将棋道場における対局スケジューリング問題に関する研究

吉永 和哉（沼田 一道 教授，松浦 隆文 助教）

1　はじめに

1.1　研究背景

将棋は 2 人で行うボードゲームの一種である．古代インドのチャトランガの流れを汲むボードゲームが平安時代（諸説あり）に日本に伝わり，現在の「本将棋」の原型になったといわれている．江戸時代に現在の形（本将棋）が定着し，幕府の公認を受けて庶民のゲームとして広く普及した [1]．現在でも，将棋愛好家の数は 1200 万人を優に超えている[2]．

将棋愛好家の特徴は，高度な技量を有する職業棋士の対戦を鑑賞して楽しむだけでなく，自分でも将棋を指（対戦）して楽しむ人の割合が多いということである．将棋は，盤・駒，時間と相手さえあればどこでも対戦可能であるが，同程度の技量の様々な人と対戦を楽しむ，あるいは，自己の技量の向上を目指して能率的に対戦相手と出会う場所として，「将棋道場」が存在する．

1.2　将棋道場と対局スケジュール

将棋道場は大きな駅の近くなどに立地し，初心者から有段者まで様々な技量の愛好者が多数集まって同程度の技量の相手と対局できる場所となっている．近年では，低年齢層への将棋普及活動が功を奏し，土日ともなると 200 人以上が来場し活況を呈している．しかし，混み合うため待ち時間が長くなり，結果として対局回数が少なくなるという問題も発生している．

将棋道場にやってきた愛好者は，受付を済ませた後，①②③のサイクルを繰返して対局を行うのが現状である．①受付で待機する．②スタッフが受付で手合いを付け（待機者のペアを作り）対局場で対局させる．③対局が終了すると受付に戻る．②において，多様な（相異なる）同程度の技量の人同士の対局を優先して考慮し，先々の対局を予想しながらペアを作るのは簡単ではなく，待機者の待ち時間増加の原因になっている．本研究では，待機者の待ち時間を減少するため，手合い付けに対する数理的なアプローチを考える．

1.3　研究目的

本研究では，道場の営業開始時にその日の参加者は全員到着しており，後からの追加参加はないものとする．この前提の上で，「突出して待ち時間の多い人をなくし，全体の待ち時間を出来るだけ少なくする 1 日の対局スケジュール（全参加者の対局計画）」を作成することを考える．これにより，各参加者は，いつ，誰と対局を始めるか，前もって知ることができる．さらに，技量の近い参加者との対戦ほど高い満足度が得られると仮定して，「満足度が最も小さい参加者の満足度を最大化する対局スケジュール」を，maxi-min 型最適化問題の最適解として求めることを考える．この問題は，リーグに属する全チームの互いの対戦日程を決めるスポーツスケジュール[3]や満足度の高いペアリングを考える割当て問題[4]に似ているが，組合せによって対局時間が異なる状況で非対局（非稼働）時間を小さくする点は，並列機械のスケジューリング[5]に似ている．

2　本研究で扱う問題

2.1　問題設定

参加者は，受付で自己の技量を自己申告する．参加者は対局を行う毎に相手との技量差（段・級の差）に応じて決まっている満足度を得るものとする．満足度は単位時間当で与え，対局している時間の長さ（待ち時間の短さ）と満足度の関係を調整できるようにする．ここでいうスケジュールとは，各参加者が，いつ誰と対局を開始するかを決めた計画のことである（図 1）．

対局に関しては，以下のような前提を置く．・対局中に別の対局を開始することはできない．・同じ人とは一度しか対局できない．・持ち時間を使い切ったら負けとなる（切れ負け）.・所定時間未満で対局が終わったとしても，感想戦等で対局時間を消化する．なお，盤・駒，時計，座席は十分に用意されているものとする．

