

卒業論文

選手の休息日を考慮した野球大会日程の検討

文教大学 経営学部経営学科
根本研究室
栗野敏之

概要

近年、高校野球の大会の過密スケジュールによる、主に投手への負荷が問題となっている。例えば日本高等学校野球連盟は、2020年春の大会より投手への負荷を減らすため投球数を制限するなどのガイドラインを発表した。しかし、このガイドラインに対しては選手層の薄い高校が不利との声もあり、投球数制限よりは各チームの連戦を制限し十分に休息が取れる大会日程を組むことが好ましいと考えられる。ただし、選手の休息日が長いと大会日程が延びるという欠点がある。そこで、選手の休息日を考慮した上で大会日数をなるべく縮小できる試合日程を検討し、大会日程と休息日の決定の関係を明らかにすることで、議論の基盤の1つを提供したい。そこでまずはトーナメント方式で実施される大会において選手の休息日を条件とした最短日程を求める数理モデルを提案する。次に、その数理モデルを用いて第91回選抜高等学校野球大会を対象に定式化し、休息日の長さとの関係を明らかにした。その結果、同大会は12日間で実施され連戦を強いられた高校は4校あったが、大会日程を1日増やすだけで連戦を排除できることを明らかにできた。

目次

- 1 はじめに
- 2 休息日を考慮した試合日程問題
- 3 定式化の実装
- 4 最適な日程の分析
- 5 おわりに

謝辞

参考文献

1 はじめに

高校野球では選手にかかる負荷とそれが原因となってケガをする選手が多いことが問題となっている¹。特に投手の負担が大きいことが問題となっており、投げすぎによってケガをする選手も珍しくはない¹。日本高等学校野球連盟（以下、高野連）は延長戦におけるタイムブレークを導入や、休養日を増やすといった対策を取ってきた²。しかし、2018年の全国高校野球選手権大会で優勝した秋田県立金足農業高校の当時のエースであった吉田輝星投手が同大会と同大会の予選で合わせて1,517球を投じていたことが明らかになり、高校野球の大会に球数制限を設けるべきであるという議論が高まった³。そして2019年11月に高野連は「投手の障害予防に関する有識者会議」が出した答申書を議論し、2020年春に実施される大会から投手に対して球数制限を課すことを決定した⁴。しかし、球数制限を課すと選手層の薄い選手が不利になるという別な問題が発生する。一般的に挙げられている球数制限以外の対処法としては、投球フォームの改善や大会日程の見直しがあるが⁵、本論文では大会日程の見直しに着目し、各チームの連戦を制限し十分に休息が取れる大会日程を組むことで、選手への負担を軽減する方法を模索した。

スポーツの日程を最適化する研究は多数ある。松井知己による「スポーツのスケジューリング」[1]では、総当たりリーグ戦の日程や、プロスポーツにおける本拠地と敵地の移動を考慮した日程、TV放映の都合を考慮した場合の日程を算出する方法を紹介している。この他にも、スポーツスケジューリングについての研究は多数あるが、プロスポーツ向けのものや総当たりリーグ戦についての研究が殆どであり、これらは高校野球大会のスケジューリングとは設定が異なっている。

そこで本論文では高校野球大会のように、トーナメント方式で会場が1か所のスポーツスケジューリングについて、選手の休息日を考慮した上で検討した。その結果、32チームが参加する選抜高等学校野球大会であれば現行の大会日程より1日延ばすだけで、全てのチームが2日連続の試合を回避できることがわかった。

本論文の構成は次の通りである。まず2節で大会日程を最短にするための数理モデルの問題設定を示し、最適な大会日程を求めるための定式化を示す。次に3節で、定式化を実装するために加えた工夫を示し、4節では実装した定式化から導出した解を分析し大会日数と休息日数の関係を示す。最後に5節で結果をまとめ、今後の課題を述べる。

