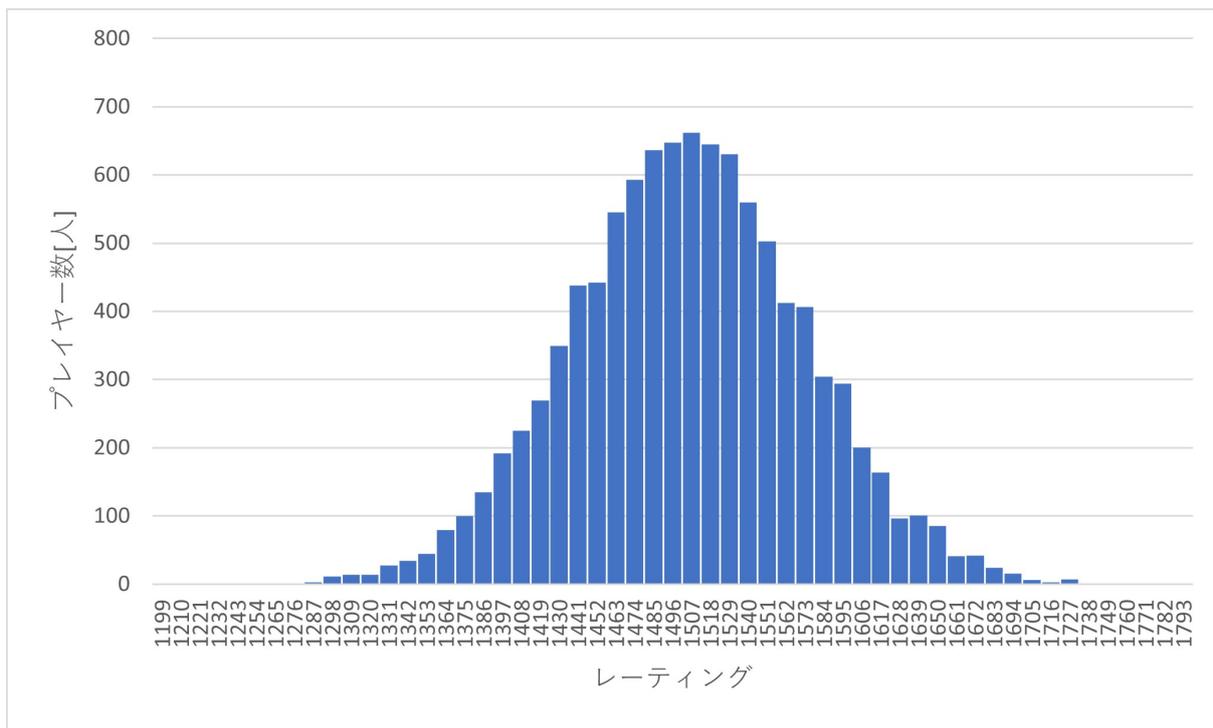


図 4.11 変動量 D の基本値が 0.1 のときのレーティング分布

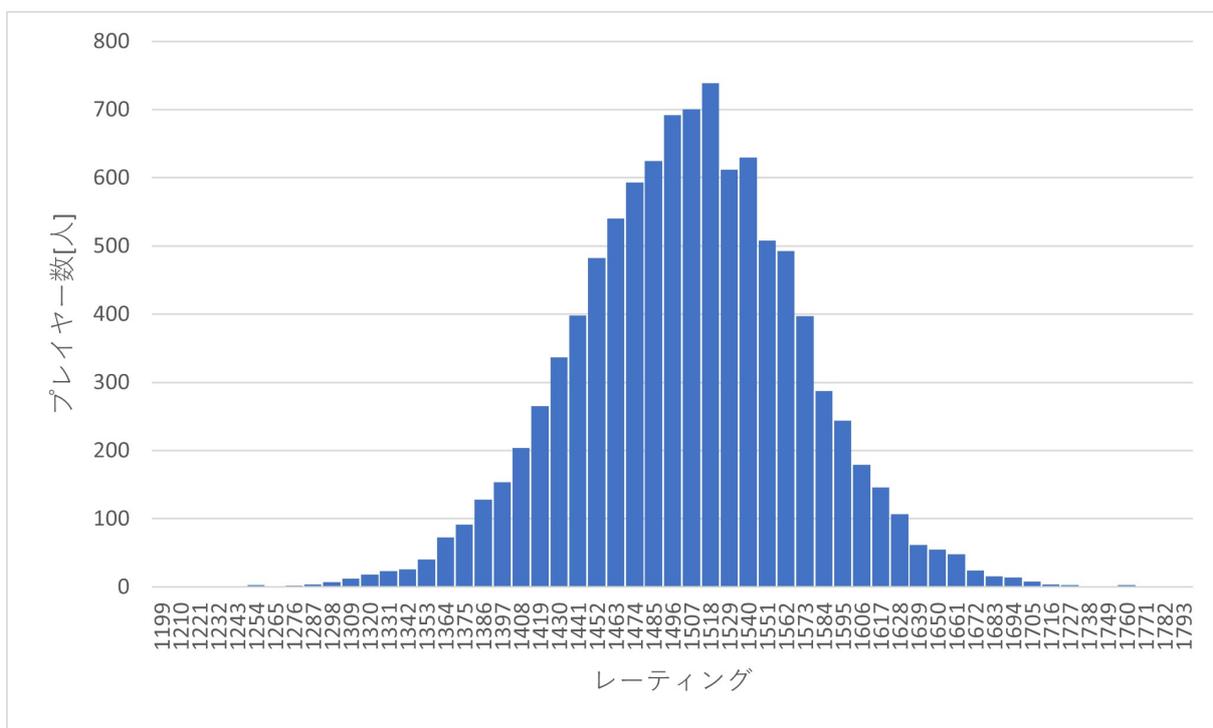


図 4.12 変動量 D の基本値が 0.15 のときのレーティング分布

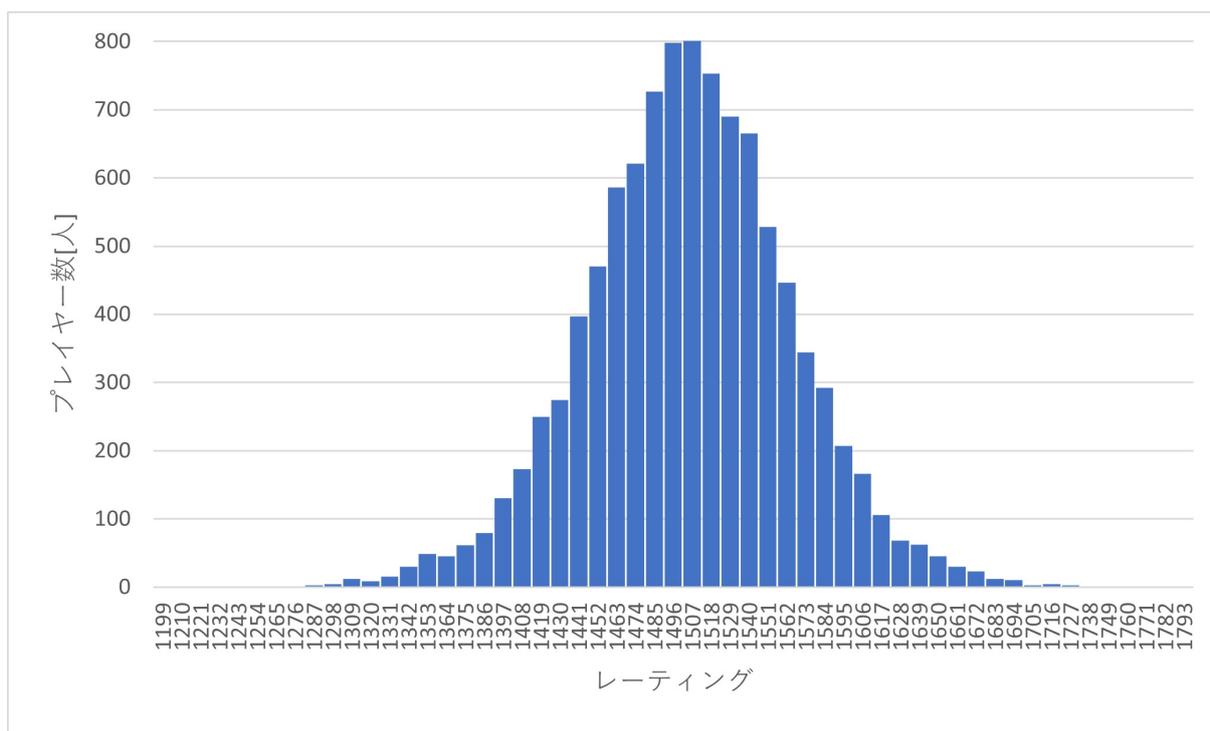


図 4.13 変動量 D の基本値が 0.2 のときのレーティング分布

4.2 評価

4.2.1 個人レーティング

実験結果から、相性による期待勝率の変動量が大きくなると、常に相性が有利になるプレイヤーはレーティングの増加が抑えられている。逆に、常に相性が不利になるプレイヤーはレーティングの減少が抑えられている。また、両者の最終的なレーティングを比較した場合、両者のレーティング差は縮まる傾向にあったが、変動量 D を使用して基本値が 0.2 の場合は、常に相性が有利なプレイヤーのほうがレーティングが低くなった。

4.2.2 全体レーティング