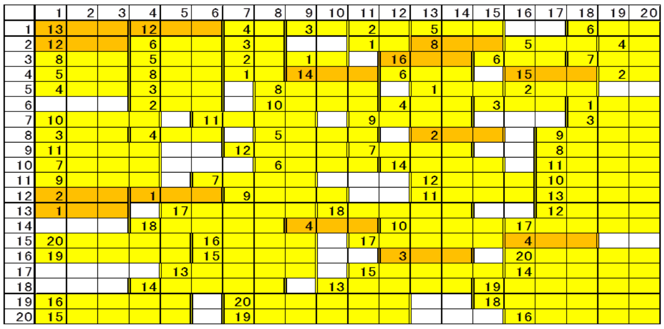

図１：スケジュール例（20 人，20 単位時間）

次に定式化で用いる定数と決定変数を定義する．時間については，5 分を 1 単位時間として時間軸を離散化して考える．この離散時刻の集合を$T = \{1..m\}$，参加者の集合を$N = \{1..n\}$，12 級から 3 段までの棋力（級）の集合を$P = \{1,2, \ldots 15\}$，参加者iの棋力を$p_i \in P$とする．参加者iと参加者jが時刻tに対局を開始する(1)か否(0)かを 0-1 決定変数x_{ijt}で表す．iとjが対局する時の対局時間をa_{ij}，対局単位時間当り得られる満足度をb_{ij}，対局全体から得られる満足度をc_{ij}とする．対局時間a_{ij}については，棋力によって考慮時間を固定し，対局時間はiとjの考慮時間の合計とする．そして，考慮時間を合計して算出された対局時間を（公平に）等分して双方の持ち時間とする．また各対局者間で対局単位時間当りの満足度b_{ij}は，平手（ハンデなし）で戦える棋力が近い相手の時大きく，駒落ち（ハンデ）のある棋力が離れている相手のとき小さくなるように与える．対局毎に得られる満足度c_{ij}は時間毎の与えられる満足度b_{ij}と対局時間a_{ij}の積で定義される．すなわち $c_{ij} = b_{ij} * a_{ij}$ である．

2.2　定式化

上で述べた対局スケジューリング問題は以下のように定式化される．

$$\max.\ z \qquad (1)$$

$$\text{s.t.}\quad z \le \textstyle\sum_t \sum_j c_{ij} x_{ijt} \qquad (\forall\, i) \qquad (2)$$

$$\textstyle\sum_{j \in N} \sum_{p=0}^{a_{ij}-1} x_{ij(t-p)} \le 1 \qquad (\forall\, i, t) \qquad (3)$$

$$x_{ijt} = x_{jit} \qquad (\forall\, i) \qquad (4)$$

$$x_{ijt} = 0 \qquad (\forall\, i, j, t \ \ if \ldots t + a_{ij} - 1 > m) \qquad (5)$$

$$\textstyle\sum_t x_{ijt} \le 1 \qquad (\forall\, i) \qquad (6)$$

$$x_{iit} = 0 \qquad (\forall\, i) \qquad (7)$$

式(1)は総満足度が最小の参加者の満足度を最大化することを表す．式(2)はzが最小の総満足度であることを規定している．式(3)は，iがjと対局するとき，時刻$t-(a_{ij}-1)$~tで他の対局を開始できないことを，式(4)は，iがjと対局するときjがiと対局することを，式(5)は，終了時刻（時間）がmを超える対局は開始できないことを，式(6)は，iとjは一度しか対局できないことを，式(7)は，自分自身と対局できないことを意味する．

表１：単位時間あたりの満足

±0～±2級のとき	b_{ij}=5
±2～±6級のとき	b_{ij}=2
±6級～のとき	b_{ij}=0

3　解法

3.1　厳密解

予備実験として，2.2 の定式化を汎用の MIP（混合整数計画）ソルバ（Gurobi5.50[6]）で解いたところ，厳密解が求められた．しかし，参加者に設定する技量（棋力，級）の分布によって目的関数値や求解時間に大きな差が出たため，各級の分布を図 2 のように 7 パターン，問題の規模を$d1{:}\,(n = 100, m = 120)$，$d2{:}\,(n = 60, m = 60)$，$d3{:}\,(n = 20, m = 40)$の 3 パターン，計

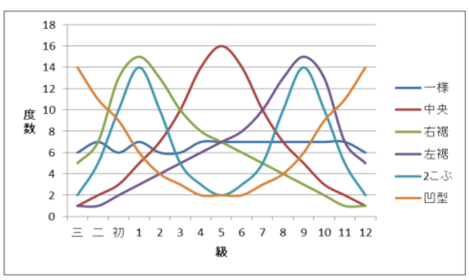

図２：級の分布

21 組のデータを作成して実験を行った．棋力p_iは図 2，b_{ij}は表 1 のように与える．2 級差までの満足度が高いのは 2 級差まで平手で対局できることによる．また対局時間a_{ij}に必要な考慮時間は 3 段階（12~8 級=10 分，7~3 級=20 分，2 級~三段=30 分）で与える．

