

修士論文の和文要旨

研究科・専攻	大学院 情報理工 学研究科 情報・ネットワーク工学 専攻 博士前期課程		
氏 名	馬場 匠	学籍番号	1731125
論文題目	少ない棋譜からの将棋プレイヤー棋力推定システム		
要 旨	<p>近年、囲碁や将棋などのボードゲームは、ネット上で気軽に見知らぬプレイヤーと対戦することが可能となり、幾つかのアプリも登場している。このようなオンライン対戦においては、それぞれのコミュニティで独自のプレイヤーの強さ（棋力）を測る指標があり、この指標を用いることで棋力の近いもの同士をマッチングする仕組みになっている。しかし新規プレイヤーは、各コミュニティにおける自らの棋力がわからないため、妥当な棋力の指標が得られるまで実力のかげ離れたプレイヤーとの対戦を多く強いられることとなる。実際、将棋クエストというオンライン対戦場においては、レーティングと呼ばれる強さの指標が安定するまでに 50 局もの対局が必要とされており、これは新規ユーザばかりでなく、対戦相手にとっても大きな負担となる。このような状況の下、なるべく少ない棋譜から棋力を推定する手法は求められている。</p> <p>先行研究においては、プレイヤーの着手による評価値の平均的な減少量を平均損失と定義し、これが小さいプレイヤーほどミスが少ないため、強いプレイヤーであると評価した。この際、プレイヤーの着手前の評価値の絶対値（以下、「評価値の閾値」とする）が指定した定数よりも小さい局面のみを分析対象とした。</p> <p>本論文では、将棋クエストの 10 分切れ負けの条件におけるレーティングを推定する手法について考察する。まず、予備実験を行い評価値の閾値が小さいほど、レーティングの推定に必要な分析局面数が少なくなる傾向を確認した。そして、接待将棋 AI と呼ばれる評価値が 0 に近い手を着手する人工知能プレイヤーとの対戦を行わせることで、評価値の閾値が小さい局面を効率的に作れることも確認した。実際に、被験者にこの接待将棋 AI と 4 局程度対局させ、この棋譜を用いてレーティングの推定を行う手法を提案し、その推定精度を検証する実験を行ったところ、平均二乗誤差平方根にして 168 という非常に高い精度で推定することを確認した。さらに、推定精度を上げるために、「持ち時間の考慮」、「対局の進行度の考慮」、「序盤指定手数を分析局面から除外」の 3 手法を検証し、それぞれにおいて推定精度の向上させることができ、最終的に平均二乗誤差平方根にして 132 という精度を得ることができた。</p>		

平成 30 年度 修士論文

少ない棋譜からの 将棋プレイヤー棋力推定システム

情報・ネットワーク工学専攻
コンピュータサイエンスコース

学籍番号 1731125

氏名 馬場 匠

主任指導教員 伊藤 毅志 准教授
指導教員 保木 邦仁 准教授

2019 年 3 月 14 日

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 本論文の目的	1
1.3 本論文の構成	2
第2章 関連研究	3
2.1 チェスにおける棋力推定	3
2.2 将棋における棋力推定	4
2.3 接待将棋 AI	4
第3章 予備実験	6
3.1 レーティングと平均損失の相関	7
3.1.1 目的	7
3.1.2 方法	7
3.1.3 結果	7
3.1.4 考察	8
3.2 評価値の閾値と推定精度	8
3.2.1 目的	8
3.2.2 方法	8
3.2.3 結果	9
3.2.4 考察	10
3.3 レーティングと平均損失の関係	10
3.3.1 目的	10
3.3.2 方法	10
3.3.3 結果	10
3.3.4 考察	11
3.4 平均損失からレーティングの推定	12
3.4.1 目的	12
3.4.2 方法	12
3.4.3 結果	12
3.4.4 考察	12
3.5 分析局面数によるレーティング推定値の誤差の推移	12
3.5.1 目的	12
3.5.2 方法	13
3.5.3 結果	13
3.5.4 考察	13

3.6 プレイヤ同士の対局における1局あたりの分析局面数	13
3.6.1 目的	13
3.6.2 方法	14
3.6.3 結果	14
3.6.4 考察	14
3.7 提案システムとの対局における1局あたりの分析局面数	15
3.7.1 目的	15
3.7.2 方法	15
3.7.3 結果	15
3.7.4 考察	15
第4章 提案手法	16
4.1 棋力推定手法	16
4.1.1 予備実験まとめ	16
4.1.2 レーティング推定手法	16
4.2 評価実験の手順	17
4.2.1 事前対局	17
4.2.2 実験手順	17
4.2.3 実験環境	18
4.2.4 実験参加者	18
4.2.5 レーティング推定	19
第5章 評価実験	20
5.1 推定精度の評価	20
5.1.1 目的	20
5.1.2 方法	20
5.1.3 結果	20
5.1.4 考察	21
5.2 対局の進行度による推定誤差	22
5.2.1 目的	22
5.2.2 方法	22
5.2.3 結果	22
5.2.4 考察	23
5.3 対局の進行度による推定精度	23
5.3.1 目的	23
5.3.2 方法	23
5.3.3 結果	24
5.3.4 考察	26

5.4 対局の進行度の低い指定局面数による推定精度.....	26
5.4.1 目的.....	26
5.4.2 方法.....	26
5.4.3 結果.....	27
5.4.4 考察.....	28
5.5 序盤の除外手数による推定精度.....	28
5.5.1 目的.....	28
5.5.2 方法.....	28
5.5.3 結果.....	29
5.5.4 考察.....	31
第6章 結論.....	32
6.1 本研究のまとめ.....	32
6.2 今後の展望.....	33
謝辞	34
参考文献	35
付録	36

第1章 序論

1.1 研究の背景

近年、ゲーム AI はさまざまなゲームにおけるトッププロを凌ぐほど強くなっている。将棋においては、2017 年に開催された第 2 期電王戦において、Ponanza が当時の名人である佐藤天彦と 2 局対局し、全勝を収めた[1]。また、2015 年に「コンピュータ将棋プロジェクトの終了宣言」が発表され、既にコンピュータ将棋の実力がトッププロ棋士に追いつていることが科学的根拠を示した上で宣言された[2]。囲碁の分野でも Alpha Go[3]、Alpha Go Zero[4]などが次々と発表され、人間トップである柯潔との対戦で勝利を収めるなど、人間を超える AI が実現された。特に、Alpha Go Zero の技術は、その技術を用いることで囲碁のみならず他の多くのゲーム分野で非常に強い AI を実現できる可能性が示されている。このような流れの中、ゲーム AI 研究は「ゲーム AI をより強くする研究」から「十分に強くなったゲーム AI を活用する研究」に移り変わっている。

本研究が対象とする将棋の分野では、インターネットの普及により、将棋ウォーズ[6]や将棋クエスト[7]といったスマホアプリの普及により、見知らぬプレイヤーと手軽に対局することが可能となった。例えば将棋ウォーズにおいてはプレイヤー数が 360 万人を超えており、日々 24 万局もの対局が行われていると言われている[8]。このようなオンライン対局場においては、それぞれ独自の強さの指標があり、レベルの近いもの同士で 2 人のプレイヤーが自動的にマッチングされる仕組みのため、楽しい対局が実現されている。しかし新規プレイヤーにとっては、妥当な棋力指標が得られるまでは実力のかけ離れたプレイヤーとの対局を多く強いられる。また、既存のプレイヤーにとっても、棋力の離れている新規プレイヤーとの対局を強いられる恐れがある。実際、将棋クエストにおいては強さの指標の一つであるレーティング値が安定するまでに 50 局もの対局が必要であるとされており[9]、これは新規プレイヤーにとって大きな負担となる。このような状況において、なるべく少ない棋譜から棋力を推定する手法が求められている。

将棋より早く人間のトップを超えたとされるバックギャモンの分野では、AI を用いた棋力推定や学習支援が行われており、実用的なレベルに至っている[5]。将棋や囲碁の分野でも AI を用いることで従来の手法よりも少ない棋譜から比較的正確な棋力の推定ができるのではないかと考える。

1.2 本論文の目的

本論文では、より少ない対局からプレイヤーの棋力を推定することを目的とする。1 局の棋譜からなるべく多くの分析対象とする局面を抽出するために、1 局の中で棋力推定により寄与する手を効率よく抽出する方法が求められる。先行研究から序盤や最終盤の手を排除す

る手法が用いられていることから、中盤以降で局面が大差にならない部分が棋力推定に有効である可能性が示唆される。本研究では、まず指し手の評価値の絶対値の大きさと棋力推定の精度の関係を調べ、僅差の手ほど棋力推定に寄与していることを確認する。そして、接戦を演じるために、仲道らが提案したプレイヤーの棋力に動的に合わせる対局システム[10]を用いた AI（以降、接待将棋 AI と呼ぶ）との対局を行うことで、少ない棋譜で良い精度を上げる手法を提案し、その手法の効果を検証する。

1.3 本論文の構成

本章では、本研究の背景と目的について述べた。2 章では、関連研究について述べる。3 章では、予備実験として将棋クエストの棋譜を用いて、指し手の評価値とレーティング推定に関する実験結果について述べる。4 章では、提案手法の説明を行い、その手法を用いた実験の流れについて述べる。5 章では、被験者に接待将棋 AI と対局させて得られた棋譜を用いてレーティングの推定を行い、その効果を検証する。6 章では、結論と今後の展望について述べる。

第2章 関連研究

2.1 チェスにおける棋力推定

チェスにおける棋力推定の研究として Guid らの研究がある[11]. Guid らはワールドチェスチャンピオンシップの歴代チャンピオン同士の棋力を比較した. 棋譜はワールドチェスチャンピオンシップの棋譜を用いた. 棋力を比較するために, 平均損失(MeanLoss)を定義した. 平均損失は以下のように求まる.

$$(\text{平均損失}) = \text{AVERAGE}((\text{AI の最善手の評価値}) - (\text{プレイヤーの着手の評価値}))$$

この平均損失が小さいほど, ミスの少ないプレイヤーであることから, 強いプレイヤーであると評価した. AI は CRAFTY を用いた. 探索の深さを 12 に固定し, 終盤は 13 に固定した. また, 両者の駒の数の合計が 15 未満のとき, エンドゲームの思考を開始した.

また, 分析局面の条件は以下のように設定した.

- (1) 12 手目以降
- (2) 着手前の評価値が -2 から 2 (ポーンの評価値が 1)

(1)は序盤において, プレイヤーの着手は「棋力」ではなく「好み」により, 分かれるため導入された. また(2)は, 例えば勝っている局面において, プレイヤーは最善手よりも, リスクの少ない手を選ぶ傾向にあるため, 導入した.

分析の結果, 第3回世界チャンピオンのカパブランカが最も優れたプレイヤーであるとの結果が得られた. しかし, 一般的には第13回世界チャンピオンのカスパロフが歴代最強と言われている. 分析の結果, カパブランカが最も優れたプレイヤーとなった理由として, カパブランカはシンプルな局面を好む傾向にあるため, ミスが少ないと判断されたのではないかと考察された.

この研究においては, 歴代世界チャンピオン同士での相対的な平均損失の比較を行ったのみであり, 段級位やレーティングといった絶対的な評価指標と平均損失の関係を明らかにしていない. そこで本研究においては, 将棋クエストのレーティングを平均損失から求める手法を提案する. またこの研究においては, 棋力の推定対象がチェスチャンピオンであったため多くの棋譜が手に入った. しかし, 一般的なアマチュアプレイヤーにおいては, 多くの棋譜を手に入れることは困難であるため, 本研究では, なるべく少ない対局から棋力の推定を行うことを目指す.

