プロ野球セ・パ交流戦の移動距離を考慮した再スケジューリング

永田　真也　　(沼田　一道　准教授)

1. 研究背景・目的

現代社会において，プロスポーツは人々に夢や感動を与えるエンターテイメントとして重要な役割を果たしている．プロスポーツ興行の多くは，いくつかのチームが団体(リーグ)を形成し，2 チームごとの対戦を並行的に繰り返して，「優勝」を争うという形で行われている．このような形態の興行では，どのチームが何時何処で対戦するかを予め決めておかなければならない．これを「スポーツスケジューリング」という．スポーツスケジューリング問題は，考慮すべき制約条件と共に複雑化する．そのため最近では，競技団体からの依頼で OR の研究者がスケジューリングを行うことも増えている[1]．実際に，アメリカの大リーグ，ブラジルやドイツのプロサッカーリーグなど，大規模なスポーツ競技団体で OR の手法を用いたスケジュール作成が行われている[2]．日本のプロ野球のように(同種のスポーツについて)複数のリーグが並存している場合には，リーグ間の交流戦を組み入れて対戦の多様性を増し興行の魅力度を向上させる試みも実施されている．

本研究では，リーグ戦，トーナメント戦等に比べあまり研究されていない「プロ野球セ・パ交流戦」を取り上げ，現在使われているスケジュールが，移動距離負担の観点から妥当なものであるかどうかを検討する．具体的には，交流戦の各チームの移動距離による負担を目的関数とした数理計画問題として定式化し，最適解を求めて考察を行う．

2. 問題

2-1 セ・パ交流戦の概要

セ・パ交流戦は，約 1 ヶ月間で全 144 試合が行われる．1 チーム 24 試合，それぞれのチームが他リーグの 6 チームと，自身の本拠地と相手の本拠地(ホーム＆アウェイ)で 2 連戦を 2 回行う[3]．また，各チームがある期においてホームで試合をしているのか，アウェイで試合をしているのかを表わしているものを，H・A パターンという．

表 1. 2009 年の交流戦で使われた H・A パターン

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
セ	A	A	H	H	A	A	H	H	A	A	H	H
パ	H	H	A	A	H	H	A	A	H	H	A	A

※　H:ホームゲーム　A:アウェイゲーム

表 1 を見ると 1～6 期までと 7～12 期までの H と A が入れ替わっていることが分かる．加えて各チームは，1～6 期までで対戦した順序と同じ順序で 7～12 期も対戦する．このことをミラーリングという．実際にパリーグに属する日本ハムは，表 1 の H・A パターンに従い表 2 のスケジュールで試合を行っている．

表 2.2009 年度日本ハムのスケジュール

期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日程	5/19 5/20	5/22 5/23	5/24 5/25	5/27 5/28	5/30 5/31	6/2 6/3	6/5 6/6	6/7 6/8	6/10 6/11	6/13 6/14	6/16 6/17	6/20 6/21
相手	G (H)	S (H)	D (A)	YB (A)	T (H)	C (H)	G (A)	S (A)	D (H)	YB (H)	T (A)	C (A)

2-2 問題設定

本研究では，プロ野球セ・パ交流戦における移動距離が最大のチームの移動距離を最小にすることを問題として取り上げる．また，各チームはそれぞれのチームの本拠地にいる状態から交流戦を開始し，交流戦終了時にまた本拠地へ戻ってくるものとする．なお，本研究で扱う移動距離とは，交流戦開始時から終了時までに発生する移動に対する距離の和である．実際の交流戦では，本拠地以外のサブ球場で試合を行うチームもあるが，本研究では簡単のためホームゲームは必ず各チームの本拠地で行うものとする．

3. 定式化

前節で述べた問題設定を基に，2009 年度のセ・パ交流戦で使用された H・A パターンを用いて以下のように定式化した．

＜定数＞

セリーグ全チームの集合 : $C=\{1,\ldots,6\}$．　パリーグ全チームの集合 : $P=\{7,\ldots,12\}$.

但し　1 : 巨人(G), 2 : 阪神(T), 3 : 中日(D), 4 : 広島(C), 5 : ヤクルト(S), 6 : 横浜(YB),

7 : 西武(L), 8 : オリックス(Bs), 9 : 日本ハム(F), 10 : ロッテ(M), 11 : 楽天(E), 12 : ソフトバンク(H).

