

コンサートにおける