2.2 将棋における棋力推定

将棋における棋力推定の研究として山下の研究がある[12]。歴代名人の強さを棋譜から比較した。この研究では平均損失を以下のように定義した。

$$(\text{平均損失}) = \text{AVERAGE}((\text{指し手後の評価値}) - (\text{指し手前の評価値}))$$

山下は平均損失に加え、AI と着手が一致した「一致率」、着手の評価値が AI の着手の評価値を上回った「好手率」、着手の評価値が AI の着手の評価値を下回った「悪手率」を対象に、分析した。

この研究では、分析局面の条件を以下のように設定した。

- (1) 40 手目以降
- (2) 着手前の評価値が -10 から 10 (歩の評価値が 0.87)

本研究においては、プロ棋士ではなく、一般的に級位者を含めたアマチュアを対象とする。そのため、AI よりも評価値の高い手の好手率や AI と同一の着手である一致率を用いても、差異が見られない可能性がある。そこで本研究では平均損失のみを用いて、プレイヤーの棋力を測定する。

2.3 接待将棋 AI

仲道らは、動的に棋力を調整する手法として、以下の式(1)を評価値に適用した Bonanza を接待将棋 AI として提案した[10]。着手 M の評価値が $V(M)$ であり、式(1)によって変換した値が $V_0(M)$ である。

$$V_0(M) \begin{cases} -V(M), V(M) \geq 0 \\ V(M), V(M) \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)より、評価値が 0 に近い手が最も高い評価値に換算される。つまり、互角に近い手を選ぶことになり、接戦を演出される。

一般に、局面に大差がつくと、勝っている方は必ずしも最善手でなくても勝利できる手を選ぶことがあったり、逆に負けている方は最善手よりも紛れの多い勝負手を選ぶことがあったりする。そのため平均損失を計算する手法だと、均衡の取れた局面ほど棋力の推定に有用な局面になるのではないかと考えた。そこで、本研究では接待将棋 AI を用いることにより、効果的に推定に有効な分析局面を生成することを試みる。仲道らの研究においては

Bonanza をベースに接待将棋 AI を開発したが，本研究においては棋力推定に用いている AI と同じ「技巧のバージョン 2.0.2」[13]をベースに接待将棋 AI を開発し，被験者の対局相手として用いることにした．

第3章 予備実験

本章では、将棋クエストの棋譜を用いて、レーティングと平均損失の関係を確認する。さらに「対象プレイヤーの指し手前の局面の評価値の絶対値の上限」（以下、「評価値の閾値」とする）と棋力推定に必要な分析局面数の関係を調べ、評価値の閾値と必要な分析局面数を決定する。また、プレイヤー同士の対局の棋譜を分析対象としたときの棋力推定のために必要な対局数と、接待将棋 AI との対局の棋譜を分析対象としたときの棋力推定のために必要な対局数を算出する。将棋クエストのレーティングは ELO レーティングを使っている [9]。

なお、本研究で用いる将棋クエストにおけるプレイヤー A, B のレーティングを R_A , R_B とするときの B に対する A の勝率 W_{AB} は式 (2) である。

$$W_{AB} = \frac{1}{10^{\left(\frac{R_B - R_A}{400}\right)} + 1} \quad (2)$$

将棋クエストにおいて、プレイヤー B がプレイヤー A に勝ったときのレーティング R'_A , R'_B は式 (3), 式 (4) である。

$$R'_A = R_A - 16 \times W_{AB} \quad (3)$$

$$R'_B = R_B + 16 \times W_{AB} \quad (4)$$

なお、新規プレイヤーの初期レーティングは 950 とされ、41 局目までは式 (3), 式 (4) に常に $\frac{1500-950}{41}$ が勝敗に関わらず加算される仕組みとなっている。

主宰の柵瀬氏によると、このコミュニティに初めて参加する新規プレイヤーから見ると、最初の 40 局はレーティングが上昇するよう感じられるので、モチベーションを維持することを目的として、新規ユーザに対してこのような特殊な計算手法を用いているとのことであった。実際にレーティングが安定するまでには、この手法を使っても使わなくても一般に 50 局程度の対局が必要とされている。

3.1 節ではレーティングと平均損失の相関を求める。3.2 節では評価値の閾値を変更したときの、棋力推定に必要な分析局面数の推移について調査する。3.3 節ではレーティングを平均損失の式で表す。3.4 節ではプレイヤーを対象に、レーティングの推定を行う。3.5 節では特定のプレイヤーに対し、レーティングの推定を行い、推定に必要な分析局面数を求める。3.6 節では将棋クエスト上での対局において、1 局あたり分析局面が何局面程度得られるのかを調査する。3.7 節では提案システムとの対局においては、1 局あたり分析局面が何局面程度得られるのかを調査する。

本章の実験は将棋クエストの 10 分切れ負けにおけるプレイヤーの棋譜を対象にした。分析には技巧のバージョン 2.0.2[10]を用いた。探索の深さは 10 に固定した。分析対象とする局面は山下の条件を参考に、40 手目以降とした。さらに以下の条件を追加した。

- (1) 着手後の評価値が Mate (詰みを発見) 以外。
- (2) 対局者のどちらも Bot (AI) ではない。

(1) は着手後の評価値が Mate となった場合、平均損失に大きく影響を与え、妥当な値が取れないため、分析局面から除外した。

本研究において平均損失は以下のように定義する。

(平均損失) = $AVERAGE((\text{指し手前の評価値}) - (\text{指し手後の評価値}))$

3.1 レーティングと平均損失の相関

3.1.1 目的

将棋クエストにおけるプレイヤーのレーティングと平均損失の関係を示す。また、山下の研究における評価値の閾値の妥当性について検証する。これにより、本実験に用いる評価値の閾値と分析局面数を決定する。

山下の悪手率、好手率、一致率を考慮することなく、平均損失のみでプレイヤーのレーティングを推定できることを示す。

3.1.2 方法

評価値の閾値を 100 刻みに 100 から 1000 まで変え、分析局面数を 10 刻みに 10 から 100 まで変えた。十分な分析局面を用意できたレーティングが 1100 から 1999 までのプレイヤーを対象とし、レーティングを 100 刻みに 9 つのグループに分けた。それぞれのグループで指定数の分析局面を用意し、レーティングの損失の平均を算出した。このときの対局時のレーティングと平均損失の相関係数を計算した。9 つのデータ点から相関係数を算出した。

3.1.3 結果

評価値の閾値と平均損失を算出するための分析局面数を変えたときの、プレイヤーのレーティングと平均損失の相関係数は以下に示される。高い相関係数は赤で、低い相関係数は緑で色付けた。

表 3.1 評価値の閾値と分析局面数によるレーティングと平均損失の相関係数

		分析局面数									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
評価値の閾値	100	0.3987	0.7449	0.6877	0.6892	0.6382	0.6732	0.6637	0.7216	0.6753	0.7292
	200	0.4067	0.6150	0.7317	0.7759	0.7671	0.8354	0.7580	0.7637	0.8617	0.9016
	300	0.4151	0.5658	0.7474	0.7356	0.6930	0.7112	0.8000	0.9171	0.7872	0.8832
	400	0.6379	0.5098	0.5855	0.7756	0.8281	0.7770	0.8649	0.7630	0.8970	0.8810
	500	0.4352	0.6805	0.5946	0.6406	0.6339	0.5139	0.6036	0.7307	0.8446	0.7014
	600	0.2434	0.6054	0.8420	0.5236	0.6586	0.7224	0.7012	0.6351	0.6263	0.7149
	700	0.3973	0.5825	0.7424	0.4776	0.7582	0.6143	0.7847	0.8279	0.7276	0.8839
	800	0.5848	0.5621	0.6317	0.6238	0.6135	0.7785	0.7614	0.5972	0.8142	0.7258
	900	0.5890	0.6683	0.5050	0.6914	0.5962	0.5954	0.8330	0.7140	0.6147	0.8119
	1000	0.6097	0.6327	0.6190	0.6019	0.5953	0.7557	0.7608	0.8115	0.8350	0.7360

3.1.4 考察

将棋クエストにおいて、レーティングと平均損失に相関があることが確認できた。このことから、プレイヤーのレーティングは平均損失を用いることで線形近似する可能性が示唆される。

なるべく少ない局面数で比較的高い（0.75 以上の相関係数）が得られているところを調べると、評価値の閾値を 200 程度としたとき、分析局面数が 40-60 程度のときに比較的高い相関が見られた。この結果から、相手の指し手の評価値が-200 から 200 に収まるとき、少ない局面から効果的にプレイヤーの棋力を推定できる可能性が示唆される。

この結果から、本研究では、評価値の閾値を 200 に設定して棋力推定を行うことにする。

3.2 評価値の閾値と推定精度

3.2.1 目的

分析局面の条件である評価値の閾値を変更したとき、棋力の推定に用いる分析局面数とレーティングの推定精度の関係について調査する。

3.2.2 方法

将棋クエストの 10 分切れ負けにおけるプレイヤーの棋譜約 2000 局を対象として、評価値の閾値を 1000 としたものと 100 としたもので、それぞれのレーティングのグループの平均損失を算出した。レーティングが 1100 から 2499 までのプレイヤーを対象とし、レーティングを 100 刻みにグループ分けした。それぞれのグループにおける平均損失を算出した。

3.2.3 結果

それぞれのグループのレーティングの下限を横軸に、平均損失と分析局面数を縦軸に取った。このときの、それぞれのグループにおける平均損失と分析局面数は以下に示される。折れ線グラフが平均損失、棒グラフが分析局面数を表す。評価値の閾値を 1000 としたときのグラフが図 3.1、評価値の閾値を 100 としたときのグラフが図 3.2 である。

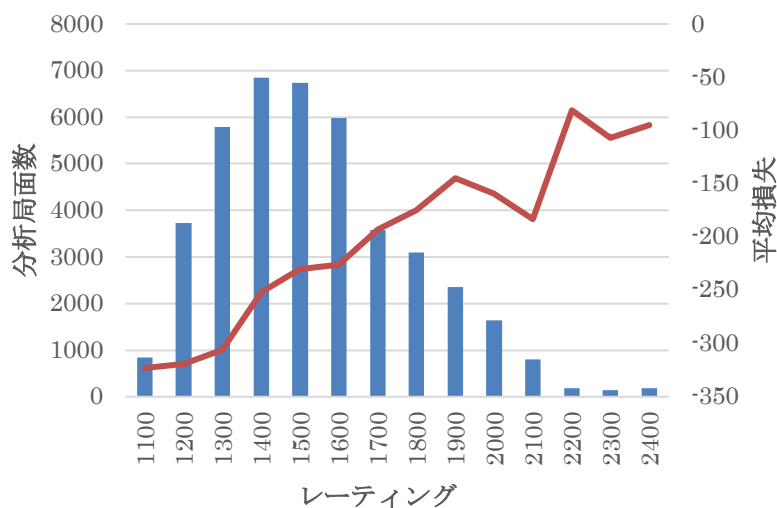


図 3.1 評価値の閾値を 1000 としたときの平均損失と分析局面数

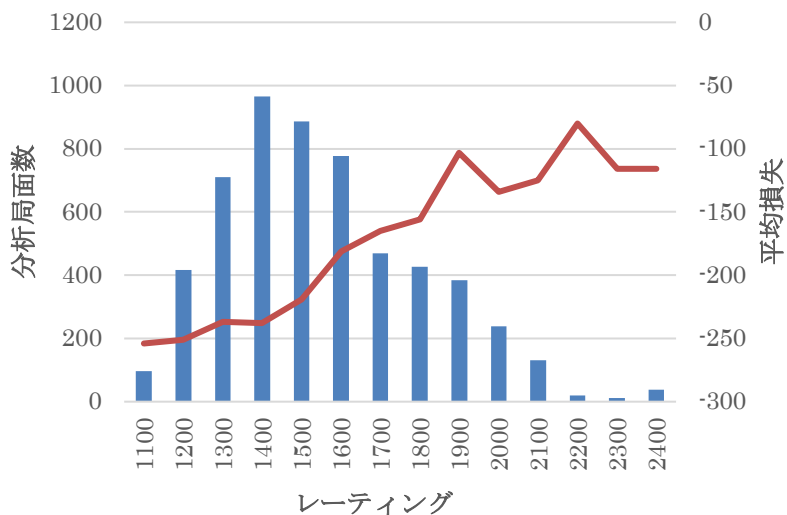


図 3.2 評価値の閾値を 100 としたときの平均損失と分析局面数

図 3.1 と図 3.2 とともに、レーティング 1100 から 1900 においては平均損失が単調増加した。

3.2.4 考察

評価値の閾値を 1000 としたとき、平均損失が単調増加しなかったレーティング 2000 においては分析局面数が 1641 であった。よって誤差±50 以内でレーティングを推定するためには、分析局面数が 1600 以上必要であると推測される。

