スポーツのスケジューリング

松井 知己

1. はじめに

本稿の目的は, スポーツスケジューリング問題に関する研究について 簡単にまとめることである.

ある種のスポーツ競技においては, いくつかのチーム (プレイヤー) が互いに戦い, その結果で順位を決定する. このとき, 試合のスケジュールは非常に重要な問題となるが, その理由は様々なものが入り交じっている. それは例えば, 競技施設の数による制約であったり, チーム間の公平さによるものであったり, ＴＶ放映のスケジュール, あるいはチームの移動コストが問題となることもある. このように様々の制約と要求を満たすスケジュールを作ることは, 非常に難しい問題となることが多い. 海外の文献を見る限りでは, スポーツ競技団体から依頼されて ＯＲの研究者がスポーツスケジューリング問題の研究を行うことは少なくないようである [1,9,12,13,14].

本稿第 2 節では, スポーツスケジューリングに関する用語の定義を行い, 第 3 節で議論の基礎となる「基準スケジュール」についてまとめる. 第 4 節では, 「実際のチーム名の割当問題」の多くが 2 次割当問題となることを示し, 第 5 節では「実行可能スケジュールの生成法」についてまとめる.

2. スポーツスケジューリング問題

本稿では原則的に, チームが $2n$(偶数) 存在する状況について議論する. チームの集合を $P = \{1,2,\ldots,2n\}$ と書く. 以下で考慮するのは, 全てのチーム対が 1 回ずつ戦う状況である. これは, いわゆる総当たり戦であり, 総試合数は $n(2n-1)$ である. 各試合は, 対戦する 2 チームのどちらかのホームグラウンドで行う. チーム i と j が戦う際, チーム i のホームグラウンドで試合を行うならば, この試合はチーム i のホームゲームであると言い, チーム j のアウェイゲームであると言う. 毎日 n 試合が平行して行われるとし, 全試合は $2n-1$ 日で終了する. このようなスケジュールを組むことは可能であり, 図 1 に $2n = 6$ チームの例を挙げる (一般の $2n$ の場合については, 後に議論する). 図 1 の 1 日目の試合は「チーム 6 とチーム 1」, 「チーム 5 とチーム 2」, 「チーム 3 とチーム 4」の戦う 3 試合である. 試合は前に書かれているチームのグラウンドで行うとする. すなわち, 1 日目の試合はチーム 6,5,3 のホームグラウンドで行われる. このような試合スケジュールを作成する問題を, スポーツスケジューリング問題と呼ぶ.

各チームについて, 各日程の試合がホームゲーム (H) であるか, アウェイゲーム (A) であるかをまとめたものを (本稿では) ホームアウェイテーブル (HAT) と呼ぶ. 図 1 に対応する HAT を図 2 に挙げる. 異なるスケジュールが同一の HAT を持つこともある [12].

日程	H-A	H-A	H-A
1 日目	6-1	5-2	3-4
2 日目	2-6	1-3	4-5
3 日目	6-3	2-4	5-1
4 日目	4-6	3-5	1-2
5 日目	6-5	4-1	2-3

図 1: チーム数 6 の実行可能スケジュール.

チーム	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目
1	A	H	A	H	A
2	A	H	H	A	H
3	H	A	A	H	A
4	A	H	A	H	H
5	H	A	H	A	A
6	H	A	H	A	H

図 2: ホームアウェイテーブル (HAT).

実際の例では, 各チーム対が, 双方のホームグラウンドで 1 回ずつ戦う, (言わば)2 重総当たり戦という方法をとることが多い (この場合, 試合数は全部で $2n(2n-1)$ となる). 2 重総当たり戦に対しては, 以下のミラーリングという操作を用いることが多いようである [9,13]. これは, 総当たり戦のスケジュールをたてた後, 各試合を行うグラウンドのみを交換したスケジュールを, 後半に付けるという操作である. 図 3 に, 図 1 のスケジュールにミラーリングを施した, 6 ~ 10 日目のスケジュールを挙げる. ミラー

まついともみ 東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻
〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
URL: http://www.misojiro.t.u-tokyo.ac.jp/~ tomomi/

リングがしばしば用いられる理由は,「同じチーム対の戦いはできるだけ離れた日程で行った方が, 観客にとって魅力的である」ことと,「全試合日程の前半部で, すべてのチーム対が戦うことができる」ためのようである.