実験結果および複数のヒストグラムから、レーティング分布は正規分布の形を維持してはいるが、 C が固定値である場合も、両者のレーティング差に応じて期待勝率の変動量が変化する D の

場合のどちらのパターンでも、値が大きくなるにつれて、山裾の幅が短くなり、山の頂点が高くなっている。

帰無仮説を「相性による勝率の変化を加えたものと、加えていないものの間には相違がない」として、値が0のときと、それ以外の全てとのF検定を行った。なお、イロレーティングおよび本手法では、勝ったプレイヤーの上昇レーティング分と同じだけ、負けたプレイヤーのレーティングが減少するため、合計値や平均値が変わらないため、t検定ではなくF検定を行った。その結果、Cが固定値の場合もDとして変化する場合のどちらも、値が0.05の段階ではp値が約0.5であり、0.05を大きく上回るため、帰無仮説は棄却されない。しかし、値が0.1以上の場合、p値が0.05よりも低く、有意水準5%を下回るため帰無仮説は棄却される。表4.2は、F検定の結果を示す表である。値が0.2に近づくにつれて、p値はととも低くなっている。また、Dのパターンのほうが、p値はより小さくなっている。

表 4.2 F 検定の結果

係数	値	p 値
C	0.05	0.499819249
C	0.1	0.022802408
C	0.15	0.000294865
C	0.2	1.07×10^{-10}
D	0.05	0.493968487
D	0.1	3.28×10^{-6}
D	0.15	3.6×10^{-18}
D	0.2	1.47×10^{-66}

さらに、値が大きくなるにつれ、分散も小さくなっているため、レーティングの分布は収束している。こちらも、Dのパターンのほうが、より分散が小さくなっている。表4.3は、各レーティング分布での分散を示した表である。

表 4.3 各実験での分散

係数	値	分散
<i>C</i>	0	5027.025902
<i>C</i>	0.05	4958.834384
<i>C</i>	0.1	4802.175527
<i>C</i>	0.15	4612.527635
<i>C</i>	0.2	4417.716434
<i>D</i>	0.05	4958.570096
<i>D</i>	0.1	4579.155719
<i>D</i>	0.15	4223.743475
<i>D</i>	0.2	3558.011577

