

ボードゲーム戦略を題材とする 応用 Java プログラミング演習の支援と実践 - レイティング指標としての重付勝点度の導入による ランキングの精密化 -

花川直己^{†1} 富永浩之^{†1}

概要: ボードゲーム戦略を題材とする応用 Java プログラミング演習を実践している。大会形式とし、戦略をサーバ上で対戦させ、戦績や順位を公開する。予備大会の期間中に、何度も戦略を提出させ、継続的なコーディングを意識させる。戦績の精密化のため、レイティング指標である重付勝点度 WWG を導入している。本論では、予備大会の序盤から適切な指標となるように、WWG を改良した。さらに、収束性、安定性、分離性、妥当性の 4 つの観点から有効性を検証した。また、間引対戦への活用を検討した。

キーワード: Java プログラミング演習, 五五ボードゲーム戦略, 大会運営サーバ, レイティング指標

Support and Practices in an Applied Java Programming Exercise with Board Game Strategy and a Contest Style - Refinement of Ranking by Weighted Winning Degree as Rating Index-

NAOKI HANAKAWA^{†1} HIROYUKI TOMINAGA^{†1}

Abstract: We have proposed an applied Java programming exercise with board-game strategy. It is a contest style, contest management server performs their uploaded strategies, and publish battle records and ranking table. During the period of the preliminary league, students repeatedly submit strategies, and make them conscious of continuous integration. For the refinement of battle records, we have introduced Weighted Winning Degree(WWG) as rating index. In this paper, we improved WWG so that it becomes an appropriate index to from the beginning of the preliminary league. Moreover, we verified effectiveness from the viewpoints of convergence, stability, separation, and validity. We also considered the method of thinning round-robin.

Keywords: Java programming exercise, Board-game strategy, Contest management server, Rating index

1. はじめに

本研究では、応用プログラミングの対象分野として、知識情報処理に着目している。パズルやゲームを題材とするプログラミング課題を設定し、実際の授業において、演習を実践している。例えば、3 年次の選択科目「知識工学」や必修科目「情報環境実験 1」では、数理パズルを幾つか取り上げている[1]。これらは、縦型探索や横型探索など、基礎的な探索手法を実装する例題である。また、以前の科目では、先後手が同じ石を置いて、縦横斜の方向に連を作るボードゲーム「連石」も取り入れていた。このゲームは、対戦の両者の可能な着手が同じであり、探索方法が数理パズルと同様で、戦略が分析しやすい。

加えて、我々のプログラミング演習では、各競技者の完成したプログラムに対する最終大会だけでなく、何度も再提出が可能な予備大会の期間を設けている。このような演習では、究極の正解となる算法やプログラムは存在せず、

戦略の優劣を互いに競い続けることになる。すなわち、機能要件を満たした上での非機能要件の向上が求められる。一方で、コードの品質も重要である。これは、モジュールの再利用、リファクタリング、バージョン管理など、ソフトウェア開発の重要な側面を体験させる機会となる。本演習の教育目的は、知識情報処理の技能の習得というより、この点にある。

このような背景から、我々は継続的なプログラミング演習として、得点型のカードゲーム演習と、対戦型のボードゲーム演習を提案し、実践している[2][3][4]。これらの演習は、相互に補完的となっている。

本研究では、ボードゲーム戦略を用いた、Java 言語による大会形式での演習を 2011 年度から実施している[5]。支援環境として WinG を開発している。WinG は、戦略作成を支援するローカル側の WinG-LA と、大会を運営するサーバ側の WinG-CS から構成される。

^{†1} 香川大学
Kagawa University

2. ボードゲーム五五のルール

ボードゲームとして採用している五五は、五目並べに石取りを加えた二抜き連珠の変種である(図 1)。盤面は、13×13 とし、マス目の中に石を置く。五五の特徴として、石を取ることで局面が大きく変化する。五連と五取という2つの勝利条件があるため、それぞれに攻撃と防御の優先度が考えられる。そのため、初心者でも戦略の個性が出やすい。基本的な戦略プログラムの組立て方は、図 2 のようになる。戦略方針に従って、盤面の配置パターンに着目し、各マス目への評価値を設定する。これをプロダクションルールとして実装する(表 1)。評価値が最高となるマス目を実際の着手とする。評価値は、経験的に割り当てた値から、実戦を通して調整していく。また、配置パターンも、より詳細な判別に基いて精密化していく。さらには、再帰的な先読みや、探索木の枝刈りなど、より高度な戦略の導入もあり得る。

問題設定として、Java で作成したゲーム実行ライブラリを提供し、ローカル支援ツール WinG-LA を用いて、五五の戦略を Java で実装させる。学生は、Computer クラスを継承したサブクラスで、着手メソッド `calc_hand()` をオーバーライドする。`calc_hand()` は、局面と直前の相手の着手位置を引数とし、各マスの評価値を求め、次の着手位置を `Hand` クラスのインスタンスとして返却する。局面は、`State` クラスのインスタンスで、盤面の石の配置や取った石の個数を保持している。

