原著論文

プロ野球の試合において雨天中止の可能性を考慮した スケジュールの作成 —2017年セ・リーグ公式戦日程の場合—[†]

星野 怜旺^{*1}・椎名 孝之^{*1}・森戸 晋^{*1}・今泉 淳^{*2}

本研究では、プロ野球において、球団間の未消化試合数の差ができるだけ小さくなるようなスケジュールの作成を目的とする。確定的なスケジュールの作成のみにとどまらず、雨天中止という不確実性を考慮したスケジュールを考える。まず整数計画法によりスケジュールを生成する。そして雨天中止を考慮することにより、球団間の未消化試合数の差の最小化を図る。本研究では、実際の日程と比較して全体の未消化試合数を抑えるとともに、各チームの最大値と最小値の差も抑えることが出来た。これにより、球団間の未消化試合数の差を抑制できた。

キーワード：スポーツスケジューリング、不確実性、最適化、雨天中止

1. 研究背景と目的

様々なスポーツにおいて試合もしくは大会を行う際、予めスケジュールを決める必要がある。その際に、競技の種類によっては雨天などによって試合が中止になることも考慮しなければならない。その代表的なものとしてプロ野球の公式戦が挙げられる。プロ野球の公式戦は2016年の場合、1シーズンに1球団当たり143試合を行った。これはリーグ戦としては非常に長い上に、雨天などで試合が中止になると後日に延期となる。また近年のドーム球場の出現に伴って、雨天であっても試合開催の可否が異なる場合が生じる。スケジュールの作成において、すべての球団に対する公平性を保証する必要がある。公平性の測り方には様々な指標が考えられるが、本研究では球団間の未消費試合数の差に基づいたスケジュールの作成について考察する。

スポーツのスケジューリングに関しては、松井 [1]、宮代、松井 [2]、池辺 [3] らの論文が、モデルおよび手法を詳しく分類している。Russel and Leung [4] らは、野球のリーグ戦のスケジュールを局所探索法により求めた。Nemhauser and Trick [5] はアメリカのバスケットボールの大学リーグについて、諸々の制約条件を満たすスケジュールを列挙した後に、TV放映による要請をもとに最適なスケジュールを決定した。Birge [6] は小規模の問題について Microsoft Excel を用いた数値例を示した。Trick et al. [7] は、野球のメジャーリーグにおいて審判の移動ス

ケジュールを最適化する問題を取り扱った。特に、Nemhauser and Trick [5] の論文では、実際に必要となる制約や問題に対する詳しい記述があるため参考になるが、直接的に日本プロ野球におけるスケジュールに応用することは困難であると考えられる。なぜなら、日本においては雨天順延が多く、良いスケジュールを求めたとしても、後にこれらが計画通りに遂行できない可能性が高いからである。中出、大栗 [8] は、過去のデータから各月日において各球場の試合が中止になる確率を定め、その値をもとにして実際の2000年セ・リーグ公式戦日程において、どの程度消化した試合数に差が生じているか解析を行い、試合の入れ替えによる既存スケジュールの改善策を示しているが、元となるスケジュールの作成は扱っていない。本論文では、確定的なスケジュールの作成のみにとどまらず、雨天中止という不確実性を考慮したスケジュールを考える。まず整数計画法によりスケジュールを生成する。そして雨天順延を考慮することにより、球団間の未消化試合数の差の最小化を図る。

2. プロ野球セ・リーグ公式戦日程

スポーツスケジューリングでよく扱われる状況が、全てのチームが他のチームと1度ずつ戦う single round-robin schedule や他のチームと2度ずつ（ホーム&アウェイで）戦う double round-robin schedule である。特に double round-robin schedule はJリーグ1部における年間通しての日程などで採用されている。本研究ではセ・リーグの6球団（C,G,B,T,S,D）が他の球団とホーム&アウェイで12試合ずつ戦い、交流戦は別として1球団当たり合計120試合の日程を扱う。同一球団同士の3連戦を1節と呼ぶ。各節で全ての球団は試合を行うものとする。1クールとは、他の全ての球団と1度ずつH（ホーム）&A（アウェイ）で合計10節行う試合の集合を表す。全日程120試合は4つのクールから構成される。また、地方球場での開催は行わないものとし、各球団のフランチャイズ球場でのみ開催するものとする。