全期間の集合 : $K=\{0\cdots 13\}$.　セリーグがホームで試合を行う期間の集合 : $K_c=\{3,4,7,8,11,12\}$.

パリーグがホームで試合を行う期間の集合 : $K_p=\{1,2,5,6,9,10\}$.　K_cとK_pは，H・Aパターンに対応している.

各球場間の移動距離の行列 :

$$D=\begin{pmatrix} d_{11}\cdots & d_{1l}\cdots & \cdots & \cdots \\ \vdots\ddots & & & \\ \vdots & d_{jj} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ \vdots & & & d_{1212} \end{pmatrix}$$

＜決定変数＞

$$x_{ij}^{(k)}=\begin{cases}1: & \text{第}k\text{期にチーム}i\text{がチーム}j\text{の本拠地で試合を行う}\\ 0: & \text{上記以外}\end{cases}$$

＜目的関数＞

$$\text{minimize}\ \left\{\max_i \sum_j \sum_l \sum_{k=0}^{12} d_{jl}\cdot x_{ij}^{(k)}\cdot x_{il}^{(k+1)}\right\} \qquad (1)$$

＜制約式＞

$$\sum_{j=1}^{12} x_{ij}^{(k)}=1 \quad (i\in C\cup P, k\in K) \qquad (2)$$

$$x_{ii}^{(k)}=1 \quad (k=0,13, i\in C\cup P) \qquad (3)$$

$$x_{ii}^{(k)} = 1 \quad (k \in K_c, i \in C) \tag{4}$$

$$x_{ii}^{(k)} = 1 \quad (k \in K_p, i \in P) \tag{5}$$

$$x_{ij}^{(k)} = 0 \quad (i \in C, j \in C - \{i\}, k \in K) \tag{6}$$

$$x_{ij}^{(k)} = 0 \quad (i \in P, j \in P - \{i\}, k \in K) \tag{7}$$

$$\sum_{k \in k_c} x_{ij}^{(k)} = 1 \quad (i \in P, \quad j \in C) \tag{8}$$

$$\sum_{k \in k_p} x_{ij}^{(k)} = 1 \quad (i \in C, \quad j \in P) \tag{9}$$

$$x_{ij}^{(k)} = x_{ji}^{(k+6)} \quad (i \in C \wedge j \in P) \tag{10}$$

$$x_{ij}^{(k)} = x_{ji}^{(k+6)} \quad (i \in P \wedge j \in C) \tag{11}$$

(1)式は，移動距離が最大のチームの移動距離を最小にすることを示している．(2)式は，全期間において各チームは必ずどこかの球場で試合をすることを示している．(3)式は，交流戦開始時と終了時には，各チームは本拠地にいることを示している．(4)式は，セリーグが本拠地で試合を行う期間においてセリーグのチームは，セリーグの本拠地で試合を行うことを示している．(5)式は，パリーグがホームで試合を行う期間においてパリーグのチームは，パリーグの本拠地で試合を行うことを示している．(6)式は，セリーグのチームは，自分以外のセリーグの球場で試合を行わないことを示している．(7)式は，パリーグのチームは，自分以外のパリーグの球場で試合を行わないことを示している．(8)式は，セリーグの本拠地で試合を行う期間において，パリーグのチームは，セリーグの球場で試合を行うことを示している．(9)式は，パリーグのホームで試合を行う期間において，セリーグのチームは，パリーグの球場で試合を行うことを示している．式(10),(11)はミラーリングを示している．

4. 求解の方法

本研究で扱う問題は，3 節で示した目的関数を見てわかるように 2 次になっている．このような問題を 2 次割当問題という．2 次割当問題は，NP-困難な組合せ最適化問題であり，またこの問題を解く既存のソルバーも見当たらない．そのため本研究では，3 節で示したモデルに沿って実行可能なスケジュール(812851200 通り)を全て生成し，それぞれのスケジュールに対して目的関数値を算出する全数列挙法で最適解を求めた．

5. 数値実験結果と考察

4 節で述べた方法で実験を行ったところ 3 時間程度で最適解を求めることが出来た．

5-1　現用のH・Aパターンのもとでの最適解

図 1 は，現在使われているスケジュールと現用の H・A パターンの下，3 節で示したモデルに沿って得られた最適解との比較をしたグラフである．最適解は，現用のスケジュールと等しい解となった．