¹ 読売新聞 東京朝刊 2019/6/8 25頁 球児のけが予防に本腰 指導者意識改革促す

² 高野連ホームページ 第101回全国高等学校野球選手権大会 開催要項

<http://www.jhbf.or.jp/sensyuken/2019/guidance/>

³ 日本経済新聞朝刊 2018/8/25 4頁 金足農エース連投 球数制限是非 政界も関心

⁴ 朝日新聞朝刊 2019/11/30 22頁 球数制限導入 3連戦回避 実施へ

⁵ 読売新聞 東京朝刊 2019/12/4 11頁 高校野球 週500球の球数制限

2 休息日を考慮した試合日程問題

ここでは、選手の休息日を考慮した上で大会日数をなるべく縮小できる試合日程を求める問題について提示する。まず、問題の前提条件を定める。本論文では、選抜高等学校野球大会の日程を題材として検討する。したがって、同大会の進行方式が問題の前提となり、それは以下の6点である。

- ① トーナメント方式で実施されることである。トーナメント方式とは、一試合ごとに敗者を除き、勝者同士戦わせ、最後に勝ち残った一人またはチームを優勝とする競技方法⁵である。
- ② 会場が阪神甲子園球場の1か所である
- ③ 32チームが参加する
- ④ 1日に最大4試合実施できることであり、本論文では試合を実施する時間枠をスロットと呼称する。
- ⑤ 同大会では1日目の1スロット目の時間帯に開会式が実施される。

次に、以上の前提条件を基に次のような数理計画として記述する。

目的：大会日数の最短化…(1)

条件：1スロットで実施できる試合数は1試合のみ…(2)

試合順制約 それぞれのチームで $(n+1)$ 回戦目の試合は n 回戦以降に実施。 $(n$ は自然数) …(3)

同一の対戦カードは1試合のみ…(4)

休息日の制約 勝利チームは試合後一定日数が経過するまで次の試合が実施できない…(5)

この問題を数理計画モデルとして記述する。記述にあたり記号の意味と変数を次のように定める。

[記号]

$I = \{1, \dots, l\}$: すべての試合集合(l は決勝戦とする)

N : 想定されるスロットの最大数

k : スロット($k = 1, \dots, N$)

[パラメータ]

p : 休息日の日数

[変数]

x_{ik} : 試合 i がスロット k で実施される場合は1、そうでない場合は0

⁵ 三省堂 スーパー大辞林 3.0 より抜粋

この変数を用いて以下のように定式化した。ここで $\lfloor \cdot \rfloor$ は切り捨てを、 $\text{mod} \left(\frac{x}{y} \right)$ は x を y で除した余りを意味する。また、2つの試合 i, j の間に試合 j は試合 i の後に実施する制約（順序制約）がある場合には $i < j$ と表し、この順序制約は事前に与えられているものとする。

$$\text{Minimize} \quad \left(\left\lfloor \frac{1}{4} \right\rfloor + 1 \right) x_{i1} + \left(\left\lfloor \frac{2}{4} \right\rfloor + 1 \right) x_{i2} + \dots + \left(\left\lfloor \frac{k}{4} \right\rfloor + 1 \right) x_{ik} + \dots + \left(\left\lfloor \frac{M}{4} \right\rfloor + 1 \right) x_{iN} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{Subject to} \quad x_{1k} + \dots + x_{ik} \leq 1 \quad (\text{スロット}k \text{ 毎}) \dots\dots (2)$$

$$x_{ik} + \dots + x_{iN} = 1 \quad (\text{試合}i \text{ 毎}) \dots\dots (3)$$

$$x_{ik} \leq x_{j(k+1)} + \dots + x_{jN} \quad (\text{順序制約}i < j \text{ が課された試合ペア}i, j \text{ 毎、スロット}k \text{ 毎}) \dots\dots (4)$$

$$1 - x_{ik} \geq x_{j(k+1)} + \dots + x_{j\{k+4p+4-\text{mod}(\frac{k}{4})\}} \quad (\text{順序制約}i < j \text{ が課された試合ペア}i, j \text{ 毎、スロット}k \text{ 毎}) \dots\dots (5)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \quad (\text{試合}i, \text{スロット}k \text{ 毎})$$

ここで各式の意味は以下の通りである。

- (1) 目的関数は決勝戦の変数の関数に重みを付け、決勝戦の日程が遅くなればなるほど値が大きくなるように設定されている
- (2) 1 スロット 1 試合以下という制約
- (3) 同一の対戦カードは 1 試合のみという制約
- (4) 試合順序の制約
- (5) 休息日の制約