[†] Creation of a Schedule Considering the Possibility of Rainout in a Professional Baseball Game – In the Case of Central League Schedule in 2017 –

Reo HOSHINO, Takayuki SHIINA, Susumu MORITO,
and Jun IMAIZUMI

^{*1} 早稲田大学
Waseda University

^{*2} 東洋大学
Toyo University

節	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
パターン1	H	A	A	H	A	A	H	H	A	H
パターン2	A	H	A	H	A	A	H	A	H	H
パターン3	A	H	A	A	H	A	H	H	A	H
パターン4	A	H	H	A	A	H	A	A	H	H
パターン5	H	A	H	A	H	H	A	H	A	A
パターン6	H	A	A	H	A	H	A	A	H	H
パターン7	A	H	H	A	A	H	H	A	A	H
パターン8	H	A	H	H	A	H	A	A	H	A
パターン9	A	H	H	A	A	H	H	A	H	A
パターン10	H	A	A	H	A	H	H	A	A	H
パターン11	A	H	A	A	H	H	A	A	H	H
パターン12	H	A	A	H	A	H	H	A	H	A
パターン13	A	H	H	A	A	H	A	A	H	A
パターン14	H	A	H	A	A	H	A	H	A	H
パターン15	H	A	H	A	A	H	A	H	H	A
パターン16	H	A	H	H	A	A	H	H	A	A
パターン17	H	A	A	H	H	A	A	H	A	H
パターン18	A	H	H	A	H	A	A	H	A	H
パターン19	H	A	A	H	H	A	A	H	H	A
パターン20	A	H	H	A	H	A	A	H	H	A
パターン21	H	A	A	H	H	A	H	H	A	A
パターン22	A	H	H	A	H	A	H	H	A	A
パターン23	A	H	A	H	H	A	H	A	H	A
パターン24	A	H	A	H	H	A	H	A	A	H

図1 列举されたパターン (第1ルール)

	節	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HAT1	パターン1:	H	A	A	H	A	A	H	H	A	H
	パターン2:	A	H	A	H	A	A	H	A	H	H
	パターン3:	A	H	A	A	H	A	H	H	A	H
	パターン5:	H	A	H	A	H	H	A	H	A	A
	パターン8:	H	A	H	H	A	H	A	A	H	A
	パターン13:	A	H	H	A	H	H	A	A	H	A
HAT2	パターン4:	A	H	H	A	A	H	A	A	H	H
	パターン10:	H	A	A	H	A	H	H	A	A	H
	パターン15:	H	A	H	A	A	H	A	H	H	A
	パターン19:	H	A	A	H	H	A	A	H	H	A
	パターン22:	A	H	H	A	H	A	H	H	A	A
HAT3	パターン4:	A	H	H	A	A	H	A	A	H	H
	パターン11:	A	H	A	A	H	H	A	A	H	H
	パターン12:	H	A	A	H	A	H	H	A	H	A
	パターン16:	H	A	H	H	A	A	H	H	A	A
	パターン18:	A	H	H	A	H	A	A	H	A	H
HAT352	パターン6:	H	A	A	H	A	H	A	A	H	H
	パターン9:	A	H	H	A	A	H	H	A	H	A
	パターン10:	H	A	A	H	A	H	H	A	A	H
	パターン18:	A	H	H	A	H	A	A	H	A	H
	パターン20:	A	H	H	A	H	A	A	H	H	A
	パターン21:	H	A	A	H	H	A	H	H	A	A

図2 列举されたHAT (第1ルール)

3. スケジュール作成

ここでは、ルールごとに諸々の制約を満たすスケジュールを全列挙する。スケジュール作成の方法は Nemhauser and Trick[5] を参考にし、以下の手順で行った。パターン生成部では、ある1球団の10節分(1ルール分)のH(ホームゲーム)、A(アウェイゲーム)の組み合わせについて、以下の制約を満たすものを全列挙する。

