

# スポーツ・スケジューリング

## ーミニバスケットボールにおけるリーグ戦作成問題ー

西村 一輝<sup>1</sup>      沖本 天太<sup>2</sup>      平山 勝敏<sup>2</sup>

神戸大学海事科学部<sup>1</sup>    神戸大学大学院海事科学研究科<sup>2</sup>

### 1 はじめに

スポーツ・スケジューリング [3, 5] 問題とは、チーム、対戦日、開催場所等の集合に対して、与えられた制約条件を満たすように対戦表を作成する組合せ最適化問題である。この問題はオペレーションズ・リサーチ分野における応用問題として広く研究されており、代表的な応用例として、アメリカ西海岸大学対抗バスケットボール [1] やプロサッカーリーグ [2] 等が挙げられる。スポーツ・スケジューリングには、各チームの移動距離の総和を最小化するような移動距離最小化問題や、ホームまたはアウェイでの連続した対戦数が最小となるように各チームの開催場所を割当てるブレイク数最小化問題等が存在する [4]。

JBA (日本バスケットボール協会)<sup>\*1</sup>は 2018 年度より、(i) 拮抗したゲームを多くして、選手及び指導者の成長を促し、(ii) JBA に登録しているチームに対して、一定公式試合数を確保すること目的とし、都道府県内でのリーグ戦の実施を開始した。本事業は、U15 (中学生) では 2019 年度、U12 (小学生) 及び U18 (高校生) では 2020 年度には完全実施を目標としている。

兵庫県ミニバスケットボール連盟<sup>\*2</sup>は本年度、県内の男女約 180 チームを対象に前期・後期リーグ戦を実施した。前期リーグでは、各地区で行われた新人戦の成績を基に、後期リーグでは、前期リーグの成績を基に、各チームをランク A (上位リーグ)、B (中位リーグ: このなかでさらに 3 つのランク B1, B2, B3 に分けられる)、C (下位リーグ) の 5 つのリーグ (各ランクには 16 チーム、B3 と C は 16 チーム程度) に分け、その中で各チーム、前期は 5 から 7 月、後期は 9 から 12 月にかけて 10 試合ずつ (計 20 試合) の公式戦を県内の各会場で実施した。

リーグ戦作成では、総試合数の制限、毎試合数の制限、実施期間の制限、重複試合の禁止等の満たさなければならない様々な制約条件が存在するため、全ての制約を満たすようなリーグ戦を作成するのは困難な問題である。実際、兵庫県ミニバスケットボール U12 の前期リーグ戦 (ランク A: 女子) では重複試合が 2 件発生している (後期リーグでは解決)。また現状のリーグ戦は、人手により数日かけて作成されており、その負担を軽減する必要がある。さらに、各チームの移動距離は考慮されていないため、移動距離最小化問題として定式化する必要がある。

本論文では、ミニバスケットボール (ミニバス) におけるリーグ戦作成問題 (Mini Basketball League Scheduling Problem, LSP<sup>MB</sup>) のフレームワークを定義する。また LSP<sup>MB</sup> を 0-1 整数計画問題として定式化し、最適化ソルバー CPLEX を用いて、与えられた制約条件を満たし、かつ、各チームの移動距離の総和が最小となるような最適なリーグ戦を作成する。実験では、2018 年度に兵庫県下で実施されたミニバス U12 の後期リーグ戦 (ランク A: 女子) の実データを用いて、提案手法によって作成されたリーグ戦と実際のリーグ戦を比較評価する。

### 2 ミニバスにおけるリーグ戦作成問題

ミニバスにおけるリーグ戦作成問題 (LSP<sup>MB</sup>) のフレームワークを定義する。まず、LSP<sup>MB</sup> における基本用語を与える。

- $T = \{1, \dots, n\}$ : チームの集合。
- $D = \{1, \dots, m\}$ : 日付 (対戦日: 休日・祝日) の集合。
- $X = \{x_{ij} \mid i, j \in T (i \neq j)\}$ : 変数の集合。  $x_{ij} = k (k \in D)$  とは、チーム  $i$  と  $j$  が  $k$  日に対戦することを表す。
- $C = \{c_1, \dots, c_t\}$ : 制約の集合。
- $T_s = \{q_1, \dots, q_t\}$ : (各チームの) 拠点校の集合。
- $P = \{p_1, \dots, p_s\}$ : 対戦が行われる試合会場の集合。
- $\alpha: T \rightarrow T_s$ : 各チームの拠点校を返す写像。
- $\beta: D \rightarrow P$ : 日付から試合会場を返す写像。
- $dis: T_s \times P \rightarrow \mathbb{R}$ : 拠点校から会場までの距離を返す関数。