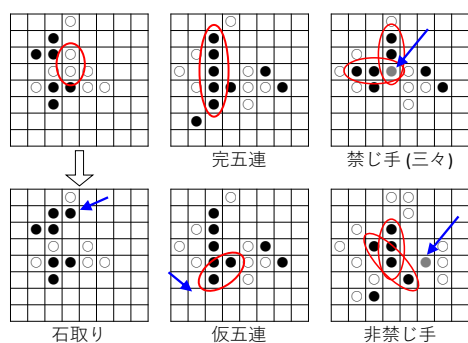


図 1 ボードゲーム五五のルール

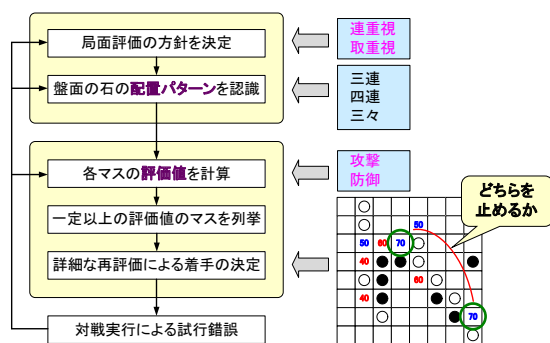


図 2 戦略の設計手順

表 1 戦略のプロダクションルール

状態	狙い	目的	評価値
五連崩し	連	防御	1000
実現: 五取	取	攻撃	950
実現: 五連	連	攻撃	900
阻止: 五取	取	防御	900
阻止: 五連	連	防御	850
実現: 四連	連	攻撃	800
阻止: 三連	連	防御	700
実現: 取	取	攻撃	300
:	:	:	:
禁じ手	-	-	-1
その他	-	-	乱数

3. 予備大会と最終大会

演習では、数週間の大会期間を設け、対戦形式の予備大会と最終大会を実施する。予備大会は、約 5 週間とし、その期間中は、戦略を何度も提出できる。提出された戦略は、大会運営サーバ WinG-CS 上で他の戦略との対戦を行う(図 3)。戦績は、各戦略のレーティングを考慮した重付きの勝点度 WWG で与える。予備大会での提出数は、40 人程度の受講者で 1000 件程度になるため、総当たり戦では、数十万になり、膨大な実行時間を要する。そこで、勝点度を考慮した間引対戦を導入している。2016 年度は、間引対戦を実行せず、24 時から翌 6 時まで、新規の戦略提出の受付を停止した。この間に、1 日単位で対戦処理を完了させ、その日の確定的な WWG を算出する[6]。

大会運営サーバでは、期間中に提出された全戦略の戦績や順位が公開される。他人の戦略コードは閲覧できないが、対戦結果の手数や勝因を確認したり、戦譜を再現することができる。強さの目安として、3 段階の指標戦略を導入し、具体的な目標を提示している(表 2)。これらの情報は、戦略修正のフィードバックに有効である。このように、自身の戦略を常に評価する機会を設けることで、試行錯誤の繰返しによる持続的なプログラムの更新を動機付ける。

予備大会の終了後、学生は提出した戦略のうち、最良と思う戦略を総合的に判断し、最終大会の戦略を選択する。最終大会では、その戦略同士で総当たり対戦を行い、成績に反映させる。最終大会の後には、戦略検討、概略設計、実装方法、実験結果の考察を記述した総括レポートも提出させ、成績に加味する。

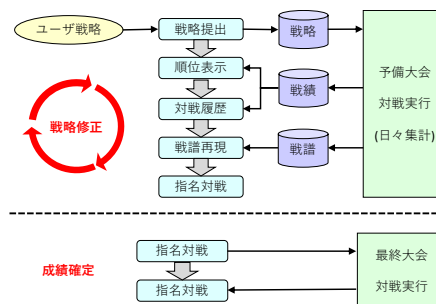


図 3 予備大会と最終大会

表 2 3 段階 5 区分の指標戦略

段階	区分	投入時期	内容
弱	1	序盤	・ 演習開始時に学生に配布した プロトタイプ戦略
	2		・ 過去の演習の下位戦略 ・ プロトタイプ戦略の一部を実装 ・ 演習の最低目標
中	3	序盤 中盤	・ 過去の演習の中位戦略 ・ プロトタイプ戦略のほぼすべてを実装 ・ 仮五連勝しや禁じ手も実装 ・ 演習の到達目標
	4		・ 過去の演習の上位戦略 ・ 局面の詳細な評価 ・ 仮五連勝しや飛び連の高精度な実装 ・ 演習の最高目標
強	5	終盤	・ 過去の演習の優勝戦略 ・ 上位陣の超えるべき最終目標

4. レイティング指標 WWG

本演習の対戦は、先後手を入れ替えた 2 対戦で 1 試合とし、その勝敗によって勝点を付ける。勝点は、2 勝なら完勝 4 点、2 敗なら完敗 0 点とする。1 勝 1 敗のときは、対戦における取石の数で点数を決定する。取石が多いほうが僅勝 3 点、少ないほうが僅敗 1 点、同数で引分 2 点とする。これにより、これまで単純に引分とされていた結果を細分化し、戦績の差を明確に区別することができる。総当たり対戦で試合数が等しい場合、個々の戦略の勝点の総和が強さを表している。また、総和を試合数の 4 倍で割ったものを単純勝点度 SWG と呼ぶ。ここで、戦略 x の対戦数を $N(x)$ 、戦略 x の y に対する勝点を $WP(x, y)$ とすると、 x の単純勝点度 $SWG(x)$ は以下で表される。

$$SWG(x) = \frac{\sum_{i \neq x} WP(x, i)}{4 \times N(x)}$$

SWG は、区間 $[0, 1]$ 内の実数である。分母の 4 は、勝点を比とするためのものである。 SWG は勝点を考慮した勝率であり、完勝と完敗ばかりのときは、通常の勝率に一致する。