- H, A とともに5節
- 週末カード(金土日の節とGW)のHの数が全球団同一(週末カードが奇数の場合は差が1以内)
- 3節連続H, 3節連続Aがない
- (ルール1のみ) 第1節でHならば第2節はA, 第1節でAならば第2節はH

第1ルールの全列挙されたパターンを図1に示す。続いてHAT(ホームアウェイテーブル)生成を行う。HATとは、各球団について各日程の試合がHであるかAであるかをまとめたものを指す。ここでは、パターン生成部で生成された全パターンから6つ(6球団分)を選んでHATを作成する。HATとなる必要条件としては、各節が3つのH, 3つのAで構成される必要があり、この条件を満たすものを全列挙する。第1ルールの列举されたHATの一部を図2に示す。

HATを基にして、実行可能スケジュールの作成を行う。ここでは、HAT生成部で得られた全てのHAT(第1ルールにおいて352通り)に対して、それぞれに対応する実行可能スケジュールを全て列挙する。それぞれのHATの6つのパターン

に対して、実際の球団名(C,G,...)は割り当てずに仮の球団名(1~6)を割り当てる。そこで、以下のように定式化を行った。

W を球団の集合、 Z を節の集合とする。変数 x_{ijk} を第 k 節に球団 i と球団 j が i のHで対戦するならば1, さもないければ0をとる0-1変数とする。

定数 q_{ik} は扱っているHATの第 i 球団の第 k 節がHならば1, さもないければ0をとる。また、定数 y_{ijkn} は n 個目に作成されたスケジュールの第 k 節に球団 i と球団 j が i のHで対戦するならば1, さもないければ0をとる。また、 N をこれまで作成された実行可能スケジュールの個数とする。実行可能スケジュール作成問題の定式化を以下に示す。

$$\min \sum_{i \in W} \sum_{j \in W} \sum_{k \in Z} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{k \in Z} x_{ijk} = 1, \forall i \in W, \forall j \in W, i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{j \in W} (x_{ijk} + x_{jik}) = 1, \forall i \in W, \forall k \in Z \quad (3)$$

$$x_{ijk} + x_{ij(k+1)} + x_{jik} + x_{ji(k+1)} \leq 1, \quad \forall i \in W, \forall j \in W, \forall k \in Z \quad (4)$$

$$x_{ijk} + x_{ij(k+2)} + x_{jik} + x_{ji(k+2)} \leq 1, \quad \forall i \in W, \forall j \in W, \forall k \in Z \quad (5)$$

$$-q_{ik} + x_{ijk} \leq 0, \forall i \in W, \forall k \in Z \quad (6)$$

$$q_{jk} + x_{ijk} \leq 1, \forall i \in W, \forall k \in Z \quad (7)$$

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in W} \sum_{k \in Z} y_{ijkn} \times x_{ijk} \leq 29, n \in \{1, \dots, N\} \quad (8)$$

目的関数(1)は試合数の最小化を表しているが、試合数は一

意に定まっているため、これは形式上の目的関数である。制約条件 (2) は他の全球団と H&A で 1 節ずつ対戦する制約、(3) はどの球団も各節に必ず 1 試合行う制約、(4) は連続する節で同じ組み合わせになることを禁止する制約、(5) は 1 節空けて再度同じ組み合わせになることを禁止する制約、(6)(7) は i と j が対戦するとき i が H, j が A になる制約、(8) は同じスケジュールが重複して作成されることを禁止する制約である。これは、10 節における対戦カード数が 30 であることから導かれる。

得られた実行可能スケジュールをもとに、球団名割り当てに移る。実行可能スケジュールに対して、球団間の未消化試合数の差を最小化するような球団名割り当てを行うのは 2 次割り当て問題であり、難しい問題である。よって、作成された全ての実行可能スケジュールについて仮球団 (1, ..., 6) に球団名を全列挙法で割り当てる。まず、以下の制約を満たすものを全列挙し、未消化試合の解析については、次節に示す。

- (i) 各仮球団に球団名を 1 つずつ割り当てる
- (ii) (第 1 クールのみ) 第 1 節は 2 年前の 3 位以上の球団 (S,G,T) のホームで行う