これに対し評価値の閾値を 100 としたときは、最も分析局面数が多いレーティング 1400 のグループにおいても 956 局面しか取れなかった。どのグループにおいても 1600 局面には満たない分析局面数であったが、レーティング 1900 のグループまで平均損失の単調増加が見られた。したがって、評価値の閾値を小さくすることにより、棋力推定に必要な分析局面数は少なくなることが示唆される。

しかし、図 3.1 と図 3.2 では同じ区間のみで単調増加しているため、分析局面数以外の要因が平均損失に影響を与えていると考えることができる。例えば、レーティングの高いプレイヤーについては、平均損失からレーティングの推定が容易ではない可能性がある。

3.3 レーティングと平均損失の関係

3.3.1 目的

3.1 節から将棋クエストにおいてレーティングと平均損失に 0.75 以上の相関があることが示された。そこで、ここでは将棋クエストにおけるレーティングと平均損失のグラフから線形近似を行うことで近似直線を求める。この近似直線を用いて、平均損失からレーティングを算出する式を求める。

3.3.2 方法

将棋クエストの 10 分切れ負けにおけるプレイヤーの棋譜 31398 局を対象とした。

レーティングが 1100 から 1999 までのプレイヤーを対象とし、レーティングを 100 刻みにグループ分けした。それぞれのグループにおける分析局面全てを用いて、平均損失を算出した。

3.3.3 結果

それぞれのグループにおける平均損失は以下に示される。実線はデータ点を通るグラフであり、破線は近似直線である。

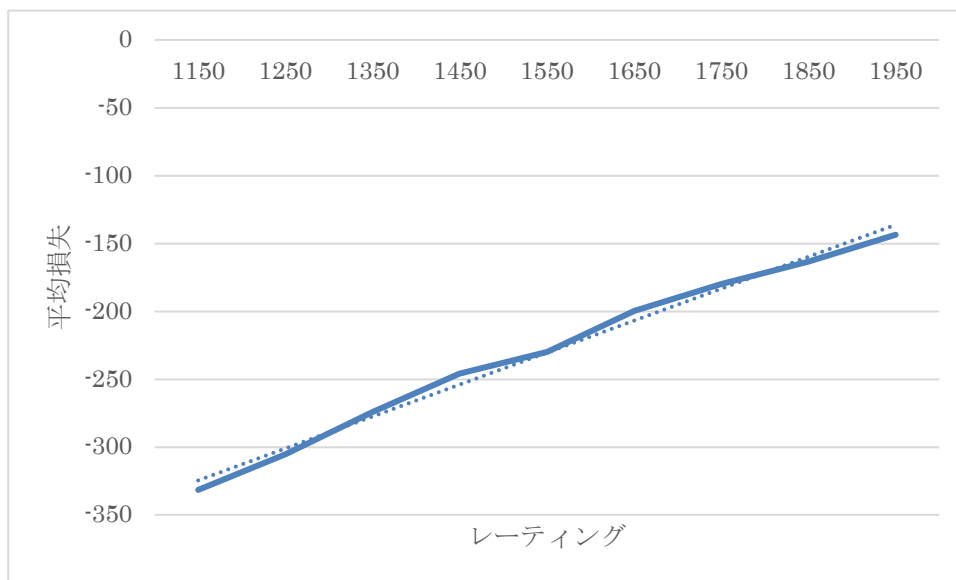


図 3.3 将棋クエストにおけるレーティングと平均損失

31398 局の棋譜から算出した相関係数は 0.9959 となり，非常に高い相関を示した．この結果から，近似直線のグラフは式(5)のように求められた．

$$(\text{平均損失}) = (\text{レーティング}) \times 0.23549 - 595.5 \quad (5)$$

よって，レーティングは式(6)から平均損失を用いることで算出できる．

$$(\text{レーティング}) = (\text{平均損失}) \times 4.2464 + 2529 \quad (6)$$

3.3.4 考察

将棋クエストにおいて，レーティング 1100 から 1999 のプレイヤーにおいて，レーティングは，平均損失とおおよそ 1 次関数の関係にあることが示せた．

平均損失が 0 において，上述の式(3)から将棋クエストにおけるレーティングが 2529 に相当すると算出される．つまり，分析で用いている技巧のバージョン 2.0.2 を深さ 10 で探索させると，将棋クエストのレーティング 2529 のプレイヤーに相当する棋力になることが推定される．

3.4 平均損失からレーティングの推定

3.4.1 目的

3.3 節の結果から平均損失からレーティングを算出する計算式が求まった。そこで、本節ではこの推定式を用いることで、実際にレーティングの推定が可能であることを確認する。また、推定に必要な分析局面数も調べる。

3.4.2 方法

将棋クエストで自身のレーティングが既知のプレイヤーを用いて、全ての分析局面から平均損失を算出し、レーティングを式(6)推定した。この結果をプレイヤーの最新のレーティングと比較した。

3.4.3 結果

実際のレーティングと分析局面数, 平均損失, 推定されたレーティングを以下の表に示す。

表 3.2 プレイヤーのレーティングと推定結果

プレイヤー	実際のレーティング	分析局面数	平均損失	推定されたレーティング
a	1399	7	-219.7	1595
b	1439	13	-297.3	1266
c	1478	11	-317.7	1179
d	1193	17	-274.7	1362
e	1405	32	-328.0	1135
f	1624	106	-196.4	1695
g	1870	57	-189.2	1725
H	1096	13	-337.6	1094

3.4.4 考察

分析局面数が 40 未満のプレイヤーは、レーティング推定値の誤差が 300 近くあるものもあり、精度が低くなることが確認された。

3.5 分析局面数によるレーティング推定値の誤差の推移

3.5.1 目的

分析局面数による、レーティング推定値の誤差を確認する。これから将棋クエストにおけるレーティングの推定に必要なと考えられる分析局面数を決定する。

3.5.2 方法

3.3 節において分析局面が一番多く取れたプレイヤー f を用いて、分析局面数とレーティング推定値の誤差の関係を調べる。

3.5.3 結果

プレイヤー f の分析局面数とレーティング推定値の誤差の関係を示したものが、図 3.4 である。

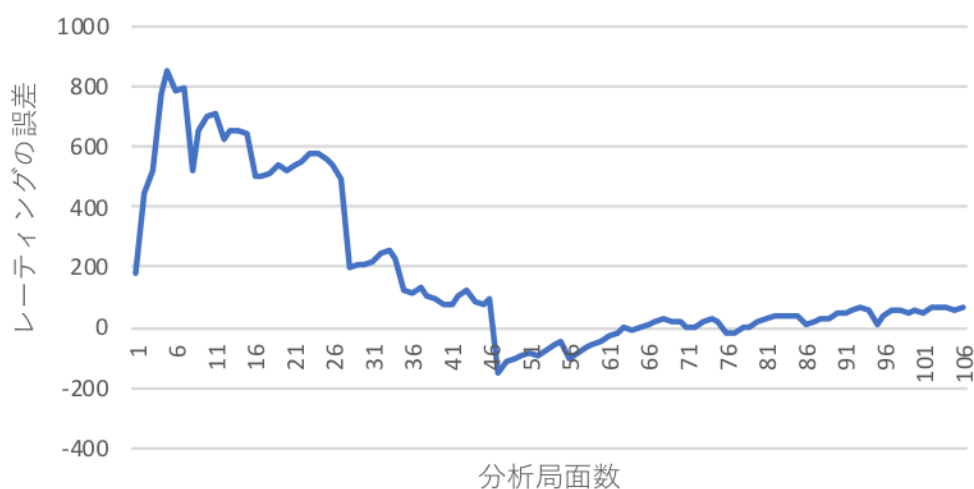


図 3.4 プレイヤ f の分析局面数とレーティング推定値の誤差

分析局面数が 50 を超えると、誤差が収束してくる様子が見られた。また、その時の誤差は ± 100 程度以内に収まっている。

3.5.4 考察

この結果から、将棋クエストにおいてレーティングの推定を ± 100 程度以内の誤差で推定するためには、分析局面は 50 局面ほど必要であることが示唆される。

3.6 プレイヤ同士の対局における 1 局あたりの分析局面数

3.6.1 目的

将棋クエストの 10 分切れ負けにおけるレーティングの推定に必要な分析局面数を決定する。1 局分の棋譜にどの程度の分析局面が含まれるのか検証する。さらにレーティングの推定には、将棋クエストの棋譜が何局程度必要であるのか検証する。

3.6.2 方法

将棋クエストの10分切れ負けにおけるプレイヤーの棋譜4000局を対象とした。

評価値の閾値を100刻みに100から1000まで条件を変えた。このとき、1局あたり平均で分析局面がいくつ含まれるのか算出した。

3.6.3 結果

評価値に閾値に対する1局あたりに含まれる分析局面数の関係は以下の図3.5のように示される。

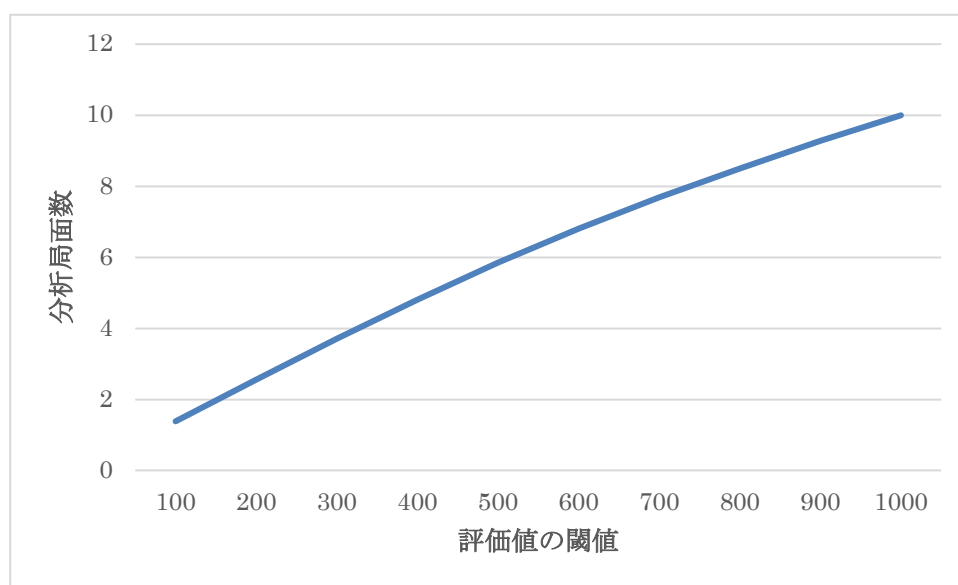


図 3.5 1局あたりに含まれる分析局面数

分析局面数は評価値の閾値におおよそ比例することがわかった。このグラフから、評価値の閾値を200としたとき、1局あたりに含まれる分析局面数は約2.5局面であることが読み取れる。

3.6.4 考察

この結果から、評価値の閾値を200とし、分析局面を50局面用意するためには、将棋クエスト上で通常のプレイヤーとおおよそ20局対戦した棋譜を用意する必要があることが分かる。当初の50局よりは少なくなったが、まだ十分な少なさであるとは言えない。

3.7 提案システムとの対局における 1 局あたりの分析局面数

3.7.1 目的

一局の対局から効率よく接戦の局面を取り出すためには、接戦を演出してやる必要がある。そこで本研究では、仲道らの接待将棋 AI [10] を用いて、1 局あたりの分析局面を増やす手法を試みる。この接待将棋 AI を用いることで、どの程度少ない対局数でレーティングの推定が可能となるのかを検証する。

3.7.2 方法

本研究では、棋譜の分析に用いた技巧のバージョン 2.0.2 をベースに仲道が提案する接待将棋 AI を作成した。探索の深さは上限を 100 とした。さらに評価値に関わらず、投了しないこととした。AI の指し手に変化を持たせるために、定跡を用いない AI1 と、最長で 20 手まで定跡を用いる AI2 の 2 種類の AI を用意した。

これを用いて、将棋クエストのレーティングが 1873 であるプレイヤーに対局させる。持ち時間は将棋クエストと同じ 10 分切負けとした。それぞれの AI と先後 2 局、計 4 局対局させた。

3.1 節の結果から評価値の閾値は 200 とした。さらに切れ負けの対局では、持ち時間が少なくなると焦りから本人の実力通りの手が選びにくくなる可能性があるため、持ち時間が 1 分を切っている手は分析局面から除外することにした。