日程	H-A	H-A	H-A
6 日目	1-6	2-5	4-3
7 日目	6-2	3-1	5-4
8 日目	3-6	4-2	1-5
9 日目	6-4	5-3	2-1
10 日目	5-6	1-4	3-2

図 3: ミラーリング.

チーム数が $2n-1$(奇数) の問題は, 人工的に $2n$ 番目のチームを作り, チーム数が $2n$ の問題に帰着することが可能な場合もある. この際, チーム $2n$ と対戦することは, そのチームは休みであること (オフまたはバイと呼ばれる) を意味する.

3. 基準スケジュール

チーム数が $2n$ の総当たり戦で, 毎日 n 試合を平行して行い, $2n-1$ 日で全試合を行うスケジュールを, 実行可能スケジュールと呼ぶ. 任意の正の偶数 $2n$ に対して, 実行可能スケジュールは存在する. これは, 例えば以下の手続きで作ることができる.

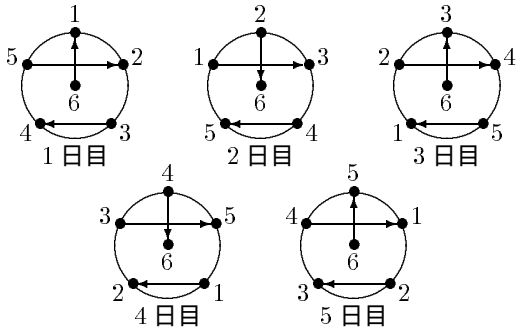

図 4: $2n=6$ の基準スケジュール.

図 4 に示すように, チーム $1, 2, \ldots, 2n-1$ を半径 1 の円周上に等間隔に並べ, チーム $2n$ を円の中心に配置する. 平行な矢印を $n-1$ 本, 向きを互い違いに並べ, それと垂直な半径に対応する線分を書いた円盤を用意する. 矢印の両端のチームが試合をするチーム対を表し, 矢印の根元のチームのホームグラウンドで行うとする. この円盤を先ほどの円の上で $1/(2n-1)$ 周ずつ回転させて, 各日の試合を決定する (図 4 では番号を回転させている). ただし後述する理由で, 半径に対応する線分の矢印は, 円盤の回転毎に反転させる [1]. 上記の手続きで作られた実行可能スケジュールを, 基準スケジュールと呼ぶ. 図 1 は, $2n=6$ の際の基準スケジュールである. 実行可能スケジュールには, 基準スケジュールで無いものも存在するが, 基準スケジュールには以下に述べるような長所が存在する.

ある実行可能スケジュールにおいて, チーム i が t 日目と $t+1$ 日目の両日ホームゲームを戦うとき, $t+1$ 日目の試合はチーム i のブレークであるという. また両日アウェイゲームであるときも, $t+1$ 日目の試合はチーム i のブレークであるという. 図 2 において, 下線の場所がブレークに対応している. ブレークが数多くある実行可能スケジュールは, チーム間の公平さが失われていると感じられるため, 望ましくないとされることが多い. 残念ながら, (チーム数が偶数の際は) ブレークの無いスケジュールは存在しないが, 以下の性質が成り立っている.

定理 1 チーム数が $2n$ の任意の実行可能スケジュールにおいて, ブレークの総数は $2n-2$ 以上であり, 基準スケジュールはブレークの総数が $2n-2$ である. チーム数が $2n$ のとき, 各チームが丁度 1 試合ずつブレークの試合を持つ実行可能スケジュールが存在する (このときブレークの総数は $2n$ である). チーム数が $2n-1$(奇数) ならば, ブレークが 1 つも存在しない実行可能スケジュールが存在する.

証明: 任意の実行可能スケジュールにおいて, 対応する HAT 中のある 2 つの行が同じになることは無い. なぜならば, もしこのような行の対 (チーム対) が存在するならば, このチーム対が戦う試合が存在しないからである. ブレークが存在しないチームの HAT における行は, A と H が交互に現れるものであり, 2 種類しか存在しない. ゆえにブレークが存在しないチームは, 最大 2 つしか存在しない. よってブレークの総数は, $2n-2$ 以上である. 定義より明らかに, 基準スケジュールのブレークの総数は $2n-2$ である.