一般に、チェスなどのゲームにおいて、プレイヤーのレイティング指標としては、Elo-rating が有名である。Elo-rating は、各プレイヤーの実力が正規分布に近く、実力の変化がロジスティクス曲線に基づくと仮定されている[7]。しかし、本演習では、個々の確定された戦略に対しての適切な勝点を求めたい。実際の状況では、プログラミング能力の差が大きく、極端に強い戦略や弱い戦略が混ざっている。特に、序盤では、それが顕著である。また、将来の予測と言うより、現時点での戦績に対するランキングに用いる。

そこで、本演習では、レイティング指標として重付勝点度 WWG を導入している[8]。 SWG を精密化し、予備大会の途中で、試合数の異なる状況でも、比較の意味を持たせるためである。 WWG は、区間 $[0, 1]$ 内の実数値であり、相手の勝点度によって、自身の勝点到に重み付けを行う。相手の WWG の変化で自身の WWG も変化するので、再帰的な計算が必要である。2016 年度までの WWG の定義では、予備大会の序盤で対戦数が少ないとき、値としての揺れが大きいという欠点があった。そのため、2017 年度から新しい定義を採用している[9][10]。なお、十分な対戦数において

は、極端な戦績状況を除き、両者の差は目立たない。

ここで、戦略 x の y に対する勝点を $WP(x, y)$ 、 k 回目の計算による戦略 x に対する重付勝点度を $WWG_k(x)$ とおく。初期値を $WWG_0(x) = 1.0$ とする。 $WWG_{k+1}(x)$ の計算は、以下の漸化式で求める。この漸化式の計算を値の変化が適当な閾値以下になるまで繰り返し、最終的な $WWG(x)$ とする。

$$WWG_{k+1}(x) = \frac{0.5 + \sum_{i \neq x} \left\{ WWG_k(i) \times \frac{WP(x, i)}{4} \right\}}{\sum_i \{ WWG_k(i) \}}$$

この定義では、自分自身との仮想的な対戦が含まれている。分子の +0.5 は、それを引分として扱うことを意味する。ここで、1 回目の計算 $WWG_1(x)$ は、自己引分も含めた単純勝点度 $SWG(x)$ になっている。また、分母は、全 WWG の総和であり、 WWG を相対化している。全戦略に完勝した場合でも、自己引分によって WWG は 1.0 にはならない。全勝数が増えれば、1.0 に近づく。また、全戦略に完敗した場合の WWG は 0.0 ではなく、自己引分により、全戦略の WWG の総和の逆数の半分になる。これは、試合数が増えれば、0.0 に緩やかに近づく。

5. 新定義の WWG の検証

5.1 4 つの観点からの検証

WWG の効果について、収束性、妥当性、分離性、および安定性の 4 つの観点から検証を行う。まず、収束性である。これは、 WWG が現実的な計算回数で値が収束するかを検証する。検証には、大会序盤の極端な戦績状況における算出と、実際の状況として、最終大会の対戦結果における算出を行う。妥当性は、戦略が戦績に基づいた強さを表現できるかの検証である。具体的には、複雑な戦績状況における WWG の算出と、キングメーカー戦略への耐性を検証する。分離性は、戦略の優劣が明確化されるかどうかを検証する。過去の最終大会の戦績に対して、 WWG を算出し、STG との比較を行う。最後に、安定性である。これは、予備大会の期間において、戦略の増加に伴い、 WWG の変動が小さくなるかの検証である。具体的には、予備大会期間中の WWG の変動を検証する。

5.2 収束性

表 3 に、6 戦略 A~F での、勝敗と WWG の収束状況を示す。これは、上位が下位に常に完勝している場合である。全勝の A は、 WWG が 0.866 に、全敗の F は 0.183 に収束する。他の戦略も、上下に振動しながらも、6 回程度で妥当な値に収束している。

また、より実際に即した戦績状況として、過去の最終大会の戦績状況に対して、新 WWG を適用する。2013 年度から 2016 年度までの最終大会における収束状況を、図 4 に示す。各年度とも、3 回の計算でほぼ収束し、順位が確定する。このことから、実際の大会においても、収束性は担

保できるといえる。

5.3 妥当性

表 4 に、6 戦略 A～F での、やや複雑な勝敗状況に対する WWG の収束状況を示す。A と B は、ともに 4 勝 1 敗で、DEF 以外に、A は B に、B は C に勝っている。このとき、A は B より強い相手に勝っていることから、B よりも WWG が高くなる。また、E と F は、ともに 1 勝 4 敗であるが、E は D のみに、F は E のみに勝っている。E は上位の D に勝っていることから、F よりも WWG が高くなる。このように、対戦相手の強さによって同じ戦績の戦略の WWG が区別されており、直感に反さず、真の強さを反映できることが確認できた。

次に、キングメーカー戦略への耐性について、3 種の戦略 A～C を例にとり、検証する。表 5 に、戦略キングメーカー戦略が提出された場合の勝敗図と WWG を示す。戦略 A は、被キングメーカー戦略である。戦略 B は、一般的な戦略である。自身より下位にいる Bn に常に完勝する。戦略 C は、A のキングメーカー戦略である。戦略 B4 以上には必敗し、B5 以下には 5 分 5 分で完勝する。また、自身より下位にいる Cn に完勝する。A は、B4 以上には必敗であるが、B5 以下と C には必勝である。