ミニバスにおける LSP<sup>MB</sup> は以下のように定義される。

定義 1 (ミニバスにおける LSP<sup>MB</sup>)。ミニバスにおけるリーグ戦作成問題 (LSP<sup>MB</sup>) は、 $X$  を変数の集合、 $D$  を変数値の集合、 $C$  を制約の集合、 $T_s$  を拠点校の集合、 $P$  を試合会場の集合、 $\alpha$  を各チームの拠点校を返す写像、 $\beta$  を日付から試合会場を返す写像、 $\phi$  を拠点校から試合会場までの往復距離を計算する関数とし、

$$LSP^{MB} = \langle X, D, C, T_s, P, \alpha, \beta, \phi \rangle$$

の組により定義される。全変数への割当を  $A$  とし、関数  $\phi$  は

$$\phi(A) = \sum_{i,j,k} 2 \cdot [dis(\alpha(i), \beta(k)) + dis(\alpha(j), \beta(k))]$$

により与えられる ( $1 \leq i, j \leq n, i \neq j, 1 \leq k \leq m$ )。LSP<sup>MB</sup> を解くとは、全ての制約条件を満たし、各チームの移動距離の総和  $\phi(A)$  が最小となるような割当  $A$  を見つけることである。

<sup>\*1</sup> <http://www.japanbasketball.jp>

<sup>\*2</sup> <https://hyogo-minibasket.jimdo.com>

以下、兵庫県ミニバス U12 で用いられた制約条件を示す。

- 制約  $c_1$  (総試合数の制限): 各チームの対戦数は 10 試合とする。各チームは前期 10, 後期 10 の計 20 試合を行う。
- 制約  $c_2$  (毎試合数の制限): 1 日の対戦数は 2 試合とする。これは、U12 の体力等を考慮して決められている。各チームは対戦がある場合は 2 試合、そうでない場合は 0 となる。
- 制約  $c_3$  (各会場での試合数の制限): 各試合会場では、その日に対戦しなければならない試合数が決められている。
- 制約  $c_4$  (重複試合の禁止): 同じ相手と 2 試合以上対戦してはならない (同じランク内の他の 10 チームと対戦する)。

### 0-1 整数計画法に基づく $LSP^{MB}$ 問題

$LSP^{MB}$  問題は 0-1 整数計画問題として定式化可能である。以下、兵庫県下で実際に実施された U12 の後期リーグ戦 (ランク A: 女子) の  $LSP^{MB}$  問題を 0-1 整数計画問題として定式化する。

$$\min. \frac{1}{2} \sum_{ijk} d_{ijk} \cdot x_{ijk} \quad (1)$$

$$\bigwedge_{i \in T} \sum_{j,k} x_{ijk} = 10 \quad (2)$$

$$\left( \bigwedge_{i \in T} \bigwedge_{k \in D} \sum_j x_{ijk} = 2 \right) \vee \left( \bigwedge_{i \in T} \bigwedge_{k \in D} \sum_j x_{ijk} = 0 \right) \quad (3)$$

$$\bigwedge_{k \in D} \sum_{i,j} x_{ijk} = 2 \cdot g_k \quad (4)$$

$$\bigwedge_{i \in T} \bigwedge_{j \in T} \sum_k x_{ijk} \leq 1 \quad (5)$$

$$\forall i, j \in T, k \in D: x_{ijk} \cdot x_{jik} = 1 \quad (6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, 1 \leq i, j \leq 16 (i \neq j), 1 \leq k \leq 15 \quad (7)$$