基準スケジュールにおいて, 第 1 日目の試合全てを, 第 $2n-1$ 日目の後に移動することにより, 各チームが丁度 1 つブレークの試合を持つ実行可能スケジュールを作ることができる.

チーム数が $2n-1$ のときは, チーム数 $2n$ の基準スケジュールにおいて, チーム $2n$ を架空のチームとし, チー

[1] 数学的には以下のように記述される; 第 t 日目に戦うチーム対は, $\{\{2n,t\},\{t+1,t-1\},\{t+2,t-2\},\ldots,\{t+n-1,t-n+1\}\}$ であり (ただし $t-k, t+k$ はモジュロを取って 1 から $2n-1$ の間の値にしたもの), (1) チーム対 $\{2n,t\}$ の試合のグラウンドは, t が奇数ならば $2n$, t が偶数ならば t とし, (2) チーム対 $\{t+k,t-k\}$ の試合のグラウンドは, k が奇数ならば $t-k$, k が偶数ならば $t+k$ とする.

ム $2n$ との戦いは対戦チームの休みに対応させると，ブレークの存在しないスケジュールとなる． ■

ブレーク数最小のスケジュールは，ブレークの無いチームが出現することから，不公平であるとされることも多く，上記定理中の「各チームが丁度 1 回ブレークを持つスケジュール」が好まれることもある [4]．各チームのブレークが 1 回以下であるような実行可能スケジュールの研究もされており，理論的に興味深い性質も見つかっているが，残念ながらここには紹介するスペースが無い [7]．

基準スケジュールの短所としては，チーム $2n$ が特殊な立場になるということがある．上記定理の証明からも明らかなように，チーム $2n$ は常に (対戦相手の) ブレークの試合かその直前の試合を戦っている．チーム間の平等さを重視したスケジュールに関する，デザイン理論に基づいた研究もある [11]．

論文 [9] で扱っている状況では，始めから日程が定まっている試合がいくつかあるため，ブレーク総数を上記定理で示された下界の値 ([9] ではチーム数が奇数であり，下界はゼロ) におさえることが非常に困難である． このため，休み (オフまたはバイ) をアウェイゲームと見なしたとき，3 連続ホームゲームと 3 連続アウェイゲームが無いスケジュールの立案が求められている． 休みをアウェイゲームと見なす理由については述べられていない．

チームの移動費用の総和最小化が要求される，論文 [12] のような問題も存在する．ブレーク数の少ないスケジュールは，各チームがホームグラウンドと相手チームのグラウンドを交互に訪れるため，結果として移動費用が高くなる．移動費用を少なくするためには，アウェイゲームが連続するようなスケジュールが望ましい．チームの総移動費用の最小化問題については，第 4.3 節で扱う．

チーム数 $2n$ のときのブレーク数の上界としては，$2n(n-1)-(2n-4)$ という式が知られているが，$n > 3$ においてこれを達成する実行可能スケジュールが存在するかは，分かっていない [12]．

ブレーク数とは異なる基準が重要視されている問題としては，論文 [2] において，競技場が唯一つのため各日の試合にも順序を付けねばならない問題を扱っている．この論文は，室内クリケットの試合に関するものであり，各日の第何試合目かによって競技場の状態が変化し，また競技場の状態に関するチーム (プレイヤー) の知識量も変化する．そのため，各チームが各日の第何試合を戦うかについても，公平さが要求される．論文 [2] ではこの問題に対し，デザイン理論を用いたアプローチを行っている．

4. チーム名の割当

前節で議論した基準スケジュールは，ブレークから見た公平性のみ議論されており，チーム間の関係が考慮されていない．

4.1 地域の要請

オランダのサッカーリーグについて扱っている論文 [13] では，「ホームグラウンドが同じ地域にある 2 チームは，同時にホームゲームを戦うことは望ましくない．」という要請が考慮されている．この要請は，1 つの地域で同時に試合が開かれると，その地域の観客がどちらか一方の試合しか観戦できないことから，試合による総収入が減ることを避けるため導入されている．

論文 [13] では，実行可能スケジュールを適当に 1 つ選んで固定し，地域の要請を考慮して実際のチーム名を割り当てる問題を，2 次制約の存在する割当問題として定式化し，発見的解法を用いて解いている．実行可能スケジュールの一般的な選択法については，論文 [13] では言明されていない．実行可能スケジュールの選択も，解法の手続きの中に組み込んだ方法については，次節で述べる．