W を球団の集合、 Z を節の集合、 P, I を球団名と仮の球団名の集合とする。変数 x_{ip} を仮球団 i が球団名 p に割り当てられるならば 1、さもなければ 0 とする 0-1 変数とする。球団名割り当て問題においては、以下のように記号を定義する。定数 a_{ijk} を扱っている実行可能スケジュールにおいて仮球団 i と j が i の H で第 k 節に対戦するならば 1、さもなければ 0 となるものとする。扱っている実行可能スケジュールにおいてこれまでに割り当てられた数を N , y_{ipn} を扱っている実行可能スケジュールにおいて n 個目の割り当てで仮球団 i が球団名 p に割り当てられているならば 1、さもなければ 0 を表す定数とする。

球団名割り当て問題は以下のように定式化できる。

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} x_{ip} \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in I} x_{ip} = 1, \forall p \in P \quad (10)$$

$$\sum_{p \in P} x_{ip} = 1, \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in I} a_{ij1} \times (x_{ipG} + x_{ipT} + x_{ipS}) = 3, \quad (12)$$

第 1 クールのみで考慮

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} x_{ip} \times y_{ipn} \leq 5, n \in \{1, \dots, N\} \quad (13)$$

ここで、 p_G, p_T, p_S はそれぞれ球団 G, T, S を表している。

目的関数 (9) は割り当てられる球団数の最小化を表しているが、これは球団数 (=6) になることが明らかなので形式上の目的関数である。制約式 (10), (11) は各仮球団に球団名を 1 つずつ割り当てる制約、(12) は (第 1 クールのみ) 第 1 節は 2 年前の 3 位以上の球団 (S,G,T) のホームで行う制約とそれぞれ対応し、(13) は同じ球団名割り当てが重複してされることを禁止する制約である。

第 1 クールのみ、第 1 節は 2 年前の 3 位以上の球団 (S,G,T) のホームで行う制約を導入したので実行可能スケジュール 1 つ

当たり $36=3! \times 3!$ 通りの球団名割り当てが存在し、第 2~4 クールは実行可能スケジュール 1 つ当たり $720=6!$ 通りの球団名割り当てが存在する。

ここまででクールごとに制約を満たすスケジュールを全列挙することができた。

4. 未消化試合の解析

最近 10 年間 (2007~2016) のデータを基に、作成したそれぞれのスケジュールを消化したときに、該当クールで中止になる試合数の期待値を球団別に求めた。解析の方法は中出、大栗 [8] を参考にし、使用したデータは日本プロ野球機構 [9] のものを利用した。

まず、各球場における中止の確率を考える。試合日 $x(x=3/31, 4/1, \dots, 9/14)$ ごとに各球場における中止の確率を定める。ただしドームでの試合については中止にならない (全ての x について $P_G(x) = P_D(x) = 0$) と見なし、他の 4 球場における確率 $P_C(x), P_B(x), P_T(x), P_S(x)$ について次の式 (14) を用いて求めた。

$$P_i(x) = \frac{\sum_{y=x-7}^{x+7} t_i(y)}{\sum_{y=x-7}^{x+7} d_i(y)}, i \in \{C, B, T, S\} \quad (14)$$

ここで、 $d_i(x)$ は球団 i の本拠地において 10 年間の中で x 日に予定された試合数、 $t_i(x)$ はその中で中止になった試合数を表す。

次に、各球団間の対戦における未消化試合数の確率を考える。式 (14) で求めた値を用いて、列挙したそれぞれのスケジュールを消化したときの各球団間の対戦における未消化試合数を以下の方法で計算する。

各クールにおける開始日を 1 日目として終了日を 30 日目とする。球団 i をホームとし、 j と対戦するカードを (i, j) ($i, j \in \{C, G, B, T, S, D\}$) で表し、 n ($n \in \{1, 2, \dots, 30\}$) 日目までに中止となる対戦カード (i, j) の試合総数が k となる確率を $Q_{n,(i,j)}(k)$ とする。なおドームでの試合は中止にならないと見なしているため、 $i = G, D$ のときは全ての j, n に対して $Q_{n,(i,j)}(0) = 1$ となる。