4.3 考察

個人のレーティングに着目して考察した場合、常に相性が有利なプレイヤーは、相性が有利という点を反映してあるためレーティングが高く上がりすぎず、常に相性が不利なプレイヤーは相性が不利という点を反映しているためレーティングが低く下がりすぎなくなった。また、両者のレーティング差は縮まっている。そのため、本手法はレーティングがプレイヤー本来の実力から乖離することを防げたと考えられる。

全体のレーティングに着目して考察するため、F 検定を行った。その結果、期待勝率の変動量が 0.05 の場合には、変動がない場合との相違点は確認できなかった。だが、期待勝率の変動量が 0.1 以上の場合には、プレイヤーのレーティングの分布が、イロレーティングとは異なるものとなることが確認できた。さらに、変動量が大きくなるほど分散も小さくなっているため、プレイヤーのレーティングが平均値付近に収束している。イロレーティングおよび本手法では、1 回の対戦でのレーティング増減は、勝ったプレイヤーの上昇分、負けたプレイヤーのレーティングが下がるので、初期値がそのまま平均値となり、変化しない。イロレーティングでは、「平均的な強さのプレイヤー」との期待勝率に基づいてレーティングが決まるため、レーティングが平均値か

ら外れたプレイヤーがゲームを去って戻ってこなければ、ゲームを続けているプレイヤー全体のレーティングが動いたままになるので、「平均的な強さのプレイヤー」がずれてしまう。しかし、本手法ではプレイヤーのレーティングの分散が収束傾向にあるため、その問題点を軽減できるのではないかと推測する。

第 5 章

まとめ

本研究では、プレイヤー間の相性関係を考慮して、期待勝率を変動させるシステムを提案した。

本手法が、相性による有利不利が存在する場合に、プレイヤーの本来のレーティングとの乖離を防げるかどうか、仮想プレイヤーとレーティング対戦を想定したシミュレーターを作成し、検証実験を行った。実験では、本手法を適用しない場合と、相性による有利不利がある場合に定められた数値だけ期待勝率が動く場合と、相性による有利不利がある場合に両者のレーティング差に応じて期待勝率の変動量が決まる場合で、シミュレートを行い比較した。実験の結果、相性によって期待勝率を変動する場合は、本来のレーティングとの乖離を防げたと考えられた。また、本手法を適用したプレイヤー全体のレーティング分布は、既存のレーティングシステムとは違った分布になることを確認することができた。

今後の展望として、本実験では、相性関係を定めるための各プレイヤーのタイプは3つの中からランダムで決まる仕様になっているが、タイプの決まり方がプレイヤーごとにある程度の傾向がある場合や、3すくみの相性関係ではなくタイプが増えて相性関係が複雑になる場合での実験など、違った環境での検証が考えられる。

謝辞

本研究を進め本論文を執筆するにあたり、ご指導、ご協力いただいた方に、この場を借りてお礼を申し上げます。

渡辺先生には、研究の方向性やレーティングシステムの作り方についてアドバイスをいただいたので、自信をもって研究を進めることができました。ありがとうございます。

阿部先生には、研究の進め方や論文執筆を何度も指導していただいたので、論文を書き上げることができました。ありがとうございました。

はじめは研究のことなど右も左もわからず、また、自分自身が怠慢であるために研究活動や論文執筆が進まないことも多くありましたが、それでも懇切丁寧に指導していただいたおかげで、一つの研究を成し遂げることができました。本当にありがとうございました。

研究室のメンバーとは、直接関わることは少なかったものの、会ったときには楽しく会話したり、同じ研究室で研究を進めている仲間がいるという事実が、心のどこかで自分の研究を進めるモチベーションになっていたと思います。