表 2 に最も規模の大きく実際の参加人数，営業時間に近い$d1$で得られた結果を示す．表 2 斜線部は厳密解を得ることができなかったことを示す．目的関数値をみると「中央」「右裾」が小さくなっており，これは一局の対局時間の短い低級位者が少ないと満足な対局が組めなくなるからと考えられる．また求解時間をみると半数のケースで 10 分以上かかっている．将棋道場の実際の運用では，参加者を締め切ってからスケジュールを発表するまで，数分以内で処理することが望ましいと考えられる．

表 2：結果（抜粋）

d1:(n=100 m=120)	目的関数値	上界値	求解時間(秒)
一様	408		1418
ランダム	366		4849
中央	312		160
右裾	288		241
左裾	357		315
2こぶ	384		1067
凹型		471	650000?

そこで近似解を短時間で求める発見的解法を検討する．

3.2 提案解法

構築法により初期解を構築し，改善法によりランダム探索を行い解を改善する．以下これらを Borland 社の Delphi6 を用いて実装した．

Phase1 構築法（初期解の構築）

Step1-0: 参加者を棋力の弱い順に並べたリストを作成．

Step1-1: 全参加者の対局時間を 0 にする．

Step1-2: 対局時間の最も少ない人，同値の場合はリストの最上位者に注目する．

Step1-3: 注目した人と対局可能な人の中で，注目者の得る満足度が最大となる人と対局させる．両者の対局時間を更新し，Step1-2 へ．

Step1-4: 営業時間内で可能な対局が存在しなければ終了．

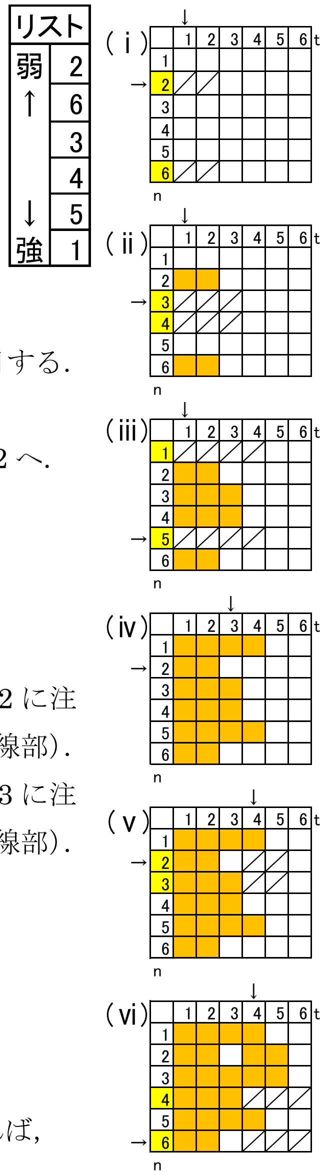

図 3：構築法例

図 3 に Step1-2~1-3 の流れを示す．縦軸を参加者n，横軸を時刻tとする．また簡単のためリストの順番が近いほど対局時の満足度が高いとする．

図 3-(ⅰ)では全員が対局時間 0 で同値なのでリストを参照し上位の参加者 2 に注目する．そして注目した 2 と満足度が最大となる 6 と対局する（図 3-(ⅰ)斜線部）．次に図 3-ⅱ では対局時間で同値である 1，3，4，5 のうちリスト上位である 3 に注目する．そして注目した 3 と満足度が最大となる 4 と対局する（図 3-(ⅱ)斜線部）．以下営業時間内で可能な対局が存在しなくなるまで繰り返す．