- (i) n 日目に対戦があるとき (ドーム以外)

$$Q_{n,(i,j)}(k) = Q_{n-1,(i,j)}(k-1)s_i(n) + Q_{n-1,(i,j)}(k)(1-s_i(n)) \quad (15)$$

- (ii) n 日目に対戦がないとき、またはドームでの対戦のとき

$$Q_{n,(i,j)}(k) = Q_{n-1,(i,j)}(k) \quad (16)$$

ここで $s_i(n)$ は n 日目に i の本拠地で試合を行うときに中止となる確率を表す。 n 日目の月日が x であるとき $s_i(n) = P_i(x)$ である。初期値として全ての i, j について $Q_{0,(i,j)}(0) = 1$ として $n = 1, 2, \dots$ の順に計算することにより、クール終了時に対戦カード (i, j) が k 試合中止となる確率 $Q_{30,(i,j)}(k)$ を求めることができる。

次にこの計算結果を用いて H, A を問わずに球団 i, j 間の未消化試合数がクール終了時に k 存在する確率 $q_{(i,j)}(k)$ を次の計算式で求める。

$$q_{(i,j)}(k) = \sum_{m=0}^k Q_{30,(i,j)}(m) Q_{30,(j,i)}(k-m) \quad (17)$$

各球団において未消化となる試合数の確率については、(17) で求めた $q_{(i,j)}(k)$ を用いてクール終了時において球団 i が k 試合未消化である確率 $g_i(k)$ を次の計算式で求める。

$$g_i(k) = \sum_{(k_{j_1}, k_{j_2}, k_{j_3}, k_{j_4}, k_{j_5}) \in A_i(k)} \prod_{m=1}^5 q_{(i,j_m)}(k_{j_m}), \quad (18)$$

$$(A_i(k) = \{(k_{j_1}, k_{j_2}, k_{j_3}, k_{j_4}, k_{j_5}) |$$

$$k = k_{j_1} + k_{j_2} + k_{j_3} + k_{j_4} + k_{j_5}\})$$

ここで、球団 i 以外の 5 球団を j_1, j_2, j_3, j_4, j_5 と表し、球団 i, j_m ($m \in \{1, \dots, 5\}$) 間の未消化試合数が k_{j_m} である確率は $q_{(i,j_m)}(k_{j_m})$ と示される。

各球団の未消化試合数の期待値については、以下のように求める。式 (18) で求めた計算結果と次の計算式を用いて、球団 i が未消化となる試合数の期待値 E_i を求める。

$$E_i = \sum_{k=0}^{30} g_i(k) \times k \quad (19)$$

5. 全体のスケジュール作成

第 3 節および第 4 節を通してクール毎にスケジュール作成と未消化試合の解析を行ったが、ここでは第 1~4 クールのスケジュールを繋ぎ合わせて最適なスケジュールを決定する。

まず、全てのクール毎のスケジュールについて $\sum_{i=1}^6 E_i$ (未消化試合数の和) を求め、それぞれのクールにおいてこの値が小さい 1,000 個のスケジュールについて扱う。

そして各クールのスケジュールを繋ぎ合わせ、1000⁴ 通りのスケジュールが列挙される。但し以下の 3 つの条件を満たすスケジュールのみを許可する。

- どの球団も 3 連続 H、3 連続 A になることがない。
- 連続する節で同じ相手と試合する球団がない。
- 1 節空けて再度同じ相手と試合する球団がない。

以上の結果、538,082 通りのスケジュールが生成された。それぞれのスケジュールについて球団毎の未消化試合数の期待値 (第 1~4 クールの E_i の合計) を求める。そして、各スケジュール毎にこの値の最大値と最小値の差 (=レンジ) を求め、この差が最も小さいスケジュールを最適とする。

6. 数値実験

本研究で使用する実験環境は、Windows10 64bit CPU:core i7-4770U (2.50GHz) 8.00GB とし、最適化は AMPL/CPLEX を使用する。