上記の「実際のチーム名を割り当てる問題」を，通常の 2 次割当問題に定式化する方法の 1 つとして，以下のようなものがある．例えば図 1 の実行可能スケジュールに対して，実際のチーム名 $\mathcal{T} = \{T_1, T_2, \ldots, T_6\}$ を割り当てる問題は，以下のように定式化される (以下チームの集合 P と実際のチーム名の集合 $\mathcal{T}$ を区別して扱う)．チーム $i, j \in P$ に対して，HAT(図 2) の第 i 行と第 j 行について，同時に H が存在する日数を h_{ij} と表すと，行列 (h_{ij}) は表形式で以下のように表される．

	1	2	3	4	5	6
1	2	1	1	2	0	0
2	1	3	0	2	1	2
3	1	0	2	1	1	2
4	2	2	1	3	0	1
5	0	1	1	0	2	2
6	0	2	2	1	2	3

係数 m_{pq} は，$T_p, T_q \in \mathcal{T}$ のホームグラウンドが同一地域にあるとき 1，そうでないとき 0 をとる係数とする．チーム i を実際のチーム名 T_p に割り当てるとき 1 となる 0-1 変数 x_{ip} を導入すると，以下のような問題を解いて得られるスケジュールは 望ましいスケジュールとなる．

$$\min. \quad \sum_{i=1}^{2n}\sum_{j=1}^{2n}\sum_{p=1}^{2n}\sum_{q=1}^{2n} h_{ij} m_{pq} x_{ip} x_{jq}$$

$$
\begin{aligned}
\text{s.t.} \quad & \textstyle\sum_{i=1}^{2n} x_{ip} = 1 \ \ (\forall p \in \{1,\ldots,2n\}), \\
& \textstyle\sum_{p=1}^{2n} x_{ip} = 1 \ \ (\forall i \in \{1,\ldots,2n\}), \\
& x_{ip} \in \{0,1\} \ \ (\forall p, \forall i \in \{1,\ldots,2n\}).
\end{aligned}
$$

残念ながら, 2 次割当問題は非常に難しい問題であり, チーム数が 18 程度の問題でも, 現実的な時間で厳密解を求めることは (現在までに開発されている算法では) 困難と思われる [3,10]. ただし, 以下に述べる 2 つの論文 [9,12] で扱っている状況では, チーム数が 10 以下のため, 上記の 2 次割当問題 (に類する問題) を全探査 (注:$10! = 3,628,800$ である) を行って解いている.

4.2 TV 放映による要請

アメリカのバスケットボールの大学リーグについて扱っている論文 [9] は, 競技団体からの実際の依頼の下で研究を行っているためか, 上記よりも更に踏み込んだ目的関数を扱っている. この論文では, 各チーム対の試合に対して, その試合の質に対する TV 局の評価が 3 段階で与えられている. そして, 試合は (週日, 週末, 週日, 週末,...) と交互に行われ, TV 視聴率獲得の要請から, 評価の高い試合は早い時期の週末に行われることが望ましいとされる. 週末に行われるゲームを評価の高いものにしたいという目的関数も, 上記の 2 次割当問題として表すことができる. それには例えば, 係数 m_{pq} を T_p と T_q の試合の評価 (評価が高い程, 値が小さい) とし, 係数 h_{ij} は, 対応する実行可能スケジュールにおいて, i と j の試合が週末ならば 1, 週日ならば 0, となる 0-1 係数とすればよい.

4.3 移動費用の最少化

アメリカの野球リーグについて扱っている論文 [12] では, 各チームの移動費用 (または移動距離) の総和を最少化する問題を扱っている. この問題も以下のように 2 次割当問題として定式化することができる. 係数 m_{pq} を T_p のホームグラウンドから T_q のホームグラウンドへの移動費用とする. 係数 h_{ij} は, 対応する実行可能スケジュールにおいて, チーム i のホームグラウンドからチーム j のホームグラウンドへ移動するチームの総数とすればよい.

