

# ブレイク数と移動距離に注目した高校サッカーのリーグスケジューリング

2015SS083 渡邊建介

指導教員：三浦英俊

## 1 はじめに

本研究では、高校（U-18）サッカーの年間通して行われるリーグ戦「高円宮杯 JFA U-18 サッカープリンスリーグ東海」（以降プリンスリーグ東海と省略する）に着目して研究を進めた。プリンスリーグ東海は東海地域（愛知，岐阜，三重，静岡）のチームで行われており，ここ数年は静岡県勢のチームが著しい成績を残している。上位2チームがプレミアリーグWEST（西日本リーグ）への入れ替え戦，下位2チームが各県のリーグ戦を制したチームとの入れ替え戦を行う。プリンスリーグ東海の試合は，対戦する2チームどちらかの本拠地の近くのグラウンドで行われる。またプリンスリーグ東海はミラーリングが用いられているため，チーム同士の総当たりが終了した後にホームとアウェイを反転させたスケジュールがもうひと回り行われる。現在では10チーム中6チームが静岡県のチームとなっているため，静岡県のチームにとってはとても好条件なリーグと考える。

## 2 研究の目的

本研究の目的は，スポーツスケジュールによるプレイヤーのコンディションへの影響を平等かつ最小にすることである。数多くのスポーツ競技の日程では，いくつかのチーム（プレイヤー）が総当たりで戦い，その結果で順位を決定するリーグ戦形式が用いられている。リーグ戦では，試合のスケジュールがとても重要となる。その理由としては，アウェイが連続するスケジュールをこなすチームは負担が大きいこと，すべてのチームの本拠地の中で端のチームは負担が大きいという問題がある。そこで本研究では，アウェイの連続する試合のときに2試合連続で遠いチームと対戦しないスケジュールを求めた。

## 3 現状のスケジュールと移動距離

表 3.1 プリンスリーグ東海の現状のスケジュール

チーム\日付	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目
1.浜松開誠館	H7	H4	A2	A3	A10	A9	A8	H6	H5
2.帝京大可児	H10	A9	H1	A6	A5	A7	H4	A8	H3
3.名経大高蔵	A8	A10	A9	H1	H6	H5	A7	H4	A2
4.藤枝東	H9	A1	A6	H5	H7	H8	A2	A3	H10
5.FC岐阜	A6	H8	H7	A4	H2	A3	A10	H9	A1
6.JFA福島	H5	A7	H4	H2	A3	H10	A9	A1	H8
7.中京大中央	A1	H6	A5	H8	A4	H2	H3	H10	H9
8.静岡学園	H3	A5	H10	A7	H9	A4	H1	H2	A6
9.清水桜が丘	A4	H2	H3	A10	A8	H1	H6	A5	A7
10.藤枝明誠	A2	H3	A8	H9	H1	A6	H5	A7	A4

表 3.1 ではプリンスリーグ東海の現状のスケジュールを示している。（ホームとアウェイを反転させたスケジュー

ルが10日目以降からつづく）

表 3.1 の現状のスケジュールから，ホームもしくはアウェイの連続する試合が非常に多いスケジュールであることが分かる。また2日連続で移動距離が大きい箇所が多くみられる。現状のスケジュールの中で2日間の移動距離の最大値は清水桜が丘高校の8日目と9日目の合計  $157.23+139.33=296.56\text{km}$  である。そこで本研究では，各チーム間の一番遠いチーム同士の距離である  $193.05\text{km}$  (JFA 福島と FC 岐阜の距離) を2日間の移動距離で超えないスケジュールを求めることにした。2日連続の遠征は選手のコンディションに影響し，アウェイだと応援してくれるサポーターの数も減りモチベーションにも影響するため移動距離はリーグ戦においてとても重要なものになってくる。本来ならばホームとアウェイの連続する試合の最小化かつその連続する試合で各チームの移動距離の最小値を当てはめることが望ましいが線形で表すことができない。そのため今回は「アウェイが連続する時，連続で遠いチームと試合をしないスケジュールリング」を求めた。

表 3.2 チーム間の距離

	1.浜松開誠館	2.帝京大可児	3.名経大高蔵	4.藤枝東	5.FC岐阜	6.JFA福島	7.中京大中央	8.静岡学園	9.清水桜が丘	10.藤枝明誠
1.浜松開誠館	0	95.32	86.51	52.57	111.49	124.23	85.19	68.35	76.56	50.15
2.帝京大可児	111.49	25.5	28.86	143.51	0	193.05	28.69	150.82	157.23	144.62
3.名経大高蔵	124.23	167.84	181.9	72.46	193.05	0	179.33	55.98	47.83	76.02
4.藤枝東	76.56	133.29	141.67	24.7	157.23	47.83	139.33	8.23	0	28.59
5.FC岐阜										
6.JFA福島										
7.中京大中央										
8.静岡学園										
9.清水桜が丘										
10.藤枝明誠										



図 3.1 各チームと重心の位置関係

表 3.2 ではチーム間の距離，図 3.1 ではその位置関係を実際の地図に示した。

## 4 記号の導入

定義

- ・ チーム数： $n$
- ・ 試合数（1チームあたり）： $2n - 2$
- ・ チーム： $i$ (ホーム)， $j$ (アウェイ) ( $i, j = 1, \dots, n$ )
- ・ 試合日： $k$  ( $k = 1, \dots, 2n - 2$ )
- ・ チーム  $i$  とチーム  $j$  の距離： $s_{ij}$
- ・ チーム  $i$  の本拠地から試合会場までの距離。ホームの時は 0.  $a_i^k$

- ・ チーム  $i$  の  $k-1$  日目と  $k$  日目の移動距離の合計:  $b_i^k$
- ・ チーム  $j$  と対戦する時の重み:  $f_j$
- (例: チーム 1 と対戦する時は  $f_1 = 10$ , チーム 2 と対戦する時は  $f_2 = 20$ , ...)