キングメーカー戦略が 4 個のときの WWG と順位を(a)に示す。A は完勝数が 9、順位は 5 位となる。しかし、A に勝利する B1～B4 のうち、B1～B3 より下位に位置する。

(b)は、キングメーカー戦略が 9 個のときの場合である。A は完勝数が 14 となり、順位は 6 位となる。このとき、A は、B4 より下位に位置しており、順位の嵩上げが働いていないことがわかる。また、(a)に比べて、A の順位が下がっており、対戦数が増えるにつれ、キングメーカー戦略の影響が小さくなっているといえる。

(a), (b)の状態における、WWG の収束の推移を図 5 に示す。図中の、丸点のついた赤線が戦略 A の WWG の推移である。やや複雑な戦況であるため、収束までの計算回数は増加している。しかし、どちらの場合でも 5 回以内の計算で順位が確定している。このことから、キングメーカー戦略が提出された場合でも、収束性を損なわないことが確認できた。

このことから、WWG はキングメーカーへの耐性を持ち、より精密な強さの評価を行うことができるといえる。

5.4 最終大会における順位の分離性

図 6 に、2013 年度から 2016 年度の最終大会における、SWG と WWG の相関を示す。x 軸に SWG、y 軸に WWG をとる。図中の実線は、 $y = x$ のグラフである。スピアマンの順位相関係数 ρ についても、図中に記載する。各年度、 ρ は 0.99 を超えており、WWG は SWG に強い相関を持ち、

直感に反さない順位が算出できていると考えられる。

各年度、下に凸の弓形を描いている。また、SWG が 0.4～0.7 の戦略は、対戦相手の強さによって、差別化されている。一方で、下位の差は縮まっているが、これは自己対戦による影響で底上げされているからである。

5.5 戦略の増加と安定性

戦略の増加に伴う、WWG の安定性については、予備大会期間中の、時系列による WWG の変動を検証する。検証にあたり、WWG を以下の 4 種に区別する。ただし、d-WWG は予備大会の期間中における、ある 1 日の終了時点での WWG の値である。

- WWG_{max} : 大会期間中の d-WWG の最大値
- WWG_{min} : 大会期間中の d-WWG の最小値
- WWG_{cur} : その時点での d-WWG
- WWG_{init} : 提出日時点の d-WWG

まず、全戦略の期間中の WWG の変動を分析する。図 8 に、エラーバーを利用した戦略の WWG のプロットの方法を示す。これは、x 軸に WWG、y 軸に大会期間の相対時間をとる。戦略毎に、提出した相対時間に、エラーバーをプロットする。エラーバーの上端は WWG_{max} 、下端は WWG_{min} とする。エラーバー上に、大会終了日における WWG_{cur} をプロットする。また、指標戦略は大会開始から終了までの WWG_{cur} の推移を示す。

2016 年度の演習に対し、プロットしたものを、図 7 に示す。大会序盤に提出した戦略は、max と min の差が大きく、エラーバーが長い。しかし、大会終盤に近づくにつれ、max と min の差が小さくなっている。このことから、戦略が増加し、対戦数が増加すると WWG が安定することがわかる。

表 3 完勝完敗のみでの戦績状況

			完勝	1	2	3	4	5	6	7	8
A	5	0	BCDEF	0.917	0.861	0.857	0.869	0.867	0.865	0.866	0.866
B	4	1	CDEF	0.750	0.611	0.615	0.643	0.636	0.633	0.635	0.634
C	3	2	DEF	0.583	0.417	0.451	0.478	0.464	0.462	0.465	0.465
D	2	3	EF	0.417	0.278	0.341	0.353	0.338	0.339	0.341	0.340
E	1	4	F	0.250	0.194	0.264	0.256	0.246	0.249	0.250	0.249
F	0	5		0.083	0.167	0.198	0.183	0.180	0.183	0.183	0.183

表 4 拮抗した戦績状況

			完勝	1	2	3	4	5	6	7	8
A	4	1	BDEF	0.750	0.722	0.729	0.739	0.740	0.736	0.737	0.737
B	4	1	CDEF	0.750	0.667	0.701	0.706	0.698	0.699	0.701	0.700
C	3	2	AEF	0.583	0.583	0.598	0.574	0.584	0.587	0.583	0.585
D	2	3	CF	0.417	0.444	0.549	0.520	0.505	0.516	0.516	0.515
E	1	4	D	0.250	0.306	0.318	0.331	0.326	0.322	0.325	0.324
F	1	4	E	0.250	0.250	0.271	0.258	0.266	0.265	0.263	0.264