5. 実行可能スケジュールの生成

前節の問題は, 実行可能スケジュールを 1 つ固定して, それに実際のチーム名を割り当てるというものであった. このとき, 固定する実行可能スケジュールとしてどんなものを選ぶべきかも重要である. 以下で述べる論文 [9,12] は, 実行可能スケジュールの選び方についても考慮している.

5.1 全列挙法

第 4.2 節でも言及した論文 [9] の解法は列挙法に基づいており, 解法は 2 段階に分かれている. 第 1 段階では, 制約を満たす実行可能スケジュールを全て列挙している. 実際には 9 チームの問題で, 列挙された実行可能スケジュールは 826 種類であった. 列挙法の詳細については後に述べる. 第 2 段階では, この 826 種類のスケジュールに関して, 実際のチーム名 (9 チーム) を割り当てる問題を, 全探査を行って解いている (注:$826 * 9! = 299,738,880$ である). 第 2 段階の計算には, Sun SPARC-20 ワークステーションで 24 時間程度かかったとある.

残念ながら, 実行可能スケジュール全体の特徴付けについては, 現在までに知られていることはほとんど無い. 論文 [9] では, 整数計画法を用いて実行可能スケジュールの生成を行っている. 実行可能スケジュールの生成は, パターン生成部, HAT 生成部, スケジュール生成部の 3 段階に分かれている.

パターン生成部では, HAT の各行に対応するものを全て列挙している. 例えば論文 [9] で生成しているのは, チーム数 9 であることから, 長さ 9 の列で H(ホームゲーム) または A(アウェイゲーム) を 8 つ含み, B(バイすなわち休みを意味する) を 1 つ含むものである. これは $9 * 2^8 = 2,304$ 存在する. 2,304 通りのパターンをすべて生成し, それぞれにミラーリングを施す. このうち以下の制約を満たすパターンのみを残した結果, 38 種類のパターンが残ったと報告されている.

- 週末の H(ホームゲーム) が 4 回ある.
- 3 連続 H, 3 連続 A が無い (このとき B(バイ) は A と見なす).
- 週末のみ見たとき, 3 連続 H も 3 連続 A も無い.
- 最初の 5 週間の週末では, 2 つ以上の H か, H が 1 つ以上 B が 1 つある.
- 最後に 2 つ A が連続しない.

実は, まだいくつか複雑な制約があるが, 紙面の都合上割愛する.

HAT 生成部では, パターン生成部で生成された 38 パターンから 9 つを選んで HAT を生成する. HAT となる必要条件としては, 各日 (各列) が 4 つの H, 4 つの A, 1 つの B からなる必要がある. 38 パターンから 9 つを選ぶ ${}_{38}C_9$ 通りの方法のうち, この条件を満たす選び方は 17 通りであった. 生成は, 以下の制約を満たす解を全て列挙す

ることによって行っている.

$$\sum_{i=1}^{38} h_{ik}x_i = 4 \quad (k \in \{1,2,\ldots,9\}),$$
$$\sum_{i=1}^{38} a_{ik}x_i = 4 \quad (k \in \{1,2,\ldots,9\}),$$
$$\sum_{i=1}^{38} x_i = 9,$$
$$x_i \in \{0,1\} \quad (i \in \{1,2,\ldots,38\}).$$

ただし, $i \in \{1,2,\ldots,38\}$ はパターンの添え字, x_i はパターン i を選ぶとき 1 となる 0-1 変数, 0-1 係数 h_{ik} はパターン i が k 日目に H ならば 1 となり, 0-1 係数 a_{ik} はパターン i が k 日目に A ならば 1 となるものである.

上記の制約を満たす解を 1 つ, 整数計画法のソフトウェアを用いて求める. 求まった解において 1 となっている添え字の集合を S_1 としたとき, $\sum_{i \in S_1} x_i \leq 8$ という制約を追加して, 制約を満たす解を新たに 1 つ求める. 新たに求まった解において 1 となっている添え字の集合 S_2 に対し, $\sum_{i \in S_2} x_i \leq 8$ という制約を更に追加し, 制約を満たす解を新たに 1 つ求める. 以下, 制約を満たす解が新たに得られる限り, この手続きを繰り返す.

以上の手続きによって, 全ての解を生成することが出来る. 17 通りの HAT の生成にかかった時間は, Sun SPARC-20 上の CPLEX を用いて 1 分程度であったと報告されている.