クール毎のスケジュール作成・未消化試合の解析において各段階で作成された数と計算時間についてまとめたものを表 1 に示す。また、全体のスケジュール作成において各段階で作成されたスケジュール数と計算時間についてまとめたものを表 2 に示す。

球団名割当と未消化試合の解析については複数の CPU で実装し、各々の計算時間の合計としている。

第 5 節で作成された 538,082 通りのそれぞれのスケジュールについて球団毎の未消化試合数の期待値 (第 1~4 クールの E_i

表 1 クール毎のスケジュール作成・解析の計算時間

実行内容	作成された数	計算時間 (秒)
クール 1: パターン生成	24	10
HAT 生成	352	180
実行可能スケジュール作成	56	400
球団名割当 + 未消化試合の解析	2016	21000
クール 2: パターン生成	48	25
HAT 生成	6948	5800
実行可能スケジュール作成	1008	650
球団名割当 + 未消化試合の解析	725760	3628800
クール 3: パターン生成	48	25
HAT 生成	7312	6100
実行可能スケジュール作成	812	580
球団名割当 + 未消化試合の解析	584640	2923200
クール 4: パターン生成	36	20
HAT 生成	1682	350
実行可能スケジュール作成	338	2000
球団名割当 + 未消化試合の解析	243360	1216800

表 2 全体のスケジュール作成の計算時間

	作成された数	計算時間 (秒)
第 1 クール + 第 2 クール	6445	400
第 3 クール + 第 4 クール	7194	400
第 1,2 クール + 第 3,4 クール	538082	55800

表 3 各球団の未消化試合数の期待値 (E_i)

球団	C	G	B	T	S	D
本研究	4.843	2.805	4.932	4.784	4.897	3.136
実際の日程	5.694	3.299	5.724	5.587	5.714	3.036

の合計) を求める。そして、各スケジュール毎にこの値の最大値と最小値の差 (=レンジ) を求め、この差が最も小さいスケジュールを最適とする。

日本プロ野球機構 [9] を参考にし、実際に公表されている 2017 年セ・リーグ公式戦日程について 5 節の解析を行い、6 節で求めた最適なスケジュールと比較する。

但し、実際のスケジュールでは各球団が 25 試合ずつ対戦している為、本研究の条件と揃えるために、H&A で 12 試合ずつ戦う部分のみ (最後の 1 試合を除いて) 解析を行った。

また、実際の日程では地方球場での試合があるが、対象となるデータが少なすぎるため、データが多数とれるドーム以外の 4 球団のホーム球場の値の平均値を用いることとした。但し、地方球場の中にドーム球場もあるが、その場合は中止にならないとみなす。

表 3 より、屋外の球場を本拠地とする球団 (C,B,T,S) の E_i について比べてみると、いずれの球団も本研究の方が 0.8 程度値が小さくなっていることが分かる。またレンジについて比べてみると、実際の日程が 2.688 であるのに対し、本研究は 2.127 と小さくなっている。

また、この場合球団 D のみ実際の日程より期待値が大きくなっていることが分かる。そこで、全球団の期待値が実際の日程より小さくなるスケジュールと解析した期待値を表 4 に示す。

表4 各球団の未消化試合数の期待値（レンジ最小・全球団改善）

球団	C	G	B	T	S	D	レンジ
本研究 (レンジ最小)	4.843	2.805	4.932	4.784	4.897	3.136	2.127
本研究 (全球団改善)	4.879	2.932	5.013	4.805	4.911	2.858	2.155
実際の日程	5.694	3.299	5.724	5.587	5.714	3.036	2.688