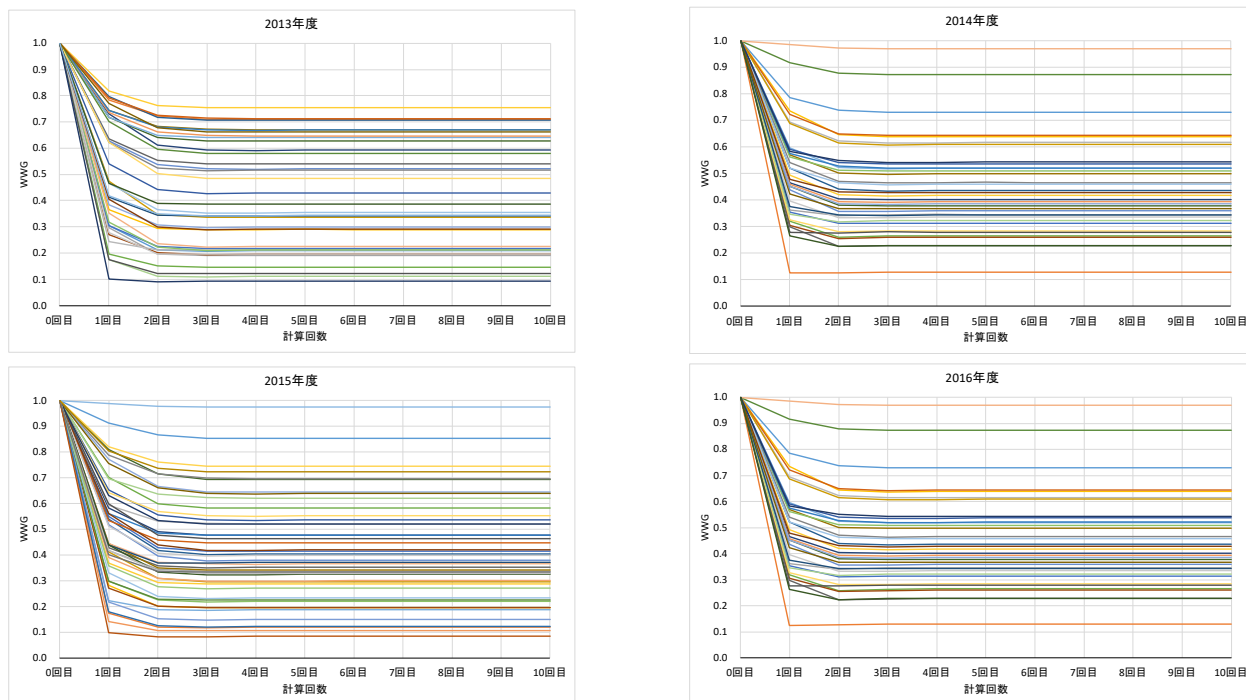


図 4 最終大会での WWG の収束推移

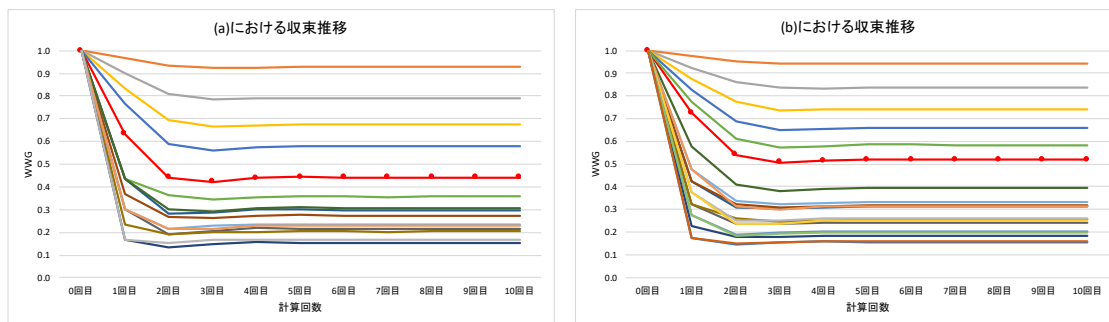
表 5 キングメーカー戦略が含まれた戦績と WWG

(a) キングメーカー戦略が 4 つのとき

	A	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	C1	C2	C3	C4	WWG	順位	勝数
A	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.441	5	9
B0	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.927	1	14
B1	4	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.792	2	13
B2	4	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.676	3	12
B3	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.578	4	11
B4	4	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0.357	6	6
B5	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	4	0	4	0	0.299	8	6
B6	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	4	0	0	0.275	9	5
B7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	4	0	4	0.215	12	4
B8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	4	0	0.203	13	3
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0.154	15	2
C1	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	4	4	4	0.307	7	6
C2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	4	4	0.235	10	4
C3	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	4	0.228	11	4
C4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0.167	14	2

(b) キングメーカー戦略が 9 つのとき

	A	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	WWG	順位	勝数
A	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.518	6	14
B0	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.944	1	19
B1	4	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.837	2	18
B2	4	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.742	3	17
B3	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.658	4	16
B4	4	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0.584	5	15
B5	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	0	4	0	4	0.311	11	8
B6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0.317	9	8
B7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0.240	15	6
B8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	4	0	4	0	4	0	0.254	13	6
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	4	0	0.185	18	4
C1	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	0.395	7	11
C2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	0.332	8	9
C3	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	4	4	4	4	4	4	0.313	10	9
C4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	4	4	4	4	4	0.259	12	7
C5	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0.248	14	7
C6	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	4	4	4	0.202	16	5
C7	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0.197	17	5
C8	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.157	20	3
C9	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.157	19	3



