

## オークションを用いたマルチエージェントによる スポーツスケジューリングに関する考察

### A Sports Scheduling Method Using Multi-Agent System with Auction Theory

土谷雅人 稲垣 潤 本郷節之 上野健治 岡崎哲夫  
Masato Tsuchiya Jun Inagaki Sadayuki Hongo Kenji Ueno Tetsuo Okazaki

#### 1. はじめに

スポーツスケジューリングとは、各チームの様々な要求に基づく制約の下で、試合の対戦表や日程を決定する問題である。本問題の解法として、マルチエージェントを用いた手法[1]が提案されている。本手法は 1 チームに 1 エージェントを割り当て、エージェント同士が各々の評価基準に従って交渉をすることによりスケジューリングを行っている。

一方、経済学の一分野として誕生したオークション理論[2]が近年注目されている。オークション理論は、複数の戦略的行動をするプレイヤーが集団で意思決定を行う場合に、望ましい性質を満足する社会的ルールを設計するための理論であり、オークション理論をスケジューリングに応用した手法も提案されている[3][4]。本研究では、最適化の過程でクラーク税[2]を用いたオークションを行うことにより、エージェントが自身に著しく有利となるような行動をとらないよう制御し、チーム間の公平性を考慮に入れたスケジュールの作成を図る。

#### 2. 本研究における問題設定

本研究では 2 重総当たり戦のスポーツスケジューリングを行う。文献[5]では、移動距離のみをスケジュールの評価基準としたが、提案手法では、評価基準として評価関数  $f_a$  と  $f_h$  を用意する。 $f_a$  は移動距離が短いほど評価値が高くなる関数、 $f_h$  は休日における本拠地での試合開催数が多いほど高くなる関数とし、 $f_a$  と  $f_h$  は値域が同じとなるよう設定する。チーム  $i$  は  $f_a$  と  $f_h$  に対して重要度を自由に決定することができ、その重要度に応じて重み  $\alpha_i$  をつけた式(1)により計算された  $F_i$  を評価値とする。

$$F_i = \alpha_i f_a + (1 - \alpha_i) f_h \quad (1)$$

本研究では、全チームの評価値  $F_i$  の総和が大きく、かつ各チーム間の評価値のばらつきが小さくなるスケジュールの生成を目標とする。

#### 3. 提案手法

本手法では、1 チームに 1 エージェントを割り当てる。はじめに、エージェントは各々に対してランダムに生成された初期スケジュールより、自チームにとって最良な評価値  $F'_i$  を持つスケジュールを SA を用いて作成する。 $F'_i$  は次式により計算される。

$$F'_i = \alpha_i F_i + (1 - \alpha_i) \bar{F}_{-i} \quad (2)$$

上式の  $\bar{F}_{-i}$  はそのスケジュールにおける  $i$  を除くチームの  $F_i$  の平均値である。ただし、他チームの  $F_i$  における  $\alpha$  を知ることはできないので、 $\alpha = 0.5$  として計算する。

$a_i = \{0.1, 0.2, \dots, 1.0\}$  の選び方は  $\epsilon$ -グリーディ方策に従って決定する(但し初期値は  $a_i = 1$ ,  $Q(a_i) = 0$  とする)。例えば、式(2)で  $a_i = 1.0$  ならばエージェントはスケジュール作成時に自チームの評価値だけを見てスケジュールを作成するが、 $a_i = 0.2$  ならば全体の評価値も考慮して作成する。すなわち  $a_i$  の値が小さいほど、協調的な戦略でスケジュールを作成するといえる。

各エージェントがスケジュールを作成し終えたら、各々のスケジュールを持ち寄り、オークションを行う。エージェントはオークション結果を基に、Profit Sharing[6]による強化学習を行い、 $Q(a_i)$  値を更新する。これを繰り返して得られたスケジュールに対し、エージェント間で交渉を行うことにより、最終的なスケジュールを決定する。以下に詳細を示す。

#### 3.1 オークション

提案手法では、クラーク税を用いたオークションを行う。クラーク税は投票に基づく合意形成機構であり、各エージェントは真の価値を告げることが最善の方策となるため、各チームが作成したスケジュールのうち 1 つを、公正さをもって選択することができる。また、社会的余剰(評価値の総和)が最大化される場合に、各個人の利益も最大化されることになるため、全体の利益と個人の利益を一致させることができる[2]。以下に手順を示す。

1. 各エージェントにランダムに生成した異なる初期スケジュールを与える。エージェントは  $\epsilon$ -グリーディ方策により  $a_i$  を決定した上で、自チームにとって最良な  $F'_i$  を持つスケジュールを SA により作成する。
2. 1. で作成されたそれぞれのスケジュールに対し、各エージェントが  $F_i$  を計算し、 $F_i$  の総和が最も高いスケジュールを選択する。
3. 各エージェントは、選択されたスケジュールにおいて計算されたクラーク税を  $F_i$  から差し引く。差し引いた後の  $F_i$  の総和をそのスケジュールの効用とする。
4. エージェントはこのオークション結果から、1. で選択した  $a_i$  の価値  $Q(a_i)$  を Profit Sharing によって更新する。
5. オークション(1-4 の手順)を繰り返し、得られたスケジュールの中で効用が最大となるスケジュールを選択する。