3 定式化の実装

ここでは 2 節で示した定式化を実装する工夫について述べる。以下の通り設定した。

- ① 参加する 32 チームに 01~32 までの番号を振る。
- ② 試合番号を対戦チームのペアで表記した。例えばチーム 01 とチーム 03 の試合を 0103 と表した。
- ③ 常にトーナメント表の左側のチームが勝つと仮定して試合番号を振る。実際の試合で右側のチームが勝ったとしても、トーナメント表が初めから左右反対に書かれていたと仮

定すれば、試合順序や対戦相手が変わることは無い。

- ④ 25 日目までスロットを用意する。26 日以上用意しない理由は、選抜高等学校野球大会は高校生の春休み期間で実施されるため、26 日以上の日程はそぐわないためである。
- ⑤ スロットに名前を付ける。1 日目の 1 試合目スロットを o1、2 試合目を s1、3 試合目を t1、4 試合目を f1、…、25 日目の 4 試合目を f 25 とする。
- ⑥ 1 日の試合日程が前詰めになるよう以下の制約式を追加する。

$$x_{1o_m} + \dots + x_{1o_m} < x_{1s_m} + \dots + x_{1s_m} < x_{1t_m} + \dots + x_{1t_m} < x_{1f_m} + \dots + x_{1f_m} \quad (\text{試合日 } m \text{ 毎})$$

これらの工夫の下で定式化し、LP ファイルを記述し、数理計画ソフト IBM 社製 CPLEX を用いて最適解を求めた。

4 最適な日程の分析

ここでは 3 節で示した定式化で得られた最適解を示し、その分析を提示する。その解を分析するにあたり、現行の選抜高等学校野球大会の日程について触れておきたい。2019 年に実施された第 91 回大会の日程は 3 月 23 日から 4 月 3 日までの 12 日間で準々決勝翌日に試合を実施しない休養日が 1 日設けられていた。2 日連続で試合をしたチームが 4 チームあった。これを踏まえ休息日を 1 日ずつ増やして、以下の 6 つのケースを検討した。

[ケース 1] 休息日を設けない場合

休息日を設けない場合、最適な試合日程は表 5-1 のようになった。大会日数は 8 日間であった。対戦カードを精査すると大会 7 日目にチーム 03 が、8 日目にチーム 01 とチーム 17 が 1 日に 2 試合以上実施する日程となった。これでは、選手にかかる負担がかなり大きい。大会日程としては相応しくない。そこで休息日を設けずかつ、1 チームが同日に 2 試合以上行うことを禁止した場合をケース 2 として考えた。

表 5-1 休息日を設けない場合の最短日程

1 日目				2 日目				3 日目			
o1	s1	t1	f1	o2	s2	t2	f2	o3	s3	t3	f3
開会式	2728	1718	1920	1314	2930	1516	1112	1315	2526	1719	2527
4 日目				5 日目				6 日目			
o4	s4	t4	f4	o5	s5	t5	f5	o6	s6	t6	f6
3132	2122	2324	2931	0910	0102	0911	2123	1721	0506	0708	2529
7 日目				8 日目							
o7	s7	t7	f7	o8	s8	t8	f8				
0913	0304	0507	0103	1725	0105	0109	0117				

〔ケース 2〕 1 チームが同日に 2 試合以上行うことを禁止した場合

1 チームが同日に 2 試合以上行うことを禁止した場合、結果は表 5-2 のようになった。大会日程は 10 日間となった。この日程で決勝戦の前日に休息日を設けたものが、現在の春の甲子園大会の日程に最も近いものと思われる。

表 5-2 同日試合を禁止した場合の最短日程

1 日目				2 日目				3 日目			
o1	s1	t1	f1	o2	s2	t2	f2	o3	s3	t3	f3
開会式	0102	0304	2728	1314	1718	1516	0103	0708	0506	1315	1920
4 日目				5 日目				6 日目			
o4	s4	t4	f4	o5	s5	t5	f5	o6	s6	t6	f6
0507	3132	2122	0910	2526	2324	2930		1112	2123	2527	
7 日目				8 日目				9 日目			
o7	s7	t7	f7	o8	s8	t8	f8	o9	s9	t9	f9
2931	0911	1719	0105	0913	2529	1721		1725	0109		
10 日目											
o10	s10	t10	f10								
0117											