3.7.3 結果

それぞれの接待将棋 AI との対局における分析局面数は以下の表に示される。

表 3.3 接待将棋 AI との対局における分析局面数

対局相手	AI1		AI2	
	先手番	後手番	先手番	後手番
分析局面数	15	28	11	24

3.7.4 考察

4 局合計で分析局面が 78 局面取れた。レーティングの推定のためには 50 局面が必要であるとされるため、3～4 局程度で必要な局面が得られることが示唆される。そこで 4 章の実験では 4 局の対局からレーティングの推定を行う。

第4章 提案手法

本章では、提案手法と実験の流れ、棋譜の分析方法について述べる。

4.1 節では、3 章を踏まえて本研究で用いる接待将棋 AI について述べる。4.2 節では実験の流れについて述べる。4.3 節では、実験から生成した棋譜の分析手法について述べる。

4.1 棋力推定手法

4.1.1 予備実験まとめ

予備実験から評価値の閾値を小さくすることで、より少ない分析局面から棋力の推定が可能となる可能性が示された。レーティングの推定のためには、評価値の閾値を 200 として分析局面が 50 局面程度必要であることが示唆された。しかし、将棋クエストにおける通常のプレイヤー同士の対局においては 1 局の棋譜から分析局面が 2.5 局面程度しか得られず、レーティングの推定に 20 局分もの棋譜が必要とされることもわかってきた。

そこで本研究では、評価値が 0 に近い手を選ぶ接待将棋 AI を用いることで、接戦を演出し、少ない対局からより多くの分析に適した局面を得る手法を提案する。3.6 節の結果から、接待将棋 AI との対局における分析局面数を調べたところ、1 局あたり 19.5 局面もの分析局面が取れる可能性が示唆された。この結果から、接待将棋 AI を用いれば、3~4 局程度の対局からレーティングの推定が可能となることが示唆された。そこで本研究では接待将棋 AI を用いる、レーティング推定手法を提案する。

4.1.2 レーティング推定手法

本研究では、仲道らの接待将棋 AI の手法に倣って[10]、新たに接待将棋 AI を構築する。本研究では、棋力推定に技巧のバージョン 2.0.2 を用いているため、同じ技巧をベースに接待将棋 AI を開発することにした。

接待将棋 AI では 2.3 節の式(1)を評価値として適用する。

$$V_0(M) \begin{cases} -V(M), V(M) \geq 0 \\ V(M), V(M) \leq 0 \end{cases} \quad \text{再掲(1)}$$

式(1)では評価値 $V(M)$ が 0 以上のとき評価値に-1 をかけ、評価値 $V(M)$ が 0 未満のときは評価値をそのまま用いる。これにより、評価値は常に 0 以下となり、ミニマックス探索で最善手を選ぶと接待将棋 AI は評価値 $V(M)$ として 0 に近い手が選ばれる。

棋力推定は、この接待将棋 AI を用いて、以下の図 4.1 の手順で行われる。

まず、接待将棋 AI と 4 局程度対戦し、評価 AI である技巧を用いて評価値 200 以内の局面を棋譜の中から抽出する。そして、抽出した局面から平均損失を計算し、3.3.3 節で示した式(6)を用いてレーティングを算出する。

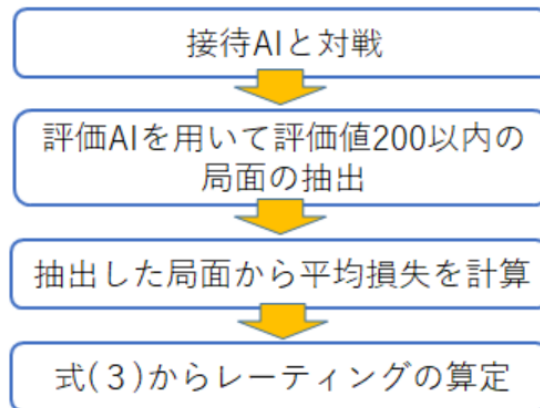


図 4.1 レーティング推定手順

4.2 評価実験の手順

4.2.1 事前対局

本研究では、被験者のレーティングを基準に、レーティングの推定精度を評価する。そのため、将棋クエストのアカウントを持っていない被験者には、レーティングが収束するまで将棋クエストの10分切れ負けをプレイさせる必要がある。レーティングが安定するには50局程度が必要とされている[9]ため、レーティングが安定するまで50局を目安として対局させた。「レーティングが安定する」とは、最新のレーティングが直近10局の対局時におけるレーティングとの誤差が20以内に収まったことを指す。

また、しばらく将棋クエストでの対局がない被験者についても、将棋クエストをプレイさせ、現在のレーティングを安定させるように教示した。

4.2.2 実験手順

3.6節の実験結果を受けて、被験者には接待将棋AIとの対局を4局させる。実験手順は以下のようになる。

1. 対局における注意事項の説明
2. 練習対局で操作に慣れさせる
3. 先手番でAI1と対局
4. 後手番でAI1と対局
5. 先手番でAI2と対局
6. 後手番でAI2と対局

各対局間に、必要があれば5分の休憩を設けた。

4.2.3 実験環境

接待将棋 AI は以下の機材において動作させる。

- ノートパソコン

(プロセッサ 1.3GHz Intel Core i5, メモリ 8GB 1867 MHz LPDDR3)

- 対局用 GUI

MacBook において動作する「将棋ぶらうぎ Q」 [14] という GUI を用いる。対局時の画面を図 4.2 に示す。

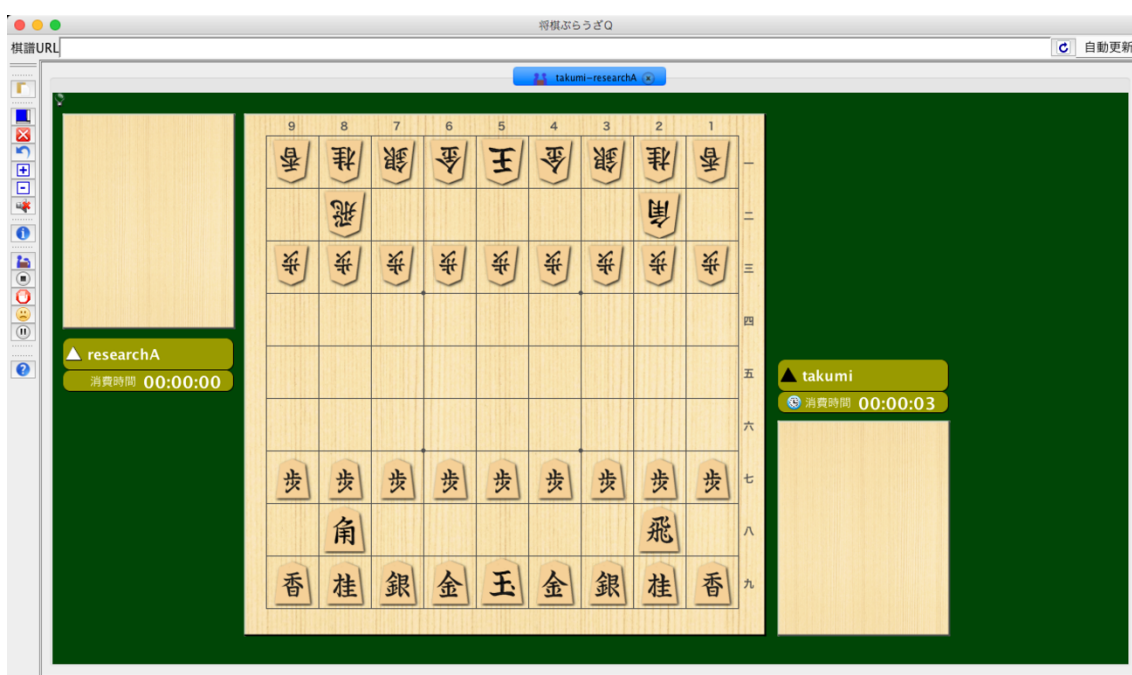


図 4.2 将棋ぶらうぎ Q の対局面面

4.2.4 実験参加者

本実験は、将棋を指したことがある 10 名に協力を依頼した。幅広いレーティングにおいて棋力推定が可能であることを検証するため、将棋級位者から段位者まで幅広い棋力の被験者を集めた。

被験者の将棋クエストにおける 10 分切れ負けのレーティングを表 4.1 に示す。

表 4.1 被験者のレーティング

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
レーティング	1455	856	1267	1398	2157	1973	2134	1850	2199	1844

被験者 9 については、対局に制限がかかった。将棋クエストはソフト指しの防止として「10 分切れ負け、1 手 30 秒、5 分切れ負けの各モードでのレーティングが 2200 点以上になると、2 分切れ負けでのレーティング要件を満たさないとプレーできなくなります。」とされている [9]。そのため、被験者 9 のレーティングについて、本来は表 4.1 よりも高い値である可能性がある。

4.2.5 レーティング推定

棋譜の分析には技巧のバージョン 2.0.2 を用いる。探索の深さは 10 に固定した。分析対象とする局面は着手後の評価値が Mate 以外とした。評価値の閾値を 200 として、平均損失を算出する。ここで得られた平均損失を、3.3.3 節で得られた式 (6) に代入することで、レーティングを算出して、棋力推定を行う。

第5章 評価実験

本章においては、4.2節で述べた手法を用いて、実際にどの程度の精度でレーティングが推定できるのかを評価する。また、「対局の進行度」「序盤の除外すべき手数」と棋力の推定精度の関係についても検証する。

5.1節においては持ち時間の考慮や序盤40手の除外した場合について推定精度を検証する。5.2節においてはレーティングの推定に有効な局面は、序盤、中盤、終盤のどれなのか検証する。5.3節においては分析局面の条件に「対局の進行度」を加え、推定精度を評価する。5.4節においては「対局の進行度」の低いものから優先して、指定局面数の分析局面を対象としてレーティングの推定を行ったときの推定精度の評価を行う。5.5節においては序盤の分析局面から除外する手数の制限を変えて、推定精度の評価を行う。

5.1 推定精度の評価

5.1.1 目的

4章で提案する棋力推定手法を用いて、被験者のレーティングの推定を行う。また、被験者の持ち時間が1分を切っている着手について分析局面とすべきか、序盤40手は分析局面とすべきかどうかを評価する。

5.1.2 方法

4.2節で説明した実験手順で、接待将棋AIとの4局の対局の棋譜から、平均損失を算出する。分析局面の条件として、評価値の閾値を200とした。平均損失からレーティングを推定し、実際のレーティングと比較する。推定精度の評価には平均二乗誤差平方根を用いる。

持ち時間の残りが1分を切っている着手について分析局面とすべきか、序盤40手の着手を分析局面とすべきかどうか、それぞれの推定結果から平均二乗誤差平方根を算出して評価する。序盤40手を分析局面とする場合、AIの定跡から外れたところから評価の対象とする。

A, Bは序盤40手を分析局面から除外した結果であり、C, DはAIの定跡から外れたところから分析局面とした結果である。また、A, Cは持ち時間が1分を切った着手も分析局面とするもの、B, Dは持ち時間が1分を切った着手を分析局面から除外した結果である。

5.1.3 結果

それぞれの条件下における推定結果と平均二乗誤差平方根は以下の表に示される。

表 5.1 被験者のレーティングの推定結果と平均二乗誤差平方根

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均二乗誤差平方根
A	1530	795	1458	1742	1840	1844	2129	1881	1976	1980	187
B	1484	1028	1412	1824	2143	1879	2175	1921	2072	1977	168
C	1604	1097	1748	1935	2001	1978	2207	2101	2112	2111	277
D	1572	1226	1757	1991	2196	2009	2238	2170	2193	2115	305

また、それぞれにおける分析局面数は以下の表となった。

表 5.2 被験者の分析局面数

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	56	36	56	46	57	93	73	69	98	54
B	55	33	46	41	41	87	68	49	74	50
C	78	70	92	82	93	132	117	114	151	103
D	77	66	82	77	77	126	112	94	127	99

序盤 40 手と残りの持ち時間 1 分未満の着手を分析局面から除外した B が最も推定精度が高い結果となった。

5.1.4 考察

持ち時間 1 分未満の着手を分析局面から除外した結果が良いことから、切れ負けの対局において、持ち時間が少なくなると、着手に影響が出ていることが分かる。

また、序盤 40 手を除外することで推定精度が上がった原因として、Guid が言及していた、「序盤は実力よりも好みに左右される」[11]が考えられる。

レーティング推定値は序盤 40 手を除外する A, B よりも序盤 40 手を除外しない C, D が高い値となっている。これは、序盤において評価値の変動が小さく、大きなミスを犯しづらいため、序盤の分析局面数が増え、平均損失の値が大きくなっていると考えられる。また、持ち時間 1 分以下の着手も分析局面とする A, C よりも持ち時間 1 分以下の着手を分析局面から除外する B, D の方が、レーティング推定値が高い値となった。これは、終盤の持ち時間が少ない局面においては、早指しを行うことにより、実際の実力より低い着手が選ばれるためであると考えられる。

5.2 対局の進行度による推定誤差

5.2.1 目的

対局の序盤，中盤，終盤のうち，どれが棋力推定に効果的な局面なのか検証する。

5.2.2 方法

被験者 10 名の合計 40 局分の棋譜を分析対象とする。分析局面の条件は以下のように設定した。

- (1) 評価値の閾値は 200.
- (2) 40 手目以降.
- (3) 持ち時間の残りが 1 分以上.