Phase2 改善法（ランダム探索）

Step2-0: 参加者を棋力の弱い順に並べたリストを作成．

Step2-1: 暫定目的関数値を 0 にする．

Step2-2: Phase1 構築法を実行し，目的関数値が暫定目的関数値を上回れば，現在の解を記憶し暫定目的関数値を更新．

Step2-3: リストからランダムに二人を選んで交換し，Step2-2 へ．

Step2-4: Step2-2~2-3 をk回繰り返したら終了．記憶されていた解が近似解となる．

4　数値実験

3.1 で求めた厳密解と改善法($k = 10000$)による近似解を比較したものを表 3 に示す．なお近似解は 5 回の平均を用い，誤差率は「誤差率 = $(|厳密解 - 近似解|)/厳密解$」として求めた．表 3 の誤差率をみると，多くのパターンについて短時間で誤差率 10%未満の近似解を求めることができた．しかし$d1$の凹型，$d2$の 2 こぶ，凹型の 3 パターンは誤差率が 17%，16%，30%と大きかった．また$d1$と$d3$の誤差率を比較すると問題規模の小さい$d3$の誤差率が悪かった．また$d1$における繰り返し回数kと誤差率の関係を図 4 に示す．繰り返し回数kを増やすと誤差率が小さくなった．

表 3：比較結果

	厳密解	上界値	5回平均	誤差率(%)	平均(秒)
d1:(n=100 m=120)					
一様	408		396	2.94	31.4
ランダム	366		364.4	0.44	31
中央	312		312	0.00	30.8
右裾	288		283	1.74	30.8
左裾	357		355.8	0.34	33.4
2こぶ	384		382.6	0.36	32
凹型		471	387.2	17.79	32.4
d2:(n=60 m=60)					
一様	219		195.2	10.87	7.2
ランダム	228		197.6	13.33	7
中央	162		162	0.00	7
右裾	144		142.8	0.83	7.2
左裾	201		187.4	6.77	7.2
2こぶ		249	207.4	16.71	7.2
凹型		282	196.6	30.28	7
d3:(n=20 m=40)					
一様	110		102.4	6.91	1
ランダム	106		100	5.66	1
中央	107		106.6	0.37	1
右裾	113		105.8	6.37	1
左裾	140		128.4	8.29	1
2こぶ	140		129	7.86	1
凹型	119		116.6	2.02	1

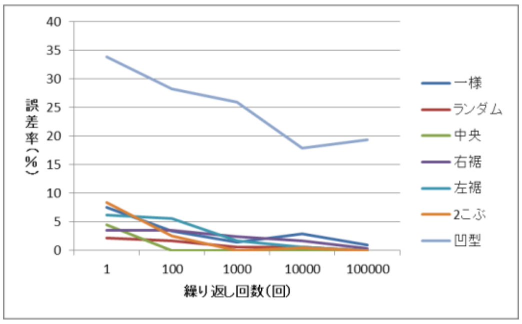

図 4：kによる誤差率の推移

5　考察

$d1$の凹型，$d2$の 2 こぶ，凹型の 3 パターンの誤差率が大きかったのは 10 時間かけて厳密解が求まらなかったため厳密解でなく上界値を用いたことが原因と考えられる．$d3$で誤差率が大きいのは，$d3$の場合，規模が小さく人数が少ないので，対局時間の設定が短く対局回数で満足を得る低級位者は，一度しか対局できないという前提のため，満足度を上げるのが難しいからだと考えられる．よって，人数が少ない場合は，短い計算時間で求まる厳密解を利用するので良く，人数が多い場合は，提案法を用いて近似解を求めることで対応するのが良いと考えられる．

6　まとめと今後の課題

本研究では，将棋道場における問題点を踏まえ，手合い付けに対する新たなアプローチとして，対局スケジュール問題を定式化した．規模の小さい問題例はその定式化を汎用ソルバに与えることで求解可能なことを明らかにし，規模の大きい問題例に対しては，ある程度の精度の近似解を高速に求める発見的解法を提案した．提案法では，誤差率が 10%を超える場合もあるが，これは，「より高い満足度の得られる対戦相手を待つ」ことを考慮していないことが大きな理由の一つと思われる．そのような不充分な点に対処して提案法の精度を上げることは今後の課題である．

参考文献

[1] 日本将棋連盟, http://www.shogi.or.jp/(2013.12.25).

[2] レジャー白書, http://www.jpc-net.jp/leisure/(2013.12.25).

[3] 柳浦睦憲，茨城俊秀 著 (2001)，組合せ最適化―メタ戦略を中心として―，朝倉書店, 237pp.

[4] 久保幹雄，田村明久，松井知己 編 他 (2009)，応用に役立つ 50 の最適化問題，朝倉書店, 174pp.

[5] 久保幹雄，田村明久，松井知己 編 他 (2002)，応用数理計画ハンドブック，朝倉書店, 1354pp.

[6] Gurobi, http://www.gurobi.com/(2013.12.25).