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1: \text{チーム } i \text{ がチーム } j \text{ と } k \text{ 日目に} \\ \text{アウェイで対戦する.} \\ 0: \text{そうでない場合は } 0. \end{cases}$$

$$(i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2)$$

## 5 定式化

数理計画問題での定式化は次のようになる。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize. } \sum_{i=1}^n \sum_{k=2}^{2(n-1)} b_i^k \\ & \text{s.t.} \\ & \sum_{j=1}^n (x_{ij}^k + x_{ji}^k) = 1 \quad (i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} (x_{ij}^k + x_{ji}^k) = 1 \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

$$x_{ii}^k = 0 \quad (i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2) \quad (3)$$

$$a_i^k = \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij}^k \quad (i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2) \quad (4)$$

$$a_i^{k-1} + a_i^k \leq 193.05 \quad (i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2) \quad (5)$$

$$a_i^{k-1} + a_i^k = b_i^k \quad (i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{n-1} x_{ij}^k \leq 5 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n (x_{ij}^k + x_{ji}^{k+n-k}) = 1 \quad (i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, 2n-2) \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n (f_j x_{ij}^k + f_j x_{ji}^k - f_j x_{ij}^{k+n-k} - f_j x_{ji}^{k+n-k}) = 0 \quad (9)$$

$$(i=1, \dots, n, k=1, \dots, 2n-2)$$

目的関数でアウェイが連続する試合が 1 となる  $z_i^k$  とチーム  $i$  の重心からの距離である  $d_i$  を掛け、最小化することにより重心からの距離が近いチームがアウェイが連続するスケジューリングとなる。

制約条件の説明は以下のとおりである。

- (1) どのチームも 1 日に必ず 1 試合行う。
- (2) 必ずすべてのチームと対戦する。
- (3) 自分のチームとは対戦しない。
- (4) チーム  $i$  の本拠地から試合会場までの距離。ホームの時は 0。
- (5) チーム  $i$  の  $k-1$  日目と  $k$  日目の移動距離の合計が 193.05 以下である。
- (6) チーム  $i$  の  $k-1$  日目と  $k$  日目の移動距離の合計。
- (7) すべてのチームが 1 日目から  $n-1$  日目までのスケジュールでアウェイが 5 回以下である。
- (8) チーム  $i$  の  $k$  日目と  $k+(n-1)$  日目の試合はどちらかがホームでどちらかがアウェイである。
- (9) チーム  $i$  の 1 日目と  $n$  日目の試合の対戦相手と同

じかつホームとアウェイが反転する。

## 6 結果

定義, 定式化から求められた結果からスケジュールを組んだものを表 6.1 に示す。(ホームとアウェイを反転させたスケジュールが 10 日目以降からつづく)

どのチームからも遠い位置に拠点を構える JFA 福島はホームもしくはアウェイが連続する試合がないという理想的なスケジュールとなり, 他のチームはアウェイが連続する 2 日間で移動距離が 193.05km を超えることなく, 大きな移動距離の前にはあらかじめ近いチームとの対戦となっている。しかし浜松開誠館はすべてのチームからの重心に最も近いチームだが極端に近いチームがない。そのためアウェイが 3 回連続するというスケジュールが 1 日目から 3 日目, 15 日目から 17 日目とあるが他のチームのアウェイの連続に比べて分が悪いと言えるだろう。

表 6.1 数理計画問題の結果

チーム\日付	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目
1.浜松開誠館	A9	A7	A2	H10	A3	H5	H8	H4	A6
2.帝京大可児	A4	A3	H1	H5	A8	H7	A6	H9	A10
3.名経大高崎	A6	H2	H9	A7	H1	A4	A5	H10	A8
4.藤枝東	H2	H9	A10	H8	A6	H3	A7	A1	H5
5.FC岐阜	A10	H6	A8	A2	H9	A1	H3	H7	A4
6.JFA福島	H3	A5	H7	A9	H4	A10	H2	A8	H1
7.中京大中京	A8	H1	A6	H3	H10	A2	H4	A5	A9
8.静岡学園	H7	A10	H5	A4	H2	A9	A1	H6	H3
9.清水彩衣丘	H1	A4	A3	H6	A5	H8	H10	A2	H7
10.藤枝明誠	H5	H8	H4	A1	A7	H6	A9	A3	H2

## 7 おわりに

各チーム間の一番遠いチーム同士の距離 (193.05km) である FC 岐阜と JFA 福島は両チームともお互いが対戦する時は前後がホームもしくはアウェイの連続にならないようになっているため, 3 日間の移動距離が 193.05km となる。それに対して今回の結果から得た浜松開誠館の 3 日連続アウェイの移動距離は 193.05km を超えている。そのため他のチームより不利な条件になってしまった。アウェイが 3 日間連続する時の移動距離が 193.05km 以下となる制約式を入れたところ scip version6.0.0 から値が返ることはなかった。まだまだすべてのチームに公平性が保たれたスケジューリングにするためには改善の余地があると言えるだろう。

## 参考文献

- [1] JFA.jp 日本サッカー協会 ホームページ <http://www.jfa.jp/> (2018 年 7 月 24 日閲覧)
- [2] 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・リサーチ, vol44(3), p141~146, 1999 年
- [3] GoogleEarth <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> (2018 年 10 月 6 日閲覧)