〔ケース 3〕 休息日を 1 日設けた場合

すべてのチームが試合後 1 日以上空けてから次の試合を実施する制約をかけた場合、結果は表 5-3 のようになった。大会日数は 13 日間、試合が 1 試合も行われない休養日が 1 日となった。実際の春の甲子園大会は 12 日間で実施され、4 校が 2 日連続の試合を経験したが、原則 1 日 4 試合実施し試合日程を最適化すれば、大会日程を 1 日伸ばすだけで全ての

チームが2日連続の試合を回避できることが分かった。しかし、5日目に試合をした01チームと03チームについて、01チームが3日前の2日目に前の試合を実施したことに対し、03チームは4日前の1日目に前の試合を実施していた。このように、中日の日数に不平等が生まれてしまう欠点を確認した。

表 5-3 休息日を1日設けた場合の最短日程

1日目				2日目				3日目				
o1	s1	t1	f1	o2	s2	t2	f2	o3	s3	t3	f3	
開会式	2324	2728	0304	2930	1920	0708	0102	1718	3132	0506	1112	
4日目				5日目				6日目				
o4	s4	t4	f4	o5	s5	t5	f5	o6	s6	t6	f6	
0910	2122	1516	2526	1314	0507	0103		2931	1719	2527	2123	
7日目				8日目				9日目				
o7	s7	t7	f7	o8	s8	t8	f8	o9	s9	t9	f9	
1315	0911	0105		1721	2529			0913				
10日目				11日目				12日	13日目			
o10	s10	t10	f10	o11	s11	t11	f11	休養 日	o13	s13	t13	f13
1725				0109					0117			

[ケース4] 休息日を2日設けた場合

すべてのチームが試合後2日以上空けてから次の試合を実施する制約をかけた場合、結果は表5-4のようになった。大会日程は17日間、休養日は6日間となった。

表 5-4 休息日を2日設けた場合の最短日程

1日目				2日目				3日目				
o1	s1	t1	f1	o2	s2	t2	f2	o3	s3	t3	f3	
開会式	2324	0708		2930	3132	1314	1920	2122	1112	1718	0910	
4日目				5日目				6日目				
o4	s4	t4	f4	o5	s5	t5	f5	o6	s6	t6	f6	
1516	2728	2526	0102	0506	0304	2931		0911	1719			
7日目				8日目				9,10	11日目			
o7	s7	t7	f7	o8	s8	t8	f8	休養 日	o11	s11	t11	f11
2527				1315	0103	0507	2123		2529	0913	1721	0105
12,13日目		14日目				15,16日目		17日目				
休養日		o14	s14	t14	f14	休養日		o17	s17	t17	f17	
		0109	1725					0117				

〔ケース 5〕 休息日を 3 日設けた場合

すべてのチームが試合後 3 日以上空けてから次の試合を実施する制約をかけた場合、結果は表 5-5 のようになった。大会日程は 21 日間、休養日は 6 日間となった。

表 5-5 休息日を 3 日設けた場合の最短日程

1 日目				2 日目				3 日目				
o1	s1	t1	f1	o2	s2	t2	f2	o3	s3	t3	f3	
開会式	3132	2930	2526	1112	1718	2728	1920	0708	2324	0102	0304	
4 日目				5 日目				6 日目				
o4	s4	t4	f4	o5	s5	t5	f5	o6	s6	t6	f6	
1314	2122	0910	1516	0506				1719				
7 日目				8 日目				9 日目				10 日
o7	s7	t7	f7	o8	s8	t8	f8	o9	s9	t9	f9	休養日
0103	2527	2931		0911	1315	2123		0507				
1 1 日目				1 2 日目				1 3 日目				
o11	s11	t11	f11	o12	s12	t12	f12	o13	s13	t13	f13	
2529				0913	1721			0105				
14, 15 日目		1 6 日目				1 7 日目				18~20 日目		
休養日		o16	s16	休養	f16	o17	s17	t17	f17	休養日		
		1725				0109						
2 1 日目												
o21	s21	t21	f21									
0107												