平均損失からレーティング算出し，実際のレーティングと比較する。推定精度の評価には平均二乗誤差平方根を用いる。

分析局面を対局の進み具合で分類するために，「対局の進行度」を定義する。「対局の進行度」は以下のように百分率で算出する。

$$(\text{対局の進行度}) = (\text{分析局面の手数}) / (\text{対局の終局手数}) * 100$$

対局の進行度を 20 から 100 まで 10 刻みに分類し，平均二乗誤差を算出した。

5.2.3 結果

対局の進行度によるレーティング推定値の平均二乗誤差平方根と分析局面数は以下に示される。折れ線グラフが平均二乗誤差平方根，棒グラフが分析局面数である。対局の進行度 20%以下においては，分析局面が取れなかったため，グラフから除外した。

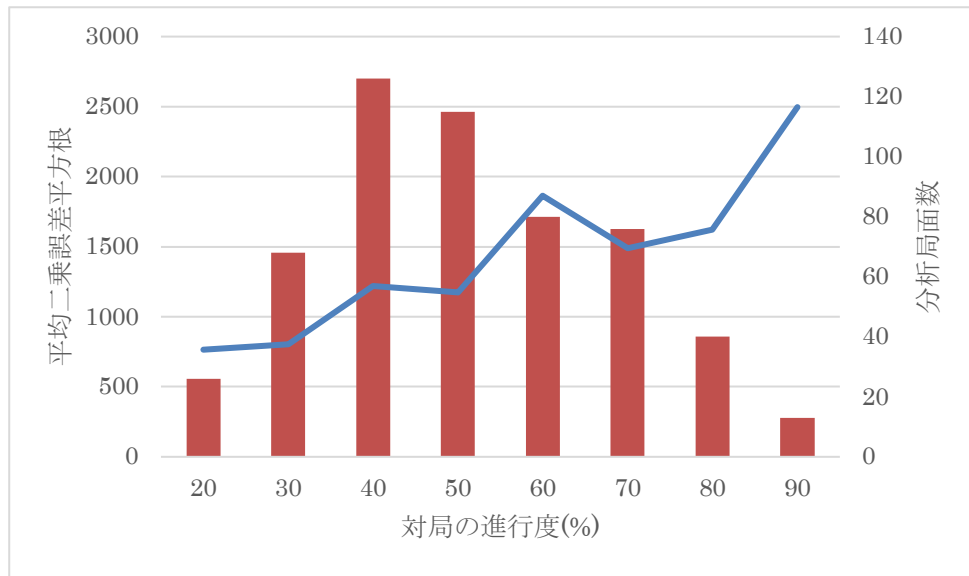


図 5.1 対局の進行度におけるレーティング推定値の平均二乗誤差平方根

レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は右肩上がりとなった。つまり、序盤から終盤にかけて、推定精度が下がっていくことが分かる。

5.2.4 考察

終盤になるにつれて推定精度が下がる要因の一つとして、持ち時間に対する意識が考えられる。終盤に近くにつれて、残りの持ち時間少なくなり、切れ負けにならないように意識するであろうと推測できる。実際に被験者 10 は 1 局目の対局の進行度 51 (57/112) において「やばい、時間が迫ってきた。」や、対局の進行度 62 (69/112) において「時間がない。なんとなくでやる。」と時間を気にする発言があった。また、4 局目の対局の進行度 69 (66/96) においても、「あー、考えすぎている。時間を気にしていなかった。」と発言している。

対局の進行度が少ないほど推定精度が高いことから、分析局面を対局の進行度が低いところから抽出して推定することにより、推定精度が上がるのではと推測できる。

5.3 対局の進行度による推定精度

5.3.1 目的

分析局面の条件に対局の進行度を追加して、5.1 節より高い推定結果が求まるか検証する。

5.3.2 方法

接待将棋 AI との 4 局の対局の棋譜から、平均損失を算出する。分析局面の条件は以下のように設定した。

- (1) 評価値の閾値は 200.
- (2) 40 手目以降.
- (3) 持ち時間の残りが 1 分以上.

さらに分析局面の条件に対局の進行度の上限を追加した. これを 10 から 100 まで 10 刻みに推定結果を算出した.

平均損失からレーティング算出し, 実際のレーティングと比較する. 推定精度の評価には平均二乗誤差平方根を用いる.

5.3.3 結果

対局の進行度による各被験者のレーティングの推定結果は以下の表に示される. 斜線部分は分析局面が取れなかったため, 推定結果がない.

表 5.3 対局の進行度の上限を追加したときのレーティング推定値

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
評価値の閾値の上限	100	1484	1028	1412	1824	2143	1879	2175	1921	2072	1977
	90	1484	1017	1601	1824	2143	1894	2153	1895	2072	1955
	80	1504	1125	1681	1804	2140	1911	2092	1852	2123	1905
	70	1475	1263	1590	1770	2190	1912	2050	1831	2122	1850
	60	1468	1179	1588	1708	1839	1934	2173	1910	2150	2067
	50	1458	1023	1671	2390	1891	1976	2336	1791	2221	2083
	40	1058	2172		2282	1911	2090	1968	2349	2148	2558
	30	589				176	2005	2675		2280	
	20										
	10										

レーティング推定値の誤差は以下の結果となった.

表 5.4 対局の進行度の上限を追加したときのレーティング推定値の誤差

被験者		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
評価値の 閾値の 上限	100	29	172	145	426	-14	-94	41	71	-127	133
	90	29	161	334	426	-14	-79	19	45	-127	111
	80	49	269	414	406	-17	-62	-42	2	-76	61
	70	20	407	323	372	33	-61	-84	-19	-77	6
	60	13	323	321	310	-318	-39	39	60	-49	223
	50	3	167	404	992	-266	3	202	-59	22	239
	40	-397	1316		884	-246	117	-166	499	-51	714
	30	-866				-1981	32	541		81	
	20										
	10										

評価値の上限が 50 以上について、レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は以下に示される。

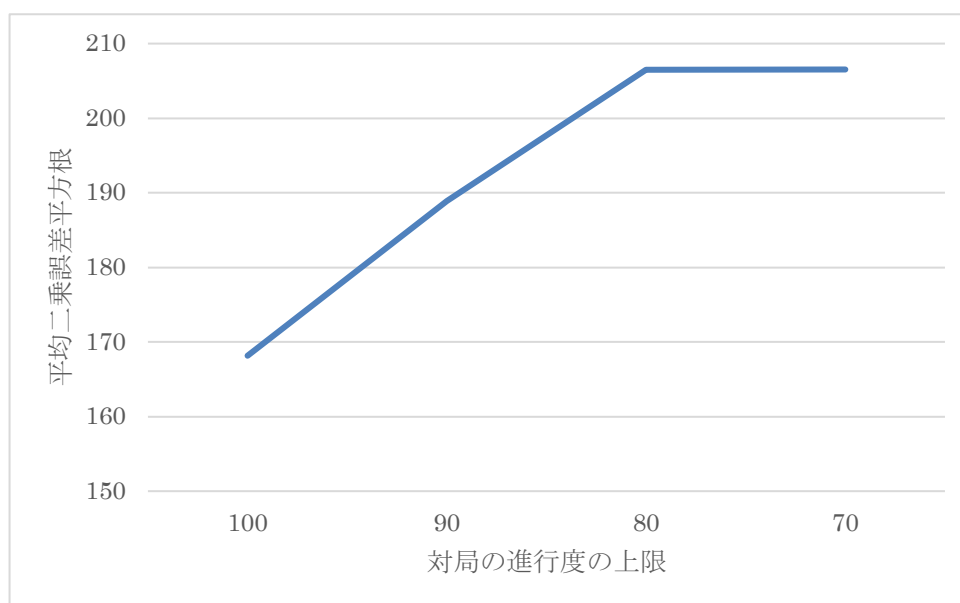


図 5.2 対局の進行度の上限を追加したときのレーティング推定値の平均二乗誤差平方根

評価値の閾値の上限が高いほど、レーティングの推定精度が高い結果となった。これは、プレイヤーによっては分析局面数が足りなくなっていることが原因として考えられる。そこで、それぞれの評価値の閾値の上限のときの各プレイヤーの分析局面数を以下の表にまとめる。

表 5.5 対局の進行度の上限を追加したときの分析局面数

被験者		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
評価値の閾値の上限	100	55	33	46	41	41	87	68	49	74	50
	90	55	31	45	41	41	86	64	47	74	47
	80	54	25	41	34	40	81	57	44	73	42
	70	41	20	35	29	38	69	44	38	68	33
	60	38	14	23	24	36	58	35	30	55	22
	50	22	7	10	12	24	50	23	21	39	12
	40	10	2	0	1	10	30	10	8	21	2
	30	3	0	0	0	1	15	2	0	5	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.3.4 考察

評価値の閾値の上限を 100 としたときの推定精度が最も高い結果となった。つまり、5.1 節の B の結果から推定精度を高くすることはできなかった。

評価値の閾値の上限を 100 から 90 に下げたとき、レーティング推定値の誤差が増えているのは被験者 3 のみである。評価値の閾値の上限を 90 としたとき、被験者 3 の分析局面数は 45 であり、50 局面に満たないため推定精度が下がっていると考えられる。

そこで、対局の進行度の低い局面を優先して指定された数の分析局面を抽出し、推定に用いることにより、より推定精度を高くできるのではと考える。

5.4 対局の進行度の低い指定局面数による推定精度

5.4.1 目的

対局の進行度の低い局面を優先して、指定された数の分析局面を抽出し、レーティングの推定を行ったとき、5.1 節の B の結果よりも高い精度の推定結果が得られるのか検証する。

5.4.2 方法

接待将棋 AI との 4 局の対局の棋譜から、平均損失を算出する。分析局面の条件以下のよう設定した。

- (1) 評価値の閾値は 200.
- (2) 40 手目以降.
- (3) 持ち時間の残りが 1 分以上.