第1節	G-D	T-B	S-C				
第2節	C-G	B-S	D-T				
第3節	C-D	G-B	T-S				
第4節	B-C	T-G	S-D				
第5節	C-T	G-S	D-B				
第6節	G-C	T-D	S-B				
第7節	C-S	B-T	D-G				
第8節	C-B	G-T	D-S				
第9節	B-D	T-C	S-G				
第10節	B-G	S-T	D-C				
第11節	C-S	G-D	T-B				
第12節	C-T	B-D	S-G				
第13節	G-C	B-S	D-T				
第14節	C-B	T-G	S-D				
第15節	B-G	S-T	D-C				
第16節	G-S	T-C	D-B				
第17節	C-G	T-D	S-B				
第18節	C-D	G-B	T-S				
第19節	G-T	B-C	D-S				
第20節	B-T	S-C	D-G				
第21節	C-D	G-S	T-B				
第22節	G-T	S-C	D-B				
第23節	B-C	S-T	D-G				
第24節	C-T	B-G	D-S				
第25節	C-B	G-D	T-S				
第26節	G-C	T-D	S-B				
第27節	B-T	S-G	D-C				
第28節	C-S	B-D	T-G				
第29節	G-B	T-C	S-D				
第30節	C-G	B-S	D-T				
第31節	B-T	S-C	D-G				
第32節	C-D	G-B	T-S				
第33節	B-D	T-C	S-G				
第34節	C-B	G-T	D-S				
第35節	G-C	T-D	S-B				
第36節	B-G	S-T	D-C				
第37節	C-T	G-S	D-B				
第38節	B-C	T-G	S-D				
第39節	C-S	G-D	T-B				
第40節	C-G	B-S	D-T				

図3 本研究における最適なスケジュール（レンジ最小）

球団 D 以外の期待値やレンジは、レンジ最小のスケジュールより若干大きくなっているが、それでも実際の日程よりは大きく改善できていることが分かる。作成されたスケジュールを図3と図4に示す。

7. 結論

本研究では、実際の日程と比較して確率的に全体の未消化試合数を抑えけるとともに、レンジ（期待値の最大値と最小値の差）も抑えることが出来た。よって、球団間の未消化試合数の差を小さくすることができた。また、諸々の制約を満たすスケジュールを全列挙してから最適なものを選んでいるので、日程作成者の意向によって制約を設定したり、全列挙したスケジュールの中から採用するスケジュールを選択したりすることが容易であるという利点もある。本研究で省略した交流戦や地方球場での開催を考慮したモデルへの拡張も課題である。

参考文献

- [1] 松井知己: “スポーツのスケジューリング,” オペレーションズ・

第1節	G-D	T-B	S-C				
第2節	C-G	B-S	D-T				
第3節	C-D	G-B	T-S				
第4節	B-C	T-G	S-D				
第5節	C-T	G-S	D-B				
第6節	G-C	T-D	S-B				
第7節	C-S	B-T	D-G				
第8節	C-B	G-T	D-S				
第9節	B-D	T-C	S-G				
第10節	B-G	S-T	D-C				
第11節	C-S	G-D	T-B				
第12節	C-T	B-D	S-G				
第13節	G-C	B-S	D-T				
第14節	C-B	T-G	S-D				
第15節	B-G	S-T	D-C				
第16節	G-S	T-C	D-B				
第17節	C-G	T-D	S-B				
第18節	C-D	G-B	T-S				
第19節	G-T	B-C	D-S				
第20節	B-T	S-C	D-G				
第21節	C-D	G-S	T-B				
第22節	G-T	S-C	D-B				
第23節	B-C	S-T	D-G				
第24節	C-T	B-G	D-S				
第25節	C-B	G-D	T-S				
第26節	G-C	T-D	S-B				
第27節	B-T	S-G	D-C				
第28節	C-S	B-D	T-G				
第29節	G-B	T-C	S-D				
第30節	C-G	B-S	D-T				
第31節	G-D	T-B	S-C				
第32節	C-B	G-T	D-S				
第33節	B-D	T-C	S-G				
第34節	C-D	B-G	T-S				
第35節	G-C	S-B	D-T				
第36節	B-C	T-G	S-D				
第37節	C-T	G-S	D-B				
第38節	G-B	S-T	D-C				
第39節	C-G	B-S	T-D				
第40節	C-S	B-T	D-G				