(a)における収束推移

(b)における収束推移

図 5 キングメーカー戦略の収束の推移

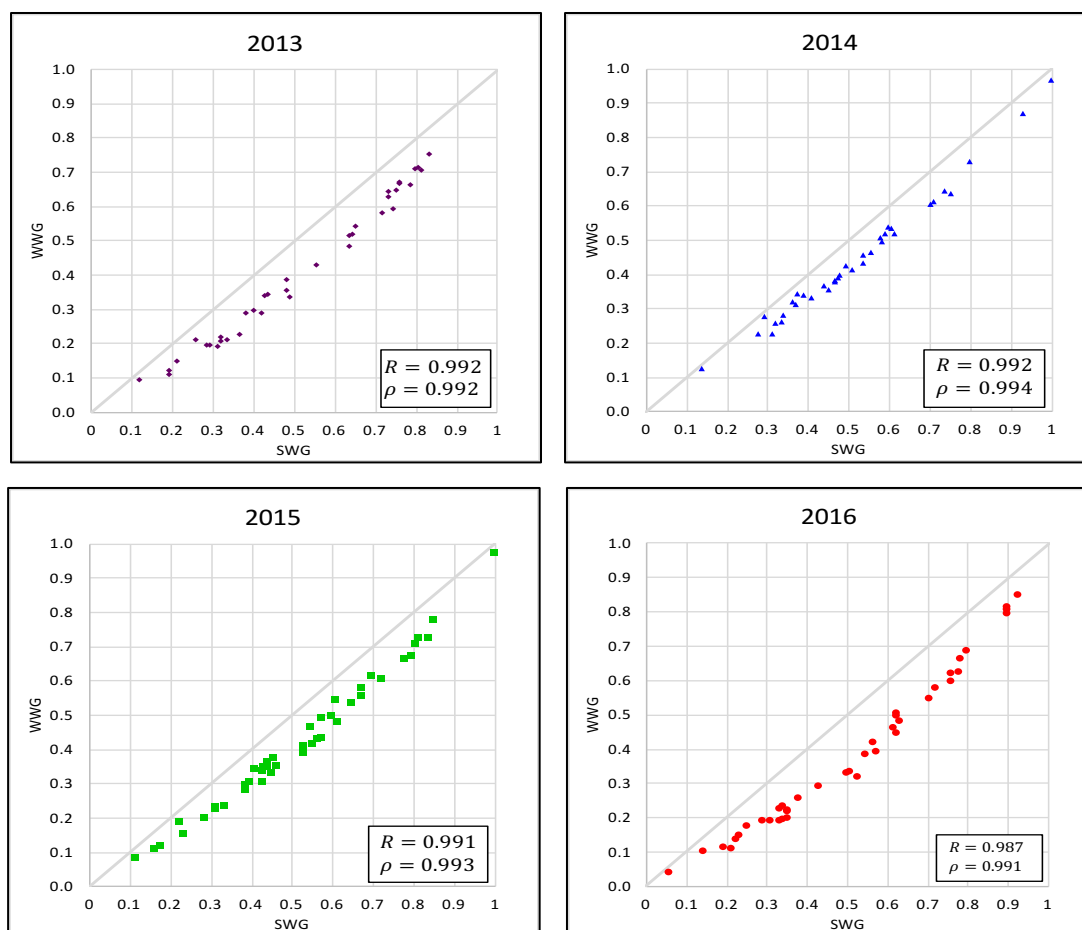


図 6 最終大会における STG と WWG の相関

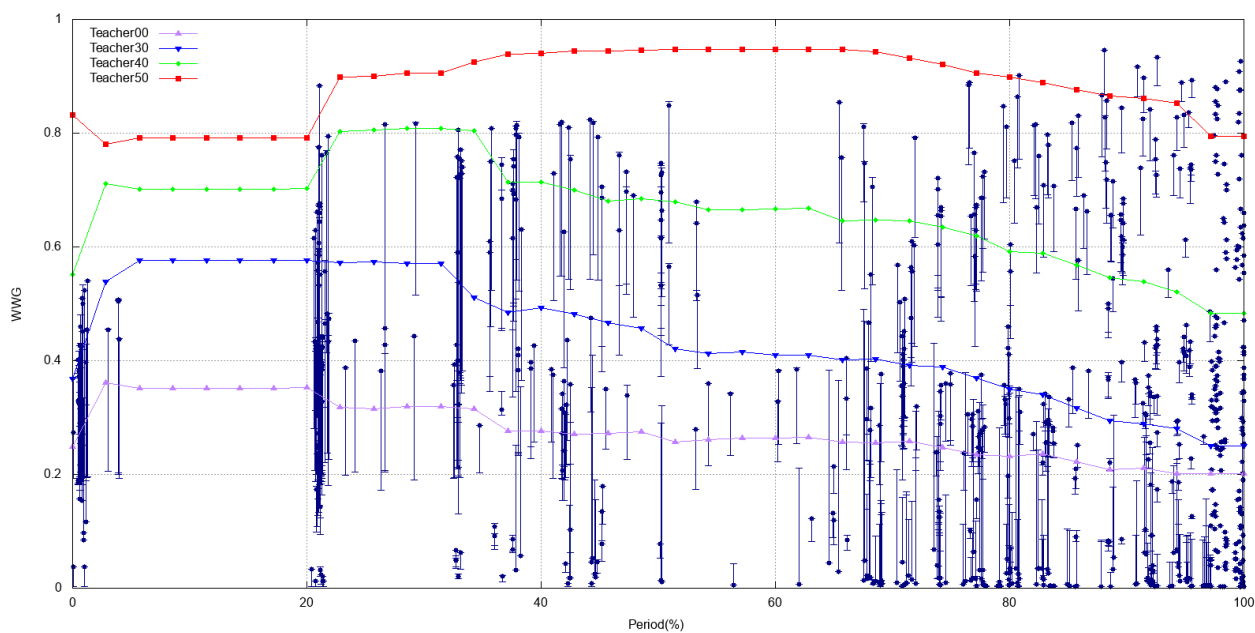


図 7 予備大会期間中の WWG の変動

6. 拡張 STG による教育支援の検討

各学生に対し、戦略ごとの WWG の推移をまとめたものを得点推移グラフ STG と呼ぶ[11][12]。本論では、これを拡張し、ローソク足チャート(箱ひげ図)を重ねた拡張 STG を用いる(図 9)[13]。ローソク足チャートとは、株価など、相場の動きを時系列に沿って可視化する手法の一つである。ただし、本手法の各チャートは、予備大会中に変動するものである。箱の初値は提出日の WWG_{init} 、現値は、その時点での WWG_{cur} とする。また、ひげの高値は期間中の最大値 WWG_{max} とし、安値は最小値 WWG_{min} とする。箱は、 $WWG_{init} > WWG_{cur}$ のとき、陰線となる。また、現値を繋ぎ、STG を描画する。ただし、予備大会終了時点での現値を終値として直線で繋いだものは、従来の STG に一致する。この拡張 STG を用いて、各学生の進捗状況の分析を試みる。一般に、終盤に近づくにつれ、対戦数が増加し WWG が安定するため、初値と現値の差は小さくなる。

図 10 は、実際の学生の拡張 STG の事例である。(a)は、終盤に近づくにつれ、WWG のローソク足が短くなっている。一般的に、大会期間が進むにつれ、強い戦略が提出されやすい。そのため、 WWG_{init} に対し WWG_{cur} が低く、陰線となっている。一方、(b)は、大会終盤に比較的大きな陽線が出現している。これは、大会終盤に提出されるバグを含んだ戦略への勝利が関係していると考えられる。