また、生活面で自分を支えてくれた家族にも感謝します。

先生方による研究の指導はもちろんのこと、それ以外にも自分をサポートしてくれた人がいたからこそ、自分の研究が成し遂げられました。研究を通して、自分がいかに多くの人に支えられているかがわかりました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] Splatoon3. <https://www.nintendo.co.jp/switch/av5ja/index.html>. 参照: 2022.12.22.
- [2] VALORANT. <https://playvalorant.com/ja-jp/>. 参照: 2022.12.22.
- [3] Dead by Daylight. <https://discover.deadbydaylight.com/ja>. 参照: 2022.12.22.
- [4] Chris Butcher. E pluribus unum: Matchmaking in halo 3. <https://www.gdcvault.com/play/194/E-Pluribus-Unum-Matchmaking-in>. 参照: 2023.2.13.
- [5] Mark E.Glickman. The glicko system. 1995.
- [6] Mark E.Glickman. Example of the glicko-2 system. 2013.
- [7] 大渡勝己, 西野順二. 相性関係を考慮したレーティングシステム. 研究報告ゲーム情報学, Vol. 41, No. 24, pp. 1–8, 2019.
- [8] 森田茂彦, 松崎公紀. 大貧民における初期手札の不均衡性を考慮したレーティングアルゴリズムの提案. 研究報告ゲーム情報学, Vol. 31, No. 14, pp. 1–5, 2014.
- [9] 高尾海州, 松崎公紀. 初期局面の有利不利に適応したレーティング手法の検証. 第 60 回プログラミング・シンポジウム予稿集, Vol. 60, pp. 129–137, 2019.
- [10] Tom Minka, Ryan Cleven, and Yordan Zaykov. Trueskill™: a bayesian skill rating system. *Proceedings of the 19th International Conference on Neural Information Processing Systems*, Vol. 2006-Dec-04, No. 19, pp. 569–576, 2006.
- [11] Tom Minka, Ryan Cleven, and Yordan Zaykov. Trueskill 2: An improved bayesian skill rating system. <https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2018/03/trueskill2.pdf>. 参照: 2022.12.23.
- [12] Olivier Delalleau, Emile Contal, Eric Thibodeau-Laufer, Raul Chandias Ferrari, Yoshua

- Bengio, and Frank Zhang. Beyond skill rating: Advanced matchmaking in ghost recon online. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Vol. 4, No. 3, pp. 167–177, 2012.
- [13] Aleks Visti, Tapani N. Joelsson, and Jouni Smed. Beyond skill-based rating systems: analyzing and evaluating player performance. *Proceedings of the 21st International Academic Mindtrek Conference*, Vol. 2017-Sep-20, No. 21, pp. 8–16, 2017.
- [14] Aram Ebtekar and Paul Liu. Elo-mmr: A rating system for massive multiplayer competitions. *Proceedings of the Web Conference 2021*, Vol. 2021-Jun-3, No. 28, pp. 1772–1784, 2021.
- [15] Linxia Gong, Xiaochuan Feng, Dezhi Ye, Hao Li, Runze Wu, Jianrong Tao, Changjie Fan, and Peng Cui. Optmatch: Optimized Matchmaking via Modeling the High-Order Interactions on the Arena. *Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Vol. 2020-Aug-20, No. 26, pp. 2300–2310, 2020.
- [16] Qilin Deng, Hao Li, Kai Wang, Zhipeng Hu, Runze Wu, Linxia Gong, Jianrong Tao, Changjie Fan, and Peng Cui. Globally Optimized Matchmaking in Online Games. *Proceedings of the 27th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Vol. 2021-Aug-14, No. 27, pp. 2753–2763, 2021.
- [17] 佐藤淳史. イロレーティングシステムを用いたオンライン対戦ゲームにおけるマッチングアルゴリズムの研究. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2022.
- [18] Counter-Strike: Global Offensive. <https://blog.counter-strike.net/>. 参照: 2023.1.9.
- [19] オーバーウォッチ 2. <https://overwatch.blizzard.com/ja-jp/>. 参照: 2023.1.9.
- [20] 鉄拳 7. <https://www.tk7.tekken-official.jp/>. 参照: 2023.1.9.

[21] Alpad E.Elo. *The Rating of Chessplayers, Past and Present*. Arco Pub., 1978.