スケジュール生成部では, HAT 生成部で得られた 17 の HAT に対して, それぞれに対応する実行可能スケジュールをすべて列挙している. HAT 生成部で得られた HAT に対して, 「対応する実行可能スケジュールが存在するか」をチェックする問題は, 多項式時間で解けるかが未解決問題である. 論文 [9] では, 実行可能スケジュールの存在判定問題を 0-1 整数計画問題として定式化し, 整数計画法ソフトウェアでそれを解いている. 詳細はここでは省くが, 非常に素朴な定式化を行って, 変数 300 個程度, 制約式 234 本の 0-1 整数計画問題としている. HAT 生成部と同様な方法を用い, 結果として 826 通りの実行可能スケジュールが得られたと報告されている. 計算時間は Sun SPARC-20 上の CPLEX を用いて 10 分程度であったと報告されている.

5.2 局所探索法

論文 [12] では, 実行可能スケジュールの空間を局所探索するという 発見的解法を用いている. 具体的には, 実行可能スケジュールを 1 つ固定して, 前節の「チーム名の割当問題」を全列挙で解き, 実行可能スケジュールを少し変形させて, また「チーム名の割当問題」を全列挙で解く, という作業を繰り返し実行する. 現在の実行可能スケジュールより, 「チーム名の割当問題」の最適値がより良い実行可能スケジュールが得られたら, 実行可能スケジュールを更新する. 実行可能スケジュールの変形には, 以下に述べる 2 種類の方法を用いている. 論文 [12] において要求されている スケジュールが満たすべき制約は,

- ミラーリングを施した後のスケジュールに, 3 連続 H も 3 連続 A も無いこと.

だけである.

1 つ目の変形法は, 現在の実行可能スケジュールの日を交換する方法である (例えば i 日目と j 日目の全試合を交換する). ただし, H が 3 日連続するあるいは A が 3 日連続するような交換は行わない.

2 つ目の変形法も, 現在の実行可能スケジュールから適当な 2 日 (例えば i 日目と j 日目) を選び, その 2 日の試合を変更する (他の日の試合は変更しない) ものである. ただし試合の変更は以下に述べる方法で行う (図 5 はチーム数 8 の場合).

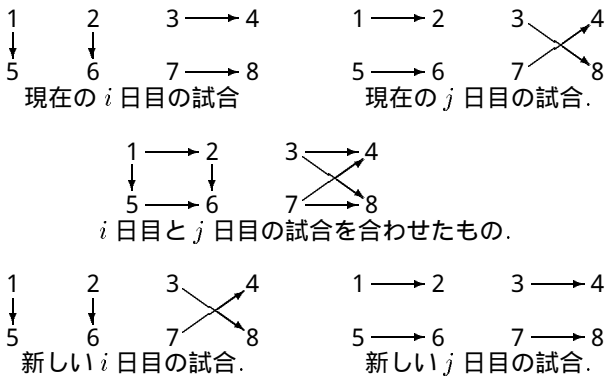

図 5: スケジュールの変形.

ある日の試合は, 図 4 で描いたようにチームを頂点とするグラフの (有向) 完全マッチングで表される. ゆえに, 2 日分 (i 日目と j 日目) の試合に対応する 2 つの完全マッチングをあわせると, 頂点を共有しないサイクルの集まりとなる. サイクルが k 個のとき, 各サイクル毎に 2 日分 (i 日目と j 日目) の試合の内どちらを選ぶかで, 2^k 種類の実行可能スケジュールを生成することができる. (ただし 2^k のうち 1 つは現在の実行可能スケジュールである.) ここでも, H が 3 日連続するあるいは A が 3 日連続するような交換は行わない. 図 5 では, 4 種類存在する実行可能スケジュールの内の 1 つを新たな試合として選んでいる. (1 つ目の変形方法は, 2 つ目の変形方法の $k = 1$ の場合と見なすこともできる.)

6. おわりに

本稿では, $2n$ チームが毎日 n 試合を平行に行い, $2n-1$ 日で総当り戦を行うスケジュールを作成する問題について, 既往の研究の概説を行った.

第 4 節の 2 次割当問題は, チーム数が少ない場合は全列挙でも解くことは出来るが, 第 5 節の解法のように何度も解く状況では, より高速な解法が必要であろう. 第 5 節の, 実行可能スケジュールの生成については, 理論的に分かっていることが殆ど無く, これからの研究が待たれる.