このように、拡張 STG を用いることで、戦績の変化の傾向を把握することができる。教員に対しては、その状況から、補足的な全体説明や、個別の指導の手助けとする。例えば、大会中盤において、陰線が増加しているときは、参加学生の戦略の傾向の変化が示唆される。提出された戦略を精査し、必要なら、全体に対して指導や助言を行う。

7. 間引対戦への活用の検討

2017 年度から、WWG を利用し、間引対戦の方法の改善を試み、結果の即時的かつ効率的な提示を実現する(図 11)。

戦略を受理した後、まず規定対戦を行う。規定対戦は、予め用意された 10 個程度の指標戦略と対戦する。指標戦略は、これまでの戦績から基準となる WWG を算出しておく。規定対戦が終了後、当該の戦略の暫定 WWG を算出し、速報値として全体順位表に掲載する。

次に、24 時から翌 6 時までの提出停止の時間中に、その日に提出された全ての戦略に対し、参入対戦を行う。参入対戦では、前日までに提出された 100 個程度の戦略を選んで対戦する。このとき、WWG の分布から均等に選ぶようにする。この結果により、全ての戦略の WWG を再計算し、翌日の早朝に、日毎の結果として、全体順位表に掲載する。前日に提出された戦略に対しては、これが初期 WWG となる。翌日以降は、他の戦略の参入対戦の対戦相手として防

衛対戦を行う。防衛対戦は、大会期間の序盤に提出された戦略ほど多く行うことになる。日々の防衛対戦により、通常 WWG は変化していく。

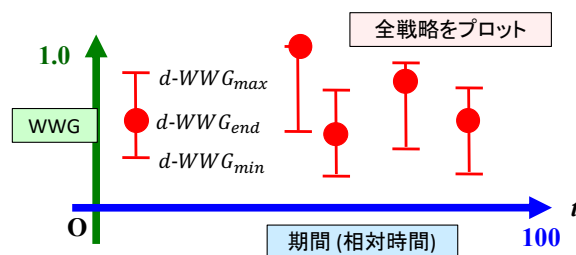


図 8 エラーバーによる WWG の変動の可視化

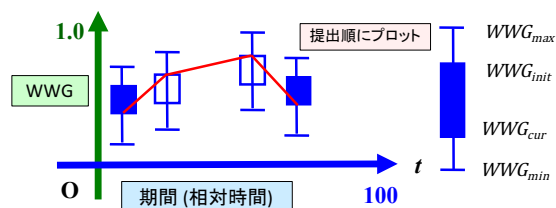
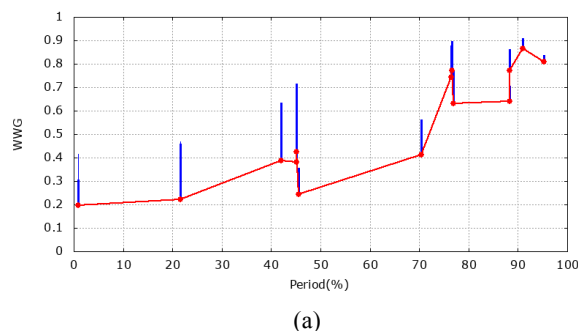
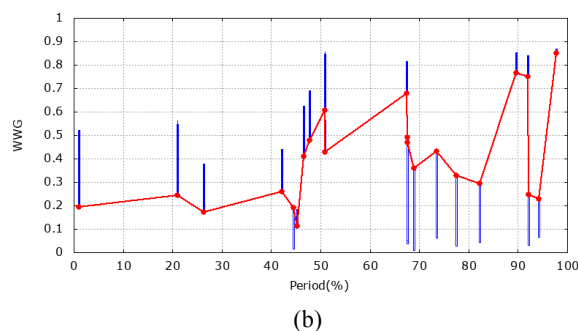


図 9 ローソク足チャートを重ねた拡張 STG



(a)



(b)