対局の進行度の低い局面を優先して、指定された数の局面を抽出する。局面数は 5 から 100 まで 5 刻みに集計した。平均損失からレーティング算出し、実際のレーティングと比較する。推定精度の評価には平均二乗誤差平方根を用いる。

5.4.3 結果

対局の進行度の低い局面から、指定された数の分析局面を抽出したときのレーティング推定値は以下に示される。分析局面数が指定数に満たない場合は、全ての分析局面から推定した結果のレーティングが入る。

表 5.6 対局の進行度の低い指定局面数から推定したレーティング

被験者		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分析局面数	5	939	640	1505	2524	1772	1999	1927	2495	2280	1693
	10	1058	1437	1671	2256	1911	1980	1968	2337	2243	2005
	15	1236	1274	1764	2367	1777	2005	2043	1997	2179	2052
	20	1368	1263	1735	2218	1926	2103	2158	1769	2147	2044
	25	1545	1125	1515	1746	1908	2183	2300	1785	2167	2037
	30	1423	1159	1670	1702	1893	2090	2292	1910	2166	2019
	35	1522	1028	1590	1817	1886	2061	2173	1839	2213	1889
	40	1456	1028	1646	1824	2140	2051	2151	1858	2225	1892
	45	1308	1028	1601	1824	2143	2056	2063	1867	2225	1944
	50	1420	1028	1412	1824	2143	1976	2103	1921	2172	1977
	55	1484	1028	1412	1824	2143	1962	2088	1921	2150	1977
	60	1484	1028	1412	1824	2143	1943	2117	1921	2129	1977
	65	1484	1028	1412	1824	2143	1923	2159	1921	2132	1977
	70	1484	1028	1412	1824	2143	1902	2175	1921	2134	1977
	75	1484	1028	1412	1824	2143	1884	2175	1921	2072	1977
	80	1484	1028	1412	1824	2143	1886	2175	1921	2072	1977
	85	1484	1028	1412	1824	2143	1883	2175	1921	2072	1977
	90	1484	1028	1412	1824	2143	1879	2175	1921	2072	1977
	95	1484	1028	1412	1824	2143	1879	2175	1921	2072	1977
	100	1484	1028	1412	1824	2143	1879	2175	1921	2072	1977

レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は以下に示される。

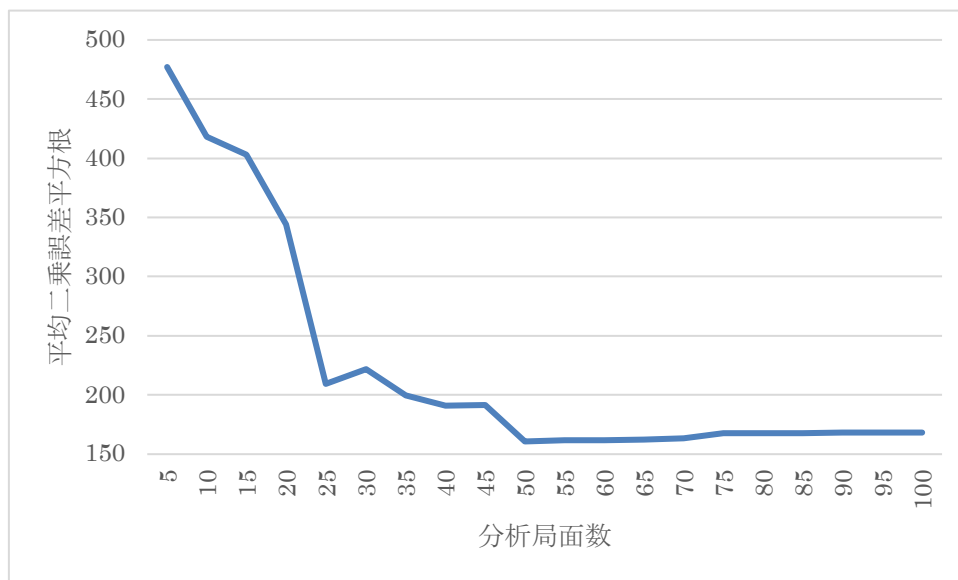


図 5.3 対局の進行度の低い指定局面数から推定したレーティングの平均二乗誤差平方根

分析局面数を 50 としたとき、レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は最小値の 161 となった。

5.4.4 考察

分析局面数 50 のときに最も推定精度が高くなる要因として、3.4 節の「分析局面が 50 局面以上」を満たし、かつ 5.2 節の「対局の進行度の低い局面を対象とする」を最も満たすためであると考えられる。

5.5 序盤の除外手数による推定精度

5.5.1 目的

山下は序盤 40 手について、分析局面から除外した。序盤を除外する必要があるのか、この値の妥当性について検証する。

5.5.2 方法

接待将棋 AI との 4 局の対局の棋譜から、平均損失を算出する。分析局面の条件以下のよう設定した。

- (1) 評価値の閾値は 200.
- (2) 持ち時間の残りが 1 分以上.

序盤の除外する手数を変化させて、それぞれの場合における推定精度を評価した。除外する手数は0から80まで4刻みに集計した。解析した技巧における定跡部分は分析局面から除外した。

平均損失からレーティング算出し、実際のレーティングと比較する。推定精度の評価には平均二乗誤差平方根を用いる。

5.5.3 結果

序盤の指定手数を分析局面から除外したときの、それぞれの被験者のレーティングの推定結果は以下に示される。

表 5.7 序盤の指定手数を除外したときのレーティング推定値

被験者		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分 析 局 面 数	0	1572	1226	1757	1991	2196	2009	2238	2170	2193	2115
	4	1572	1226	1757	1991	2196	2009	2238	2170	2193	2115
	8	1572	1226	1757	1991	2196	2009	2238	2170	2190	2115
	12	1541	1162	1757	1979	2196	2003	2235	2156	2169	2099
	16	1549	1037	1746	1974	2196	1993	2238	2144	2153	2066
	20	1549	972	1715	1952	2201	1969	2227	2135	2148	2024
	24	1528	919	1657	1915	2204	1954	2218	2116	2131	1990
	28	1543	948	1600	1902	2201	1953	2202	2086	2120	1974
	32	1519	971	1518	1858	2191	1941	2179	2030	2100	1971
	36	1518	1098	1496	1846	2158	1936	2179	2004	2087	1950
	40	1484	1028	1412	1824	2143	1879	2175	1921	2072	1977
	44	1588	955	1412	1756	2160	1868	2181	1885	2056	1900
	48	1604	1116	1379	1851	2209	1861	2126	1888	2044	1937
	52	1599	1030	1273	1760	2249	1802	2122	2012	2065	1861
	56	1612	958	1200	1733	2359	1775	2124	1925	2059	1847
	60	1593	764	1106	1795	2569	1807	2181	1871	2064	1824
	64	1623	1036	866	1689	2549	1794	2198	1884	2031	1726
68	1576	932	938	1744	2845	1781	2223	1998	1997	1907	
72	1504	557	701	1888	1357	1769	2298	1877	1950	1881	
76	1571	927	245	2115	1357	1779	2279	1845	1916	1272	
80	1537	946	-2162	1930	1357	1759	2202	1386	1950	2543	

レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は以下に示される。

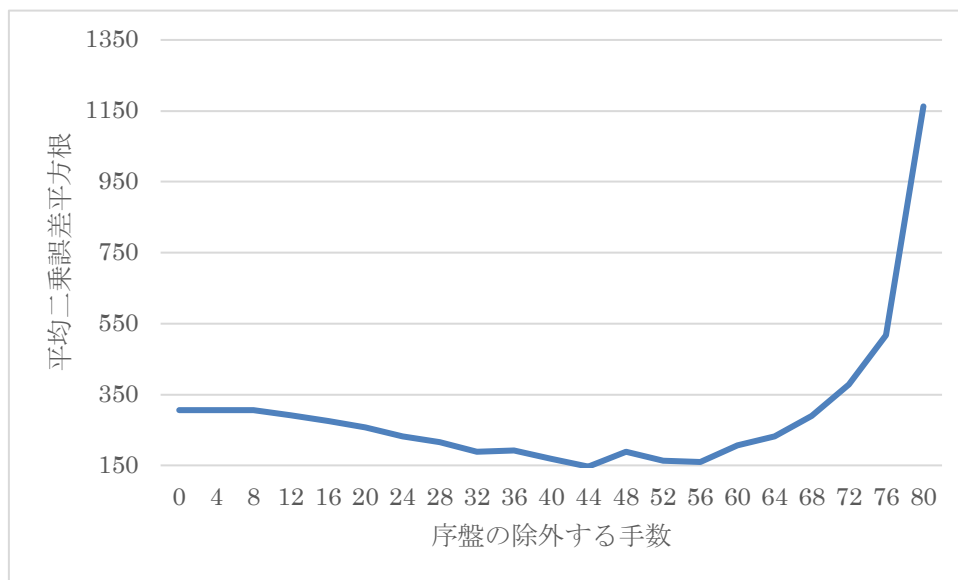


図 5.4 序盤の指定手数を除外したときのレーティング推定値の平均二乗誤差平方根

除外する手数を 44 としたとき、レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は最小値の 146 となった。

また、これは式(6)を算出したときの、条件が「序盤 40 手を除外」となっているため、除外する手数が 40 手程度のものにおいて高い推定精度が出ているのではと考えられる。この場合、レーティング推定値が一律で線形変換されていると推測される。そこで、実際のレーティングとレーティング推定値の相関係数を算出した。

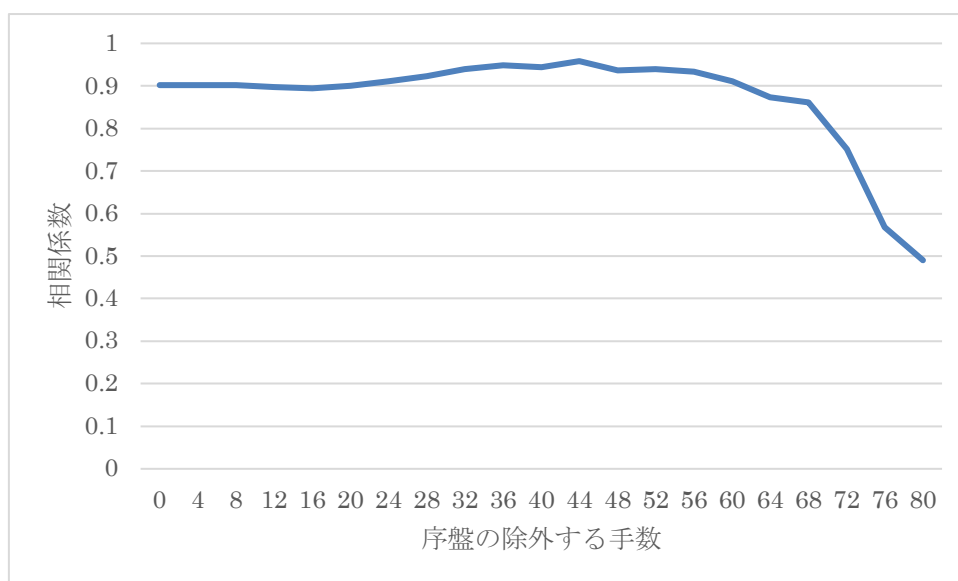


図 5.5 指定手数を除外したときのレーティング推定値と実際のレーティングの相関係数

実際のレーティングとレーティング推定値の相関係数においても，除外する手数が 44 手のとき，最高値の 0.96 を取った。

また，それぞれの対局における技巧の定跡手数は以下に示される。

表 5.8 技巧の定跡手数

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	
1 局目	4	4	11	7	18	11	10	7	4	5	8.1	8.1
2 局目	6	5	15	8	16	8	8	6	3	6	8.1	
3 局目	9	7	18	8	18	8	16	18	4	8	11.4	12.7
4 局目	17	9	19	7	19	19	19	15	11	5	14.0	
平均	9.0	6.3	15.8	7.5	17.8	11.5	13.3	11.5	5.5	6.0	10.4	

5.5.4 考察

Guid が言及していた「序盤は実力よりも，好みによって手が選ばれる。」が検証された。AI の定跡手数は 10 手程度であり，手数の長いもので 20 手を超えることはなかった。よって，定跡から外れても序盤 44 手程度は，レーティングに関係なく着手されており，これは好みによる着手であると考えられる。

序盤の除外する手数を 40 から 56 としたときのみ，レーティング推定値の平均二乗誤差平方根は 200 を下回った。よって山下の設定した 40 手[12]は比較的妥当な値であったと考えられる。

第6章 結論

6.1 本研究のまとめ

本研究では、まず将棋クエストの棋譜からレーティングと平均損失の相関関係を調べた。その結果、評価値の閾値をうまく調整することで、比較的高い (0.75 以上) 相関が得られることを確認した。これにより、先行研究の山下が用いていた好手率、悪手率、一致率を用いなくても、平均損失のみからレーティングの推定がある程度可能であると判断した。具体的には、評価値の閾値を 200 としたとき、50 局面の分析局面から ± 200 程度の誤差でレーティングの推定が可能であることを確認した。さらに、レーティング 1100 から 1999 の将棋クエストの 3 万局以上の棋譜に対して、レーティング 100 刻みのグループについて、レーティングと平均損失の関係をグラフにして、相関係数を調べたところ、0.9 以上の非常に高い相関を示した。このグラフを線形近似することで、平均損失からレーティングを推定する式を求めた。

その上で、なるべく少ない棋譜から将棋クエストにおけるレーティングを推定する手法について検討した。

将棋クエストで普通に対局するだけでは、評価値の閾値が 200 以内となる局面を 50 局面得るためには 20 局程度の対局が必要であることを確認した。効率よく評価値の低い局面を得るために接待将棋 AI との対局を用いてレーティングを推定する以下の手法を提案した。