第 4,5 節で詳述した論文 [9,12] では, 「チーム名の割当」 と 「実行可能スケジュール生成」 の 2 段階に分かれた解法を提案しているが, これを同時に取り扱うことによって, より速い解法が得られる可能性がある. この 2 本の論文は, 使用した実際のデータが逐一掲載されており, 他の研究者が継続研究することも可能と思われる. 特に [12] は, 著者らの提案したスケジュールが結局受け入れられず, その理由に依頼団体内部に力関係があったことを挙げるなど , 臨場感あふれる記述で, 事例研究の熱気を感じさせる論文である.

総当り戦のスケジューリングでも, イギリスのクリケットリーグでは, 1 日に行う試合数が 0 ~ 2 試合程度と決まっておらず, 非常に長い期間内に全試合を行う. この問題では, 各チームの試合間隔の公平さが重視される. このような問題についても, いくつかの発見的解法が提案されている [1,8,14,15]. 特に [8] は, 解法の詳細が数学的にきちんと書かれている.

さて, 近年の日本の状況はどうなっているのだろう. 昨年の J リーグのチーム合併といった事件を見ると, 第 4.1 節の「地域の要請」といった目的関数が 俄然現実味を帯びて見える. 各競技団体では, 魅力的な TV 放映日程やチームの移動費用といったことを考慮してスケジュールを組んでいるだろうか? 見たい試合が TV 中継されないという苦情が, 新聞の投稿欄のお決まりの話題であることは確かである. 日本のスポーツ競技団体で実際に行われているスケジューリング方法についての (個人的な要望でなく) 専門的な分析が必要であろう. ここでも, OR の活躍が待たれている.

最後に, 本稿をまとめるきっかけとなった論文 [9] の紹介をして下さった, 東京大学工学部計数工学科の宮代隆平君に感謝します.

参考文献

[1] J.R.Armstrong and R.J.Willis: Scheduling the cricket world cup – a case study. *Journal of Operations Research Society*, **44** (1994), 1067–1072.

[2] D.C.Blest and D.G.Fitzgerald: Scheduling sports competitions with a given distribution of times. *Discrete Applied Mathematics*, **22** (1988/89), 9–19.

[3] E.Cela: *The Quadratic Assignment Problem* (Kluwer Academic Publishers, 1998).

[4] D. de Werra: Geography, games and graphs. *Discrete Applied Mathematics*, **2** (1980), 327–337.

[5] D. de Werra: Minimizing irregularities in sports schedules using graph theory. *Discrete Applied Mathematics*, **4** (1982), 217–226.

[6] D. de Werra: On the multiplicities of divisions: the use of graphs for sports schedulings. *Networks*, **15** (1985), 125–136.

[7] D. de Werra: Some models of graphs for scheduling sports competitions. *Discrete Applied Mathematics*, **21** (1988), 47–65.

[8] J.A.Ferland and C. Fleurent: Computer aided scheduling for a sport league. *INFOR*, **29** (1991), 14–25.

[9] G.L.Nemhauser and M.A.Trick: Scheduling a major college basketball conference. to appear in *Operetions Research*; *Research resport*, TLI-97-03(1997), The Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, http://tli.isye.gatech.edu/.

[10] P.M.Pardalos and H.Wolkowicz, eds.: *Quadratic Assignment and Related Problems* (DIMACS series, **16**, 1994).

[11] K.G.Russell: Balancing carry-over effects in round robin tournament. *Biometrika*, **67** (1980), 127–131.

[12] R.A.Russel and J.M.Y.Leung: Devising a cost effective schedule for a baseball league. *Operations Research*, **42** (1994), 614–625.

[13] J.A.M.Schreuder: Combinatorial aspects of construction of competition Dutch professional football leagues. *Discrete Applied Mathematics*, **35** (1992), 301–312.

[14] R.J.Willis and B.J.Terrill: Scheduling the Australian state cricket season using simulated annealing. *Journal of Operations Research Society*, **45** (1994), 276–280.

[15] M.Wright: Timetabling county cricket fixtures using a form of tabu search: *Journal of Operations Research Society*, **45** (1994), 758–770.

スポーツのスケジューリング

松井 知己