〔ケース 6〕 休息日を 4 日設けた場合

すべてのチームが試合後 4 日以上空けてから次の試合を実施する制約をかけた場合、結果は表 5-6 のようになった。大会日程は 25 日間、休養日は 11 日間となった。春の甲子園大会は高校生の春休み期間に実施されるため、これ以上大会日程が延びると春休み期間よりも大会日程が長くなってしまふことが考えられる。従ってこれ以上休息日を増やした日程は同大会のスケジュールとしてふさわしくない為、休息日 4 日以下までの検討とする。

表 5-6 休息日を 4 日設けた場合の最短日程

1 日目				2 日目				3 日目			
o1	s1	t1	f1	o2	s2	t2	f2	o3	s3	t3	f3
開会式	0708	2930	0506	2324	0304	0910	0102	1718	3132	2122	1920
4 日目				5 日目				6 日目			
o4	s4	t4	f4	o5	s5	t5	f5	o6	s6	t6	f6
1112				2728	2526	1516	1314	0507			
7 日目				8 日目				9 日目			
o7	s7	t7	f7	o8	s8	t8	f8	o9	s9	t9	f9
0103				1719	2123			2931			
10 日目				11, 12 日目	13 日目				14 日目		
o10	s10	t10	f10	休養日	o13	s13	t13	f13	休養日		
0911	2527	1315	1721								
15 日目				16~19 日目	20 日目				21~24 日目		
o15	s15	t15	f15	休養日	o20	s20	t20	f20	休養日		
2529	0913	0105	1725		0109						
25 日目											
o25	s25	t25	f25								
0117											

休息日と大会日数の関係は図 5-2 のようになった。休息日を 1 日設けた場合から 4 日設けた場合にかけて、大会日数が増している様子を確認することができた。

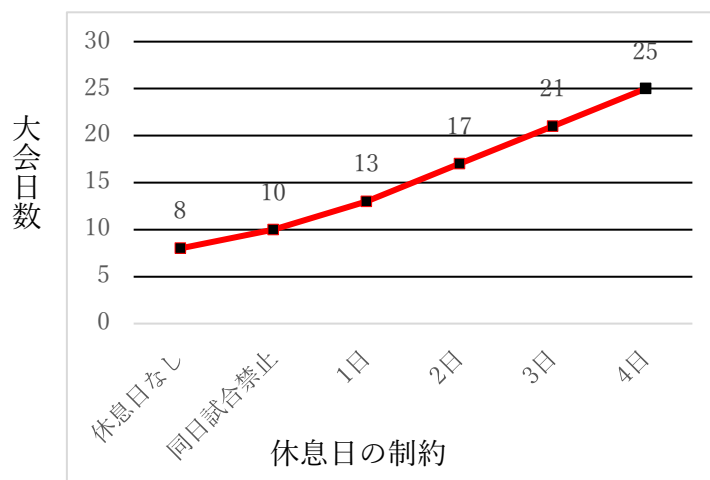


図 5-2 大会日数と休息日日数の関係

5 おわりに

本論文では、春の高校野球大会を題材に数理モデルを用いて、選手の休息日を考慮した場合の大会日程の最短期間を示した。これによって、32 チームが参加する選抜高等学校野球大会であれば現行の大会日程より 1 日延ばすだけで、全てのチームが 2 日連続の試合を回避できることが分かった。

2019 年秋には高野連が投手の投球制限を対象として示しているが、以上のことから、球数制限を設ける前に大会日程を再検討する余地があることが示された。その一方で、チーム間の休息日数が不平等になっている点や、チーム数がより多い夏の甲子園大会の試合日程についてこのアプローチが適用可能かなどの点が今後の課題として挙げられる。

謝辞

本研究にあたり、ご指導いただきました根本俊男教授には大変お世話になりました。また、根本ゼミナールのメンバーの方にもご協力いただきました。本研究に関わってくださった方に感謝を申し上げます。ありがとうございました。

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・リサーチ、1999 年 3 月号(1999)P. 141～P. 146