まず、平均損失を計算するために用いる「技巧」をベースに接待将棋 AI を開発し、この接待将棋 AI と対局させることで効率的に評価値の低い局面を多く含む棋譜の生成を試みる。そして実際にこの接待将棋 AI と対戦することで、1 局あたりの分析に使える局面数を増やせることを示し、これによって 3, 4 局の棋譜から 50 局面程度の分析局面数を取得し、この分析局面から平均損失を求めて、上述の式を用いてレーティングを推定するという手法である。

この提案手法の推定精度を評価するために、評価実験を行った。級位者から段位者までの被験者 10 名に、接待将棋 AI と 4 局対局させた。これによって得られた棋譜から技巧で解析し、着手前の評価値の絶対値が 200 未満の分析局面を抽出した。分析局面から平均損失を算出し、レーティングの推定を行い、この推定結果と実際の将棋クエストにおけるレーティングと比較することでこの手法の性能を評価した。

本研究は 10 分切れ負けを対象としているため、持ち時間の配分が大切である。そこで、持ち時間の残りが 1 分を下回った場合の手を分析局面から除外すると、持ち時間を考慮しないものよりも高い推定精度となることがわかった。また、序盤に近い局面ほどレーティングの推定精度が高く、終局に近い局面ほど推定精度が低い結果となった。そこで、「対局の進行度」を定義し、これが小さい 50 局面の分析局面からレーティングを推定することによ

り最も推定精度の高い結果が得られた。さらに、序盤 44 手を分析局面から除外することにより、高い推定精度が得られることも確認した。

この手法により、最終的に平均二乗誤差平方根で 146 という非常に高い精度でレーティングの推定が可能であることを示した。

6.2 今後の展望

分析局面の条件を工夫することにより、さらに高い推定精度を目指したい。例えば盤面の情報から、持ち駒の数や玉の危険度などを活用することにより、より高い推定精度を期待できるのではと考えられる。

謝辞

本研究の遂行に当たり、主任指導教員として多大なご指導をいただいた伊藤毅志准教授に感謝を申し上げます。また、指導教員として本論文に的確な指導をしていただいた保木邦人准教授に感謝申し上げます。

将棋クエストから大量の棋譜を提供していただき、将棋クエストにおけるレーティングの仕組みについて詳しく教えていただいた主宰の棚瀬寧氏に深く御礼申し上げます。さらに、被験者実験にご協力頂いた多くの皆様にも、この場を借りて御礼申し上げます。

なお、本研究は JSPS 科研費 18H03347 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] “日本将棋連盟” .
<https://www.shogi.or.jp/match/denou/> , (参照 2019-01-25).
- [2] “情報処理学会” .
<http://www.ipsj.or.jp/50anv/shogi/20151011.html> , (参照 2019-01-25).
- [3] Silver, David, et al., "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search.", Nature, Vol. 529, No. 7587, pp.484-489, (2016).
- [4] Silver, David, et al., “Mastering the game of go without human knowledge,” Nature, Vol. 550, No. 7676, pp.354-359, (2017).
- [5] 望月正行, 景山充人, 桑門昌太郎 : 改訂新版 バックギャモンブック, 河出書房新社, (2017).
- [6] “将棋ウォーズ” .
<https://shogiwars.heroz.jp/> , (参照 2019-01-25).
- [7] “将棋クエストヘルプ” .
<http://wars.fm/shogi?lang=ja> , (参照 2019-01-25).
- [8] “Heroz” .
<https://heroz.co.jp/press-release/2017/07/27shogi/> , (参照 2019-01-25).
- [9] “将棋クエスト” .
http://wars.fm/ios_help_shogi-ja.html , (参照 2019-01-25).
- [10] 仲道隆史, 伊藤毅志 : プレイヤの技能に動的に合わせるシステムの提案と評価, 情報処理学会論文誌, 57(11), pp. 2426-2435 (2016).
- [11] Guid, M. and Bratko, I. COMPUTER ANALYSIS OF WORLD CHESS CHAMPIONS. ICGA Journal, Vol. 29, No. 2, pp. 65-73 (2006).
- [12] 山下宏 : 将棋名人のレーティングと棋譜分析, ゲームプログラミングワークショップ 2014 論文集 (2014).
- [13] “技巧” .
<https://github.com/gikou-official/Gikou> , (参照 2019-01-25).
- [14] “将棋ぶらうざQ” .
<https://www.sbrowser-q.com/> , (参照 2019-01-25).

付録

付録 A 被験者の実験データ

評価値の閾値 200 以内のものについて、手数と平均損失、累計消費時間(秒)のデータを掲載する。

被験者1

1局目

終局手数:117手

ply	meanloss	time
7	-215	5
9	-125	6
11	-64	7
13	-231	8
21	-90	15
23	-48	18
25	-126	30
27	-552	35
35	34	45
37	15	81
39	-48	84
41	-183	94
43	-1095	170
59	-12	261
61	-469	262
73	-589	311
81	-72	369
83	-360	378
85	83	416
87	27	461
89	18	466
93	-63	482
101	-499	504

2局目

終局手数:186手

ply	meanloss	time
8	-129	9
10	-68	10
12	-41	11
14	-159	12
24	-545	20
26	65	24
28	-39	26
30	-38	38
32	-496	51
44	-35	143
46	-598	151
62	-105	247
64	0	248
66	-256	251
70	-57	296
84	-148	369
86	-365	371
88	-262	384
90	27	386
92	-23	386
94	36	387
96	-1369	401
100	-3	419
102	-22	421
104	-168	422
132	21	496
134	54	500
138	-512	502
140	87	503
156	357	556

3局目

終局手数: 149手

ply	meanloss	time
15	-617	11
41	-737	199
51	-397	267
61	-669	326
65	54	328
69	-545	354
71	244	364
73	-57	373
75	-289	375
77	26	390
79	-244	391
81	-345	404
83	51	405
89	-728	422
99	-22	442
105	26	458
107	-2442	471
109	227	479
113	-24	485

4局目

終局手数: 123手

ply	meanloss	time
28	-291	234
50	24	328
52	-364	350
62	60	419
70	54	450
72	-523	453

被験者2

1局目

終局手数:72手

ply	meanloss	time
7	-305	6
11	-99	12
13	-155	15
15	-162	18
17	-116	26
19	-154	28
23	-45	35
25	-822	47
35	-1575	72
55	-522	178
57	111	183
59	201	185
63	-1358	207

2局目

終局手数:103手

ply	meanloss	time
8	3	21
10	-152	26
12	9	29
14	-250	30
22	-94	43
24	27	45
26	55	55
28	-262	67
30	-432	69
34	-640	102
50	-4	163
52	-274	193
54	125	194
56	-981	205
76	-41	265
78	-740	299
84	74	334
86	-148	343
88	-171	365
90	-1370	375
96	-732	398

3局目

終局手数: 107手

ply	meanloss	time
11	-51	15
13	-56	18
15	-22	21
33	-70	108
35	-226	186
45	-1790	264
51	-254	287
71	-41	399
73	-189	410
75	-1111	415
99	111	540
101	-818	551

4局目

終局手数: 113手

ply	meanloss	time
14	0	32
18	20	63
20	-100	71
22	-637	86
24	-702	91
26	-747	108
28	-966	115
30	-39	117
36	-19	150
38	-115	157
40	-112	183
42	-56	186
46	-51	200
48	-215	202
58	60	263
60	-563	283
64	103	338
66	-437	361
68	17	367
70	-45	426
72	-127	438
74	-1128	477
96	-312	569
98	-1907	576

被験者3

1局目

終局手数:98手

ply	meanloss	time
15	41	16
17	-10	19
19	25	24
21	0	26
23	-88	27
25	-112	45
27	-15	57
29	36	59
31	-124	67
37	-40	98
39	-66	107
41	71	148
47	-280	205
49	-67	208
57	26	261
59	14	271
61	-58	294
63	57	301
65	-510	356
79	-384	479
85	-703	533

2局目

終局手数:96手

ply	meanloss	time
18	0	28
20	-99	32
22	10	34
24	-58	36
26	-27	42
28	11	47
30	-87	73
32	-52	105
34	-299	113
40	-538	156
50	12	219
52	-234	264
54	-235	298
56	-263	315
62	-48	341
64	7	417
66	-1038	451
74	-435	485
78	-217	533
80	-1047	549
88	93	574
90	-919	585

3局目

終局手数:99手

ply	meanloss	time
21	-25	19
23	34	21
25	-19	24
27	-148	26
29	-80	30
31	19	34
33	-80	61
35	-76	75
37	-64	77
39	-37	78
41	-328	118
47	-56	147
49	16	203
51	-36	292
53	-222	294
55	22	307
57	-453	368
59	-408	370
63	78	399
65	-121	412
67	0	418
69	-135	430
71	-57	467
73	-2	469
75	-103	476
77	24	490
79	127	518
81	-344	539
87	40	579
89	-16	585
91	39	589
93	-99	592

4局目

終局手数:103手

ply	meanloss	time
24	-184	25
28	-194	32
32	-468	57
34	-173	59
36	-35	61
38	-307	84
44	-330	95
46	-80	97
48	-427	106
56	-202	166
58	-397	169
60	-684	174
64	-891	191
96	-2267	531
98	-234	567
100	-30	569

3局目

終局手数:99手

ply	meanloss	time
95	152	595

被験者4

1局目

終局手数:79手

ply	meanloss	time
11	-49	56
13	-388	112
29	9	179
31	20	190
33	0	204
35	-28	212
37	-393	254
39	13	268
43	136	315
45	-1255	340
59	110	488
65	378	520
67	-1105	523

2局目

終局手数:122手

ply	meanloss	time
10	-5	26
12	-22	30
14	0	56
16	-85	58
18	-108	68
20	-6	76
22	-85	78
28	-14	103
30	-234	127
32	-285	140
56	-59	325
58	-383	335
60	84	350
62	45	365
64	-175	379
66	-272	382
68	-1037	389
76	29	446
86	-662	498

3局目

終局手数:107手

ply	meanloss	time
11	-222	42
13	-179	43
35	18	88
37	0	90
39	-55	93
41	-58	99
43	37	114
45	-51	120
47	69	169
49	-2	170
51	0	173
53	166	179
57	-218	224
59	-284	274
67	3	306
69	81	308
71	29	315
73	-685	329
77	125	346
83	-20	404
85	-173	419
87	-63	513
89	46	514
91	-200	520
93	110	522
95	-166	531
97	-242	578
101	-726	588
103	30	589
105	186	591

4局目

終局手数:98手

ply	meanloss	time
10	-17	18
12	6	26
14	-121	35
16	0	40
18	-4	44
20	47	45
22	21	53
24	-96	58
26	-26	67
28	-101	77
30	-36	85
32	-332	104
34	-191	107
46	-255	203
48	60	207
50	-50	273
52	-590	288
54	54	311
56	-598	322
88	-967	546

被験者5

1局目

終局手数: 147手

ply	meanloss	time
21	-44	19
23	-53	35
25	-43	248
27	-171	249
29	-282	275
33	-58	277
35	-305	278
41	-554	362
49	-62	368
51	-94	395
53	-63	434
55	-65	434
57	-619	436
69	184	503
71	-927	505
81	-251	531
85	-440	531
105	-570	565
123	-143	574
125	48	576
127	-16	580
131	-77	582
133	-279	583

2局目

終局手数: 103手

ply	meanloss	time
18	-173	11
20	-80	12
22	-71	13
24	0	14
26	33	15
28	48	16
30	-58	16
32	-4	17
34	60	19
36	9	20
38	77	20
40	154	20
42	-56	47
44	-608	50
46	-271	57
48	-266	207
50	112	207
52	-50	209
54	-299	267
70	2718	437

3局目

終局手数:114手

ply	meanloss	time
21	-112	18
23	-159	23
25	-64	26
27	-61	32
29	-5	34
31	75	51
33	-68	54
35	65	64
37	35	65
39	75	68
41	-118	140
43	-20	147
45	-13	197
47	44	221
49	-309	240
51	-118	248
53	-4	252
55	20	252
57	-3	252
59	-225	304
61	-51	305
63	119	309
65	-5	334
67	-544	397
81	-89	462
87	-535	517
93	-64	531
95	-85	551