上述のオークションの結果得られたスケジュールを基に、次節に示すエージェント間の交渉を行う。

### 3.2 交渉

本手法では、ある 2 チーム間の交渉によって他のチームの評価値に影響を与えないよう、試合開催地の交換のみを交渉の対象とする。交渉の手順を以下に示す。以下に交渉内容を示す。

1. 2 重総当たり戦では、各チームは自チームの本拠地と他チームの本拠地で 1 試合ずつ行う。エージェントは試合開催地を交換することにより自チームの評価値が上がる場合に、対戦相手に交換を提案する。
2. 提案されたエージェントは、その交換によって自チームも評価値が上がる場合のみ提案を受理する。これを全エージェントが順番に繰り返す、どの組み合わせにおいても提案が受理されなくなった場合、交渉を終了する。

### 4. 実験

本章では、提案手法の有効性を確認するために、以下の 3 手法について比較実験を行う。

- a. オークションにクラーク税を導入せず、エージェントの強化学習も行わない
- b. オークションにクラーク税を導入し、エージェントの強化学習は行わない
- c. オークションにクラーク税を導入し、エージェントの強化学習を行う (提案手法)

本実験はチーム数を 10、オークション回数を 300 とし、ベンチマークデータ [7] に対して適用して行う。a~c. の手法を 100 回ずつ実行し、得られたスケジュールの評価値  $F_i$  の総和および標準偏差の各平均を調べた結果を表 1, 2 に示す。

表 1 各手法による  $F_i$  の総和の平均

	$F_i$ の総和の平均
学習なし/クラーク税なし	5574.46
学習なし/クラーク税あり	5580.24
学習あり/クラーク税あり	5627.51

表 2 各手法による  $F_i$  の標準偏差の平均

	$F_i$ の標準偏差の平均
学習なし/クラーク税なし	96.52
学習なし/クラーク税あり	92.65
学習あり/クラーク税あり	90.51

表 1, 2 より、オークションにクラーク税の仕組みを用いない場合より、用いた方が評価値の標準偏差が低くなるのがわかる。また、エージェントの強化学習を導入すると、標準偏差はさらに低くなり、評価値の総和もより高くなる事が確認できる。このことから、クラーク税および学習の導入がスケジュールにおける評価値の向上とチーム間のばらつき抑制に寄与していることがわかる。

次に、エージェントが強化学習により選択した戦略を確認するため、提案手法を 100 回実行し、各エージェントの  $Q(a_i)$  値が最大となる  $a_i$  の平均値を調べた。その結果を表 3 に示す。

表 3 各エージェントの  $a_i$  の平均

	$a_i$ の平均
チーム 1	0.315
チーム 2	0.345
チーム 3	0.347
チーム 4	0.385
チーム 5	0.277
チーム 6	0.253
チーム 7	0.228
チーム 8	0.313
チーム 9	0.285
チーム 10	0.293

表 3 より、 $a_i$  の全チームの平均値は 0.304 となる。3 章で述べたように、 $a_i$  の値が 0 に近いほど、他チームの評価値を考慮に入れた協調的戦略となる。したがって、各エージェントはオークションで選ばれる可能性が高いスケジュールを作成するために、協調的な戦略を選択していることがわかる。

### 5. まとめ

本研究では、オークション理論を用いたマルチエージェントによるスポーツスケジューリング手法について考察を行った。本手法を用いることにより、全チームの評価値の総和を大きくし、かつチーム間の評価値のばらつきが小さくなるような、公平性を反映させたスケジュールを作成することができた。今後はチーム間の公平性を保ち、より評価値の高いスケジュールを得るために、オークションならびに交渉方法の改良について検討を行う。

### 参考文献

- [1] 築地俊憲, 稲垣潤, 白川智昭, 下野哲雄, “マルチエージェントを用いたスポーツスケジューリングに関する検討”, 平成 17 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 258, 2005.
- [2] 横尾真, オークション理論の基礎—ゲーム理論と情報科学の先端領域—, 東京電機大学出版局, 2006.
- [3] 貝原俊也, 藤井進, 三浦克仁, “生産スケジューリング問題に対する組合せオークションを用いた最適化手法に関する一提案”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.75, No.752, pp.1143-1150, 2009.
- [4] マルミローリ マルタ, 塚本 幸辰, 伊庭 健二, “オークション型入札に基づく発電スケジューリング手法の開発”, 電気学会論文誌 B, Vol.119, No.1, pp.33-39, 1999.
- [5] 土谷雅人, 稲垣潤, 上野健治, 岡崎哲夫, “オークション理論を用いたスポーツスケジューリングに関する検討”, 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 152, 2011.
- [6] 高玉圭樹, マルチエージェント学習—相互作用の謎に迫る—, コロナ社, 2003.
- [7] Challenge Travelling Tournament Problem, <http://mat.tepper.cmu.edu/TOURN/>