図 10 拡張 STG の事例

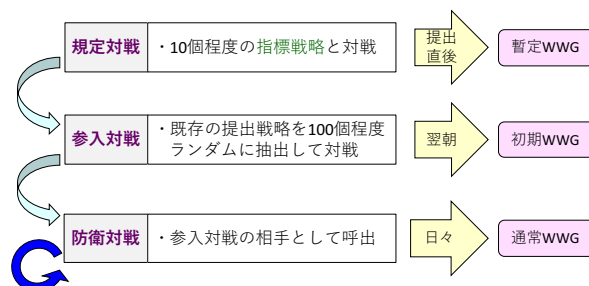


図 11 間引対戦の改良

8. おわりに

ボードゲーム戦略を題材とする応用 Java プログラミング演習を実践している。大会形式とし、サーバ上に提出した戦略同士を対戦させ、戦績や順位を公開する。予備大会の期間中に戦略を何度も改良でき、継続的なコーディングを意識させる。強さの基準となる5段階の指標戦略を幾つか用意し、予備大会での達成目標とする。また、序盤での対戦相手となる。さらに、最終大会での絶対評価の基準や通年の比較として利用できる。本論では、レーティング指標である重付勝点度 WWG について、収束性、妥当性、分離性、安定性の4つの観点から検証し、各観点において、適切な指標であることを確認した。また、対戦型の演習で発生しうるキングメーカーへの耐性も確認できた。

今後の課題として、レーティング指標 WWG では、通年での比較の検証と、対戦数との関係の検証を行う。通年比較では、過去数年間の最終大会において、指標戦略による比較が有効であるか検証する。対戦数との関係では、対戦数の多少が WWG へ及ぼす影響を検証する。どちらも、これまでの演習で提出された戦略同士の総当たり対戦によるシミュレーションを行う必要がある。このような実験を効果的に行うためのプラットフォームの開発も検討する[14]。

参考文献

- [1] 富永浩之: ゲーム戦略を課題とするプログラミング演習の実践状況, ゲーム学会 研究報告, Vol.6, No.2007-GE-1, pp.3-4 (2008).
- [2] 花川直己, 玄馬史也, 富永浩之: ゲーム戦略を題材とする継続的なコード更新を誘導する大会形式のプログラミング演習, 教育システム情報学会 第42回全国大会 講演論文集, Vol.41, No.12-09, pp.365-368 (2017).
- [3] 玄馬史也, 花川直己, 富永浩之: ボーカー戦略を題材とする応用 C プログラミング演習の支援と実践-ABC サイズに基づくコード指標の提示機能と得点との相関性-, 信学技報, Vol.116, No.517, pp.87-94 (2017).
- [4] 尾崎浩和, 富永浩之, 林敏浩, 山崎敏範: ボードゲームの戦略プログラミングを題材とした Java 演習の支援システムの開発, 情処研報, Vol.2006, No.108, pp.1-8 (2006).
- [5] 山田航平, 富永浩之: ボードゲームの戦略プログラミングを題材とした Java 演習支援 -間引き対戦の導入と提出戦略の詳細分析-, 情処研報, Vol.2013-CE-124, No.10, pp.1-6 (2014).
- [6] 花川直己, 富永浩之: ボードゲーム戦略を題材とする応用 Java プログラミング演習の支援と実践 -対戦処理への仮想環境の導入とレーティング指標の改良-, 信学技報, Vol.117, No.65, pp.13-20 (2017).
- [7] A. N. Langville, C. D. Meyer: Who's#1?: the science of rating and ranking, Princeton University Press (2012).
- [8] 山田航平, 富永浩之: ボードゲームの戦略プログラミングを題材とした Java 演習支援 -指標戦略の導入と重み付き勝点度による結果分析-, 教育システム情報学会 研究報告, Vol.28, No.2, pp.127-134 (2013).
- [9] 花川直己, 富永浩之: ボードゲーム戦略によるプログラミング演習におけるレーティング指標としての重付勝点度の効果について, ゲーム学会 合同研究会報告, Vol.15, No.1, pp.1-4 (2017).
- [10] Naoki Hanakawa, Hiroyuki Tominaga: Thinning Round-robin with Rating Index and Virtual Environment for Battle in Applied Java Programming Exercise with Game Strategy and Contest Style, Proceedings of ICESS 2017, Vol.3, pp.85-96 (2017).
- [11] 花川直己, 富永浩之: ボードゲーム戦略を題材とした Java 演習の大会中の提出コードの差分と得点推移による個人進捗の可視化, 教育システム情報学会 第41回 全国大会 講演論文集, Vol.41, No.E5-3, pp.365-366 (2016).
- [12] Naoki Hanakawa, Fumiya Gemba, Hiroyuki Tominaga: Score Transition of Card Game Strategy as Personal Progress Situation in an Applied C Programming Exercise with a Contest Style, Proceedings of WCTP 2016, No.12, pp.140-151 (2016).
- [13] 花川直己, 富永浩之: ボードゲーム戦略の大会形式でのプログラミング演習における重付勝点度の推移による個人進捗の分析, 情報処理学会 第80回 全国大会 講演論文集, Vol.80, No.1F-01 (掲載予定).
- [14] Naoki Hanakawa, Hiroyuki Tominaga: Container-based Virtual Environment for Battle Execution of Round-robin in Applied Java Programming Exercise with Game Strategy and Contest Style, IJEETDM, Vol.3, No.2, pp.83-98 (2017).