以下、変数, 制約式, 目的関数について説明する。式 (7) は変数を表し,  $x_{ijk}$  はチーム  $i$  と  $j$  が  $k$  日に対戦する場合は 1, そうでない場合は 0 となる。式 (6) は  $x_{ijk} = 1$  ならば  $x_{jik} = 1$  となる同値制約を表す。式 (2)-(5) は制約  $c_1$ - $c_4$  に対応する制約条件を表す。式 (2) では, 各チームが 10 試合の対戦を行うという制約条件が示されている。式 (3) では, 対戦がある場合は試合数 2, そうでない場合は 0 となる。式 (4) における,  $g_k$  は各試合会場で実施しなければならない試合数を表し, 式 (6) より  $2 \cdot g_k$  となる。式 (5) では, 各チームの重複試合を禁止している。式 (1) は各対戦における両チームの拠点校から試合会場までの移動距離の最小化を目的とする関数を表し, 係数  $d_{ijk}$  は移動距離を示す。また式 (6) より全体の値を  $1/2$  倍している。

### 3 評価実験

実験では, 2018 年度に兵庫県下で実施されたミニバス U12 の後期リーグ戦 (ランク A: 女子 16 チーム) を対象に, 実データを用いて, 各チームの移動距離の総和が最小となるようなリーグ戦を作成した。目的関数の各係数は, 各チームの拠点校から試合会場までの往復距離をそれぞれ計算し, 決定している。

表 1 後期リーグ戦 (ランク A: 女子 16 チーム) における, 実データと提案手法による総移動距離及び作成時間の比較。

後期リーグ	実データ	提案手法
往復移動距離 (総和)	14, 204km	11, 984km
作成時間	数日	4 秒

表 1 に実際に使用されたミニバス U12 の後期リーグ戦と提案手法によって作成された後期リーグ戦を示す (両者とも全ての制約条件  $c_1$  から  $c_4$  を満たしている)。表 1 より, 実際に使用された後期リーグ戦での全 16 チームの総移動距離は 14, 204km であった。一方, 提案手法では, 全 16 チームの総移動距離は 11, 984km であり, 実際に使用されたものとの差は 2, 222km もあった。また, 実際のリーグ戦は人手により数日かけて作成されているのに対し, 提案手法では最適解が 4 秒で求解可能であった。以上より, 提案手法では, 実際に使用された後期リーグ戦と比べ, 最適な解が高速に求解可能であることが示された。

### 4 おわりに

本論文では, ミニバスケットボールにおけるリーグ戦作成問題 ( $LSP^{MB}$ ) のフレームワークを定義した。また  $LSP^{MB}$  を 0-1 整数計画問題として定式化し, 最適化ソルバー CPLEX を用いて, 各チームの移動距離の総和が最小となるような最適なリーグ戦を作成した。実験では, 2018 年度に兵庫県下で実施されたミニバス U12 の後期リーグ戦の実データを用いて, 提案手法によって作成されたリーグ戦と実際のリーグ戦を比較し, 提案手法では最適なリーグ戦が 4 秒で作成可能であることを示した。

今後の課題として, 各チームの総移動距離の公平性を考慮した問題解決が挙げられる。本研究では,  $LSP^{MB}$  を移動距離最小化問題として定式化したが, チーム間の公平性までは考慮していない。そこで, 移動距離に関してチーム間のバランスを考慮した問題の定式化と解法を開発する。その他にも, 現場で利用可能なシステムの開発や, U15 や U18 への適用が挙げられる。最後に, 本研究が JBA 事業 (U12) の一助となることを願う。

謝辞: 本研究の遂行にあたり, JSPS 基盤研究 (A) (課題番号: 17H00763) の研究助成を受けました。ここに感謝致します。

### 参考文献

- [1] M. Henz. Scheduling a major college basketball conference - revisited. *Operations Research*, 49:163-168, 2002.
- [2] C. Ribeiro. Sports scheduling: Problems and applications. *International Transactions in Operational Research*, 19:201-226, 2012.
- [3] 茨木智 and 手嶋悠太. スポーツスケジューリング - bj リーグ 2005-06 シーズンの再スケジューリング. *オイコノミカ*, 51(1):57-64, 2015.
- [4] 宮代隆平 and 松井知己. スポーツスケジューリング - 未解決問題を中心に. *オペレーションズリサーチ*, 50:119-124, 2005.
- [5] 池辺淑子. スポーツのスケジューリング. *オペレーションズリサーチ*, 51:392-395, 2006.