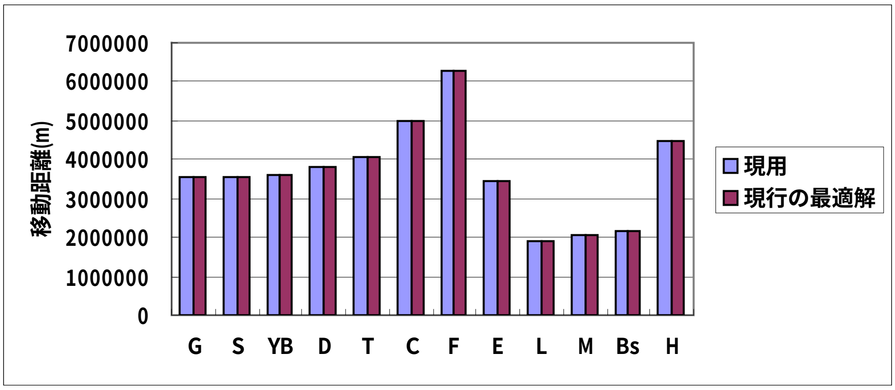

図 1.現用のスケジュールと最適解の比較

5-2　提案するH・Aパターンのもとでの最適解

5-1 節で求めた結果から，現状の H・A パターンのもとでは，これ以上最大移動距離を短縮することは不可能であることが分かった．そこで，H・A パターンを変更することにより最大移動距離の短縮を目指す．

表 3.提案する H・A パターン①

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
セ	A	A	A	H	H	H	H	H	H	A	A	A
パ	H	H	H	A	A	A	A	A	A	H	H	H

表 4.提案する H・A パターン②

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
セ	H	H	H	A	A	A	A	A	A	H	H	H
パ	A	A	A	H	H	H	H	H	H	A	A	A

図 2 は，それぞれの H・A パターンによる移動距離を比較したものである．H・A パターンを変えることにより, 本研究の目的関数である, 移動距離が最大のチームの移動距離が短縮されることが分かった．

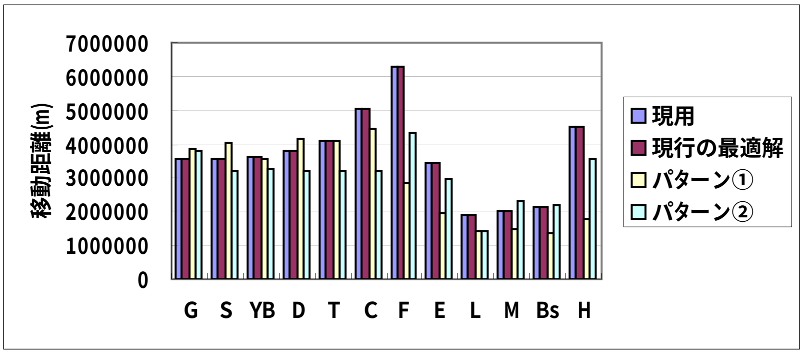

図 2.H・A パターンによる移動距離の比較

6. まとめと今後の課題

本研究では，プロ野球セ・パ交流戦において，移動距離が最大となるチームの移動距離を最小にし，チーム間の移動距離による格差を最小化することを目的として研究を行った．現用のスケジューリングは，現行の H・A パターンのもとでは，最適値と等しい値をとり，改善の余地は無いことが分かった．しかし，H・A パターンを変えることにより，移動距離が最大のチームの移動距離が短縮されることが分かった．

本研究では，移動距離だけに着目してスケジューリングを行ったが，移動距離だけでなく，移動にかかる費用, 休日にホームゲームが行われるか否かによる各チームの興行収入のばらつきなどを, 考慮した再スケジューリングも必要である．これらは今後の課題としたい．

7.参考文献

[1] 鈴鹿 順美,吉瀬 章子 :「スポーツのスケジューリング」2000 年度オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集，pp.254-255(2000)

[2] 宮代 隆平,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(経営の科学)，vol.50,no.2.pp.119-124(2005)

[3] 日本野球機構オフィシャルサイト　www.npb.or.jp　最終閲覧日　2010/1/14