

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 ——

茨 木 智
手 嶋 悠 太

1 はじめに

日本のスポーツビジネスは、単純に強いチームを作るだけではチーム運営がうまくいかない時代になってしまった。この10年間を比べてみても、トップリーグに所属するチームがほとんど入れ替わっている種目(たとえばバレーボール, アメリカンフットボール, バスケットボールなど)は少なくない。したがって、スポーツに関わる団体や企業を継続して経営したり, イベントなどを効率的に運営すること, すなわちスポーツマネジメントが重要視されてきている。

本論文で取り上げる日本のプロバスケットボールリーグである bj リーグもまた, 近年の日本のスポーツチームが抱える問題に悩まされている。ここで bj リーグとは, 2005年に開幕した株式会社日本プロバスケットボールリーグが主催する日本初のプロフェッショナルバスケットボールリーグの通称で, 従来の日本協会(JBL)から脱退した2チームを含め6チームで発足した。このため, 国内には自らを“トップリーグ”と名乗る JBL¹⁾と“プロリーグ”と名乗る bj リーグと, 2つのリーグが並立し続けているという問題が存在している。この状態のままではオリンピック予選にも参加できないということで, JBL と bj リーグの完全統合が計られた。しかし, 2013年9月28日に開幕した NBL は, 初年度に bj リーグから NBL 入りしたチームはわずかに1チームと, 依然として複雑な状況が続いている。とくに bj リーグは日本協会から独立しているため, 市場規模はまだ小さく, 発足当時からスポンサーの確保などほとんどの球団が経営面で苦戦を強いられており, 選手の年棒も安くなっている。したがって, リーグの運営, 試合の開催スケジュールを改善することによって, 観客動員数や興行収入を高め, bj リーグのチーム, 選手の環境を良くすること, さらにはバスケットボール自体の人気を高め, 結果として日本のバスケットボール界が野球やサッカーのように世界で戦えるようになることへ繋がっては行くのではないかと期待できる。

スポーツマネジメントに関して, オペレーションズ・リサーチ理論は以前から, 最適戦術の

1) 現在は NBL と改称されている。

決定、公平なスケジュールの作成、チーム間の実力評価などに応用されてきた。例えば、鳩山の野球に関する論文は有名な例である [5]。それ以外でも、アメリカでは 2000 年代からスポーツスケジュールリングが注目され、実際にアメリカ大リーグで実際に適用されて、公平な対戦スケジュールを作成する点において効果を上げている [9]。日本でも、宮代らは J リーグの日程の再スケジュールリングを提案し従来のものとの比較を行っている [6]。また坂口らはニューラルネットワークを用いて移動距離を考慮した試合日程作成プログラムを提案している [3]。一方、土屋らはオークションの考えに基づくマルチエージェントシステムを導入することで、最適な日程作成を作成している [4]。このように OR 的な様々な手法を適用して、なるべく効率的になるべく最適なスケジュールを作成しようとすることは現在でも重要なトピックである。最近のスポーツスケジュールリングに関しては、池辺 [1] や宮代ら [8] によるものがある。

本論文では、日本のプロバスケットボールリーグである bj リーグにおいて、これまで担当者の感と経験とで作成してきた日程の再スケジュールリングを行う。具体的には、宮代らの手法 [6, 7] に基づき、まず整数計画問題にモデル化し、それを IP ソルバーに適用可能な形で定式化して、実際に解いてみる。出てきた解と実際に実施された日程を比較することで、OR 手法を適用することの有用性、問題点を議論する。

2 スポーツスケジュールリング

2.1 スポーツスケジュールリングとは

スポーツ競技の日程を作成するにあたっては、試合が自チームの本拠地（ホーム）で行われるか、相手チームの本拠地（アウェイ）で行われるかを決めなければならない。そのような範疇にはいろいろな例としては、欧州プロサッカーリーグのチャンピオン決定戦（UEFA Champions League）の決勝戦や全米プロフットボールリーグ（NFL）の決勝戦（Super Bowl）等が挙げられる。チーム間の不公平感の 1 つに、ホームゲームとアウェイゲームの時系列的な並び方の不均一性がある。例えば、日本のプロ野球セ・リーグの阪神タイガースは、8 月に本拠地の甲子園球場で高校野球を行うため、ホーム球場での試合が数週間行われない。その結果、対戦順序やチーム間の移動距離、試合開催場所の割り当てなどが他球団とは異なっている。そのためか、この夏の時期をどう乗り切るのがタイガースの課題であるとよく言われている。最近一部のプロスポーツでは、OR の手法を用いて日程をうまく決定することで質の高いスケジュールの作成を行うことが試みられている。移動などのコスト面での改良はもちろん、消化試合をなくし各試合の重要度を増すことで、競技自体の人気向上、興行収入の増加を狙うことができると考えられている。

スポーツスケジュールリングで考慮することをいくつか挙げてみる。

- ・移動距離最小化

対戦する場所を時系列順に並べた時の移動距離はなるべく小さくするという考え方により日程を作成する問題。プロ野球のように毎日のように対戦する場合は、この問題を考慮する必要があるが、サッカーのように、試合が連続しない場合はあまり考慮しなくてもよいと思われる。

- ・ブレイク数最小化

異なるチーム間とホームまたはアウェイのゲームが連続して行われることをブレイクと呼ぶ。このブレイク数はなるべく小さい方が、興行的な観点からは望ましい。ホーム / アウェイが偏っていると、応援の機会が減ることが予想されるからである。

- ・対戦数の公平化

野球やサッカーの場合は、各チームが対戦する相手チームの数は同一であるが、チーム数の割にシーズンの総対戦数を多くとれない競技だと、対戦相手によっては対戦数が異なる場合がある。NFL の場合、距離的に近くの同一ディビジョンの相手とは 2 試合 (H/A) の対戦があるが、他ディビジョンのチームとは数年に 1 度しか対戦しないので、年間単位で見ると対戦数は同一とは言えない。また、近隣のチームとの試合は〇ダービーと言って盛り上がる試合が多く好まれるが、遠方の人気のないチームとは対戦したくないといった事情もあるかもしれない。したがって、対戦相手に不公平感が出ないように、数年単位でみれば同一の対戦数となるように計画すべきであろう。

2.2 スケジュールの作成方法

日程の作成にはおもに 2 つの手順から成り立つ。1 つはホーム / アウェイ表 (HAT : Home Away Table) の作成、もう 1 つは HAT に対するチームの割り当てである。

この論文では、各試合のホーム (H) / アウェイ (A) が先に決定している状況について考える。実際のスケジュールリング作成現場では、放映権、試合開催場所の確保の観点などからあらかじめ各試合がホーム / アウェイのどちらで行われるか決まっていることが多い。この対戦相手を決めずに H/A だけを全チームに対して決めた表をホーム / アウェイ表 (HAT : Home Away Table) と呼ぶ。

スケジュール作成者は HAT の情報を制約条件としてスケジュールを作成していくが、任意の HAT からスケジュールが作成できるわけではなく、HAT によっては実行不可能な場合もある。スケジュールを作成できる HAT の必要条件としては以下のことが挙げられる。

- ・各節においてホームとアウェイの数が等しい。
- ・ホームとアウェイのパターンが全く同じチームが存在しない。

なお、上記の制約が満たされていても、必ずしも実行可能な HAT になっているとは限らな

い.

一方、任意の HAT からスケジュールを作成できるか否かを判定する問題は Home-Away Table 許容性判定問題と言われ、整数計画法や制約論理法を用いて解かれることが多い。本論文では整数計画法を適用して対戦チームを割り当てる。

ここで、チーム数が n 個 (n は偶数) の場合のチーム割り当て問題を整数計画問題として定式化することを紹介する。ただし、各チームホーム / アウェイでちょうど 1 回ずつ対戦する (したがって各チームの総試合数は $2(n-1)$) ことにする。またこの試合数の単位を節とよぶ。

H_i をチーム i がホームゲームを行う節の番号の集合、0-1 変数 x_{ijk} を、チーム i がホームでチーム j と k 節目に対戦する時 1、しない時 0 となる変数とする。すなわち、

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{チーム } i \text{ がホームでチーム } j \text{ と } k \text{ 節目に対戦する時} \\ 0 & \text{それ以外の時} \end{cases}$$

である。この変数を用いると、ホームのチーム k が k 節で必ず 1 試合行うという条件は

$$\sum_j x_{ijk} = 1,$$

と表される。また、チーム i がホームでチーム j と 1 試合だけ戦うという条件は、

$$\sum_{k \text{ ただし } k \in H_i} x_{ijk} = 1,$$

と表される。これらの 2 種類の制約条件をみたすような x_{ijk} は与えられた HAT に基づき全チームがただ 1 回ずつ H/A で対戦するような日程が与えられる。しかしこの条件だけだと、連続してホームとアウェイで対戦してしまったり、移動距離面から不公平な対戦順になってしまう可能性がある。よって、ある期間内にチーム i と j は 1 度しか対戦しないようにするといった条件

$$\sum_{k \in K_t} x_{ijk} = 1,$$

を付け加えるとよい。ただし、 K_t はある t 番目のある期間を意味する。たとえば、 $t=1, 2$ として、 $K_1 = \{1, 2, \dots, n\}$ および $K_2 = \{n+1, n+2, \dots, 2n\}$ とすれば、前期後期制になっていて、各期に 1 度ずつ対戦する日程が作成できる。しかし、この制約の期間の幅を狭めて設定すると膨大な数となり、実際的に書き尽くすことは困難になることが多い。そこで実用的なアルゴリズムでは、切除平面法等を用いて効率的に解決することが試みられている [2]。

3 数値実験

3.1 HAT

本論文では、手法の有効性を確かめるために、bj リーグ開幕時の 2005-06 シーズンの試合日程の再スケジュールリングを行ってみた。レギュラーシーズンは 05/11/5 から 06/4/16 の全 23

表 1 : 2005-06シーズンのデータから作成したHAT

	仙台	埼玉	大分	大阪	東京	新潟
week 1	H			H	H	
week 2		H	H			
week 3		H		H		
week 4		H	H			H
week 5	H				H	
week 6		H				H
week 7	H	H	H			
week 8					H	H
week 9					H	
week 10			H	H		
week 11	H		H			H
week 12	H			H	H	
week 13		H		H		H
week 14	H		H		H	
week 15				H		H
week 16		H		H	H	
week 17		H	H			H
week 18	H		H		H	
week 19		H		H		H
week 20	H	H			H	
week 21	H			H		H
week 22			H	H	H	
week 23	H		H			H

bjリーグwebサイトから筆者作成

節で、対戦方式は6チーム（仙台、埼玉、大分、大阪、東京、新潟）によるホーム / アウェイ方式の8重総当たりリーグ戦（40試合）であった。その時の実際のデータから、2試合を1週として、23週のHATを作成した（表1）。ただし、毎週3つの対戦が存在したわけではなく、体育館の確保の問題からホームゲームが2つしかないような週もあることに注意してほしい。

3.2 ソルバー

整数計画ソルバーとしてSCIPを用いた。使用した理由としてはソルバーの中で最も高速なものの1つであること、アカデミックユースは無償で利用できることが挙げられる。整数計画問題をSCIPに入力するためにまずはLPファイルを作成する。LPファイルは以下のように作成しておく。

```

minimize
subject to

```

c1: x111 + x112 + ... = 1

c2: x211 + x211 + ... = 1

.....

binary

x111 x112 ...

end

LP ファイル内の minimize, subject to, binary, end は予約語であり, minimize は最小化問題, subject to は制約式, binary は 0-1 変数, end は式の終了を表している. 上の例のように制約をみたすような変数を求める問題のときは, minimize の後を空欄にすればよい.

作成した LP ファイルの実行方法であるが, SCIP を起動させると次のようなコマンド入力画面になる.

```
SCIP>
```

そこで以下のコマンドでファイルの読み取り, 最適化開始, 解の出力になる.

```
SCIP> read <lp ファイル名>
```

```
SCIP> optimize
```

```
SCIP> write solution <出力ファイル名>
```

出力ファイルには, 目的関数値と非ゼロの変数の値が表示される.

3.3 計算結果

前節で述べたように, 日程決定問題は整数計画問題に定式化できるのだが, 質の良い, すなわち同じ対戦カードが続かないような日程制約を全チームの全日程に設定することはたいへん困難である. そこで本論文では, 一時的に得られた解を見て, 禁止制約を後から追加することで, すべての制約を網羅することなく, 必要な分だけ記述することで実行可能な解を求めることにした.

今回比較したのは以下の3つの日程である.

1. 実際の 2005-06 シーズンで行った日程

2. 連続対戦を切除平面法で除いた日程

3. 2に付け加えて, 前半 (week1-13), 後半 (week14-23) の2期制にしたときの日程

2試合を1週と換算したので, それぞれのチームはちょうどホームで2週アウェイで2週対戦する. したがって, 途中で行われるオールスター戦の前後で, 各チーム間のH/Aのゲーム

表2： 分析結果

	連戦の数	前後期の分散	同一カード数
日程1	0	0.46	19
日程2	0	0.32	19
日程3	3	0.06	22

2試合ずつを行うことができれば理想的な日程である。そういう意味から上の日程3を考察することにした。ただし完全に20試合ずつに分かれているわけではなく、前半に22試合対戦が組まれているチームもある。計算結果は表2にまとめられている。計算したスケジュールの評価基準として注目したのは、あるチームとホーム（またはアウェイ）で対戦した後、次の週にアウェイ（またはホーム）で対戦するような日程（これを連戦と呼ぶ）の数、オールスター戦より前（week1から13まで）に行われる試合の対戦相手が平均化されているかを表す対戦数の分散（これを前後期の分散と呼ぶ）、そして4週間の間にもう1度対戦している数（これを同一カード数と呼ぶ）の3つである。

この表から、オリジナルの日程1および全体で最適配置をした日程2で、日程を組む上で最重要視しなければならない連戦がおきていない。その反面、前半後半で別々に計算した日程3では、配置の自由度が低いせいで連戦が3ヵ所発生している。前半後半で4試合ずつ（2週ずつ）対戦するように組めているのはよいのだが、連戦がおきていると実際には4試合連続同一チーム間でゲームを行っているわけで、興行的にはこの対戦パターンはありえないと判断されよう。日程1と2を比較すると、前半後半で対戦チーム数に散らばりが少ないのが日程2の方で、全体として平均化された日程と言える。最後に、連戦はなくても、4週（＝1カ月）の間に2度対戦することがあるかを見るための最後の指標を確認してみると、この点で日程2では日程1を改良しているわけではなかった。実際この評価基準を定式化組み込んでいないので、計算結果に表れなかったということである。したがって、日程2にさらに制約を組み込んで計算を続けると、さらに公平性に優れた日程を求めることが可能であると期待できる。

4 おわりに

本論文では、bjリーグの2005-06シーズンの試合日程について、オペレーションズ・リサーチの手法の1つである整数計画を応用することで再スケジュールリングを行った。その結果、実際の日程と比較してチーム間の対戦スケジュールの隔たりを緩和することができた。これにより全てのチームとバランス良く対戦をするため、強豪チームとの連戦などがなくなり、チーム間の不公平が少なくなったといえる。特に前半、後半を分けて考えたスケジュールでは後半に連戦ができてしまうもののオールスターゲーム（week12-week13の間）までに各

チーム同士がH/Aで一回ずつ対戦することができる理想的なスケジュールを組むことができる。これをもとに連戦をなくすことができるスケジュールを再検討してみると、チーム数や試合形式の変更などの問題はあがるが、最新のシーズンにスケジュール作成の手法を応用することなどが今後取り組むべき課題として挙げられる。最後に、日程データを提供して下さるなど協力をしてくださったbjリーグに感謝します。

謝辞

神山眞一先生には名古屋市立大学院経済学研究科に赴任して以来、様々なことをご指導いただきました。ありがとうございました。また今回ご退職記念号へ執筆させていただくことができたことをたいへん光栄に存じます。

今後の神山先生のご健康とご多幸をお祈りしております。

References

- [1] 池辺淑子 (2006) 「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, vol. 51, pp. 392-395.
- [2] 今野浩 (1981) 「整数計画法」, 講座・数理計画法 6, 産業図書.
- [3] 坂口琢哉, 石崎俊 (2005) 「ニューラルネットワークによる移動距離を考慮した試合日程の自動生成」, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, vol. 46, pp. 103-110.
- [4] 土谷雅人, 稲垣潤, 本郷節之, 上野健治, 岡崎哲夫 (2012) 「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」, 情報科学技術フォーラム講演論文集, vol. 11, pp. 261-262.
- [5] 鳩山由紀夫 (1979) 「野球とOR」, オペレーションズリサーチ, vol. 24, pp. 203-212.
- [6] 宮代隆平, 松井知己 (2000) 「1993年Jリーグの再スケジューリング」, オペレーションズ・リサーチ, vol. 45, pp. 81-83.
- [7] 宮代隆平, 松井知己 (2005) 「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, vol. 50, pp. 119-124.
- [8] 宮代隆平, 松井知己, 今堀慎治 (2007) 「スポーツスケジューリング」, 数学セミナー vol. 49, pp. 60-64.
- [9] M. A. Trick (2001) "A schedule-then-break approach to sports timetabling," Practice and Theory of Automated Timetabling III, Lecture Notes in Computer Science, 2079, Springer, Berlin, pp. 242-253.