図4 どの球団も期待値が実際の日程より小さくなるスケジュール

- リサーチ, Vol.44, No.3, pp. 141-146, 1999.
- [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, Vol.50, No.2, pp. 119-123, 2005.
- [3] 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, Vol.51, No.7, pp. 392-395, 2006.
- [4] R. A. Russel and J. M. Y. Leung: “Devising a cost effective schedule for a baseball league,” *Operations Research*, Vol.42, No.4, pp. 614-625, 1994.
- [5] G. L. Nemhauser and M. A. Trick: “Scheduling a major college basketball conference,” *Operations Research*, Vol.46, No.1, pp. 1-8, 1998.
- [6] J. R. Birge: “Scheduling a Professional Sports League in Microsoft Excel: Showing Students the Value of Good Modeling and Solution Techniques,” *INFORMS Trans. on Education*, Vol.5, No.1, pp. 56-66, 2004.
- [7] M. A. Trick, H. Yildiz, and T. Yunes: “Scheduling Major League Baseball Umpires and the Traveling Umpire Problem,” *Interfaces*, Vol.42, No.3, pp. 232-244, 2012.
- [8] 中出康一, 大栗和久: “プロ野球の日程終了時における未消化となる試合数のばらつきの評価,” オペレーションズ・リサーチ, Vol.46, No.10, pp. 576-584, 2001.
- [9] 日本プロ野球機構: <http://npb.jp/> [accessed Dec. 1, 2017]
(2017年12月5日 受付)
(2018年5月15日 採録)

[問い合わせ先]

〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1

早稲田大学創造理工学部経営システム工学科

椎名 孝之

E-mail: tshiina@waseda.jp

—— 著 者 紹 介 ——

ほしの れお
星野 怜旺 [非会員]

2017 年早稲田大学創造理工学部経営システム工学科卒業。

しいな たかゆき
椎名 孝之 [正会員]

1989 年 3 月早稲田大学理工学部工業経営学科卒業。1991 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科工業経営学専攻修了。2000 年 6 月より 2001 年 9 月まで Northwestern University 客員研究員。2016 年 4 月より、早稲田大学創造理工学部経営システム工学科 教授。博士（工学）。数理計画法、特に不確実な状況下での意思決定に関心がある。日本オペレーションズ・リサーチ学会、日本応用数理学会などの会員。

もりと すすむ
森戸 晋 [非会員]

1969 年 3 月早稲田大学理工学部工業経営学科卒業。1971 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科工業経営学専攻修了。1975 年 6 月 Case Western Reserve University, Department of Operations Research, Ph.D. 1975 年 6 月 Case Western Reserve University, Assistant Professor. 1980 年 7 月筑波大学社会学系助教授。1983 年 4 月早稲田大学理工学部工業経営学科助教授 1985 年 4 月同教授。現在、早稲田大学名誉教授。組み合わせ最適化の応用に関心がある。日本オペレーションズ・リサーチ学会、INFORMS などの会員。

いまいづみ じゅん
今泉 淳 [非会員]

1989 年 3 月早稲田大学理工学部工業経営学科卒業。1993 年 4 月同大学助手。1997 年 4 月東洋大学経営学部専任講師。2002 年同助教授。同准教授を経て、2009 年 4 月同教授。博士（工学）。数理計画の応用全般に関心があり、各種スケジューリング問題に関する研究に従事する。所属学会は、日本オペレーションズ・リサーチ学会、日本経営工学会、スケジューリング学会、INFORMS など。

Creation of a Schedule Considering the Possibility of Rainout in a Professional Baseball Game
– In the Case of Central League Schedule in 2017 –

by

Reo HOSHINO, Takayuki SHIINA, Susumu MORITO, and Jun IMAIZUMI

Abstract:

In this research, we aim to create a schedule in professional baseball that makes the difference of remaining game number among teams as small as possible. We consider not only making of deterministic schedule, but also a schedule that takes into account uncertainty such as cancellation due to rain. First, a schedule is generated by integer programming. By considering the rainout, we try to minimize the difference in the number of remaining games among the teams. In this research, we reduced the number of remaining games compared with the actual schedule, the difference between the maximum expected value and the minimum value of each team could also be suppressed. As a result, it is possible to reduce difference in the number of remaining games among the teams.

Keywords: sports scheduling, uncertainty, optimization, rainout

Contact Address: **Takayuki SHIINA**

Department of Industrial and Management Systems Engineering, School of Creative Science and Engineering, Waseda University
3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan
E-mail: tshiina@waseda.jp