4局目

終局手数:92手

ply	meanloss	time
24	104	84
26	-352	87
28	-250	110
30	61	111
32	-38	195
34	76	196
36	-193	202
38	-389	361
46	52	383
48	-12	423
52	-46	433
54	-435	464
56	93	471
58	-1231	555
74	-37	583
76	-398	589
78	-143	593
80	-1238	595
84	-159	597
86	136	597
88	-228	600
90	-1097	601

被験者6

1局目

終局手数:97手

ply	meanloss	time
15	-47	21
17	-11	24
19	-39	26
21	9	72
23	-49	87
25	-241	96
27	-296	96
37	-8	203
39	3	206
41	-173	320
43	-37	350
45	-245	357
47	-14	358
49	29	362
51	82	366
53	-44	381
57	-43	406
59	-19	408
61	-498	434
63	-108	435
65	-89	437
69	-329	440
83	-600	487
87	73	515
89	-455	527
95	-567	549

2局目

終局手数:178手

ply	meanloss	time
10	31	14
12	49	15
14	-55	16
16	52	35
18	-101	38
20	-22	39
22	-43	41
24	19	44
26	-154	47
32	-182	54
36	-6	62
38	-186	64
40	-98	67
42	-13	69
44	20	70
46	-149	73
48	-282	79
50	-6	95
52	-178	102
54	57	103
56	-2	107
58	-38	108
60	-6	109
62	-21	119
64	-193	121
72	-488	141
74	-39	150
76	-110	150
78	58	154
80	-42	164
82	-38	171

2局目

終局手数: 178手

ply	meanloss	time
84	84	183
86	-33	189
92	-72	204
96	-163	215
102	-689	236
108	-137	277
126	-126	511
128	-58	512
130	37	514
132	-382	518
146	-14	551
148	-170	551
160	-140	561

3局目

終局手数: 121手

ply	meanloss	time
15	-144	26
17	-6	41
19	1	46
21	-204	54
23	-114	57
25	-32	64
27	-82	127
29	-320	137
31	1	142
33	37	152
35	-167	183
37	101	224
39	112	225
41	-9	228
43	-417	230
51	45	259
53	-103	286
55	-149	300
57	-24	327
59	-1513	327
81	-163	443
83	-391	445

4局目

終局手数: 184手

ply	meanloss	time
28	76	29
30	-4	30
34	-144	44
36	36	45
38	0	56
40	-60	81
42	-208	89
44	-245	98
46	-167	111
48	-90	115
50	30	116
52	-164	134
54	-241	135
56	33	138
58	-203	140
60	-72	157
64	75	181
66	-359	188
68	-90	198
70	1	200
74	-87	204
76	-187	230
78	-318	239
94	-711	279
112	85	308
114	-78	312
116	28	313
118	-530	337
130	-312	373
132	-394	376
134	-153	388
136	-102	395

4局目

終局手数: 184手

ply	meanloss	time
138	-98	437
140	-167	451
146	323	461
154	16	491
158	31	501
160	-584	508
172	58	579

被験者7

1局目

終局手数:132手

ply	meanloss	time
13	-65	6
15	-188	9
17	-88	9
19	4	10
21	-26	10
23	-48	11
25	20	12
27	10	16
29	-3	24
31	-24	25
33	22	26
35	-54	33
37	55	34
39	25	37
41	-261	37
43	-113	38
45	-12	38
47	49	39
49	-293	61
51	-5	62
53	-175	62
55	31	66
57	-80	68
59	28	69
63	-31	142
67	-342	170
75	-160	201
81	-192	237
89	-625	288
93	24	289
95	81	295

2局目

終局手数:89手

ply	meanloss	time
10	2	7
12	-106	15
14	10	15
16	0	15
18	-2	16
20	-1	19
22	-31	21
24	-73	24
26	-60	25
28	-17	27
30	18	31
32	-63	34
34	-119	47
36	-149	51
38	-191	55
40	9	74
42	-38	75
44	-11	109
46	40	110
48	-54	119
50	-184	119
52	21	120
56	-116	140
58	-706	145
60	-39	149
62	-31	154
64	-111	163
66	51	185
68	-145	190
70	-535	240
74	45	261

1局目

終局手数:132手

ply	meanloss	time
97	-104	311
99	-5	328
105	-164	441

2局目

終局手数:89手

ply	meanloss	time
76	164	263

3局目

終局手数:174手

ply	meanloss	time
19	12	2
21	0	2
23	-170	3
25	-113	6
31	-104	23
33	-216	31
45	12	151
47	57	159
55	-403	264
61	-350	311
87	681	481
101	-135	521
103	-762	532
107	-258	535
127	51	561
129	153	563
131	-784	569
133	-594	570
137	-37	573

4局目

終局手数:96手

ply	meanloss	time
22	-23	17
24	-2	18
26	41	19
28	-40	20
30	73	20
32	-76	21
34	-70	22
36	-56	24
38	-117	32
40	98	35
42	-270	36
46	1	54
48	31	55
50	-25	57
52	-107	59
54	44	61
56	-220	82
58	27	93
62	-88	119
70	0	191
72	0	193
74	0	195
76	0	263
78	0	263
80	0	265

4局目

終局手数:96手

ply	meanloss	time
82	0	265
84	0	266
86	0	266
88	0	267
90	0	267
92	0	268
94	0	268

被験者8

1局目

終局手数:104手

ply	meanloss	time
11	-22	11
13	-26	13
15	-39	14
17	45	15
19	0	17
21	13	21
23	15	65
25	-79	69
27	-48	71
29	76	72
31	67	73
33	-123	81
35	8	89
37	28	92
39	-45	109
41	-426	249
47	-111	310
49	-279	354
51	-346	357
53	-56	361
71	-175	482
73	-345	509
75	-175	530
79	-131	542
83	-163	582
85	-372	585

2局目

終局手数:132手

ply	meanloss	time
8	71	10
10	-18	12
12	-3	14
14	-31	16
16	-11	17
18	0	18
20	-27	19
22	-23	22
24	3	24
26	-35	27
28	-64	29
30	54	30
36	-40	37
38	-20	39
40	16	42
42	-12	86
44	-62	94
46	0	104
48	0	121
50	0	124
52	0	138
54	0	141
56	0	153

3局目

終局手数: 104手

ply	meanloss	time
21	9	32
23	-50	34
25	0	36
27	1	42
29	57	44
31	3	50
33	-3	63
35	-20	65
37	27	80
39	2	144
41	-191	256
43	-111	297
47	-631	329
49	-609	340
51	-770	358
65	-358	491
67	-514	511
69	67	515
75	-867	544
77	-56	547
79	-372	564
81	264	566
89	-71	589

4局目

終局手数: 132手

ply	meanloss	time
18	-300	20
22	-263	25
24	-37	27
34	-103	68
36	0	73
38	16	76
40	39	79
42	48	82
44	-55	110
46	-78	138
48	7	140
50	-31	162
52	-78	165
54	0	207
56	-61	212
58	-114	213
60	-197	217
62	-165	219
64	-45	262
66	-68	407
68	-38	413
70	-69	465
72	-18	482
74	-30	491
76	52	502
78	58	503
80	-5	505
82	-191	514
84	-245	515
86	-635	522

4局目

終局手数: 132手

ply	meanloss	time
96	-28	542
98	-56	543
100	-20	544
102	10	553
104	67	554
106	7	568
108	-43	570
110	-131	572
112	-989	576
114	116	580
116	-110	588
118	-578	591

被験者9

1局目

終局手数: 151手

ply	meanloss	time
7	-36	16
9	150	17
11	-32	18
13	5	22
15	-19	23
17	-137	24
19	1	25
21	21	27
23	-8	29
25	-73	32
29	-144	35
31	-66	47
33	123	52
35	-2	56
37	-210	216
45	-201	465
47	29	479
49	-11	502
51	-4	503
53	-103	512
55	-76	517
57	-124	517
61	-127	522
63	86	524
65	95	531
67	-271	531
69	-36	533
71	2	534
73	29	536
77	-206	539
81	-231	541

2局目

終局手数: 94手

ply	meanloss	time
6	-6	8
8	12	9
10	-15	9
12	-8	9
14	40	9
16	-80	9
18	-66	12
20	-73	13
22	-26	14
24	16	23
26	-34	27
28	-68	29
30	28	49
32	-48	51
34	48	57
36	-1	57
38	-67	59
40	-128	70
42	-67	215
44	-9	216
50	-400	413
58	-214	488
60	-168	491

1局目

終局手数:151手

ply	meanloss	time
83	12	541
85	25	543
87	-61	545
89	-86	547
91	-453	548
95	2	550
97	-50	550
99	-97	554
103	-24	555
105	4	557
109	-48	558

3局目

終局手数:133手

ply	meanloss	time
7	-100	4
9	0	5
11	0	5
13	-78	5
15	-37	5
17	-181	6
25	-303	20
33	-148	25
35	-549	26
47	-179	45
49	-342	47
51	72	55
53	-85	57
55	-78	60
57	-136	60
59	-126	60
61	106	63
65	34	70
67	-32	124
69	1	126
71	-249	142
75	-17	159
77	-377	165
79	-54	167
81	-19	168
83	-51	217
85	-287	219
87	-120	221
89	-171	268
91	7	293
93	-50	299

4局目

終局手数:158手

ply	meanloss	time
16	-25	9
18	0	9
20	-32	9
22	-19	9
24	65	9
26	-10	11
28	89	13
30	13	15
32	-75	15
34	71	24
36	32	28
38	-13	30
40	92	40
42	-58	156
44	-34	157
46	-92	175
48	-112	176
50	-281	186
54	-138	189
56	-66	192
58	-52	203
60	-118	203
70	7	216
72	-31	224
74	-296	237
80	71	329
82	-166	332
84	-57	338
86	-326	371
88	15	374
90	-104	383

3局目

終局手数: 133手

ply	meanloss	time
95	-28	302
97	25	318
99	-4	320
101	-499	328
115	-977	435

4局目

終局手数: 158手

ply	meanloss	time
92	-203	421
94	26	423
102	-54	490
104	132	491
106	-215	495
108	-386	520
124	36	538
126	56	551
128	-169	553
130	-104	556
132	-100	560
134	-114	568
136	-167	568
142	-652	574
148	33	582
150	0	583
152	0	583
154	0	583
156	-2572	583

被験者10

1局目

終局手数:112手

ply	meanloss	time
9	-196	17
11	-39	19
13	-75	23
15	-61	24
17	-7	25
19	-9	26
21	0	29
23	-17	30
25	-225	41
29	0	120
31	-5	120
33	2	123
35	0	125
37	-32	180
39	-671	206
41	0	209
43	14	264
45	-635	280
47	-292	284
73	205	486
77	-1300	503

2局目

終局手数:73手

ply	meanloss	time
8	26	13
10	-7	14
12	-27	15
14	-22	17
16	27	18
18	-9	20
20	5	22
22	-20	38
24	-20	40
26	-37	43
28	-94	51
40	0	126
42	-47	127
44	-207	137
46	8	139
48	-7	141
50	-64	143
52	71	146
58	-132	231
60	33	253
62	-103	290
64	-124	295
66	0	295
68	-141	303
70	0	304

3局目

終局手数:99手

ply	meanloss	time
11	-61	11
13	33	13
15	26	15
17	26	18
19	-10	19
21	2	23
23	-133	34
25	-103	38
27	-242	40
39	-145	71
45	-8	89
47	-83	89
49	-29	114
51	-163	251
53	-221	317
55	-242	326
59	-83	348
61	-8	354
69	10	406
71	-73	412
75	-45	464
77	-149	528
79	-38	532
85	36	538
87	-29	540
89	-101	558
91	87	565
93	-136	567
95	-327	582

4局目

終局手数:96手

ply	meanloss	time
8	-32	59
10	-25	75
12	-22	79
14	-4	82
16	34	90
18	-180	92
20	-67	93
22	-179	95
24	24	97
26	-49	103
28	-363	112
30	-148	112
38	-17	165
40	-71	168
42	128	169
44	-295	176
46	10	176
48	3	185
50	-40	185
52	-169	193
54	-142	199
56	-25	210
58	-290	222
64	-850	359
66	-380	374
70	-473	417
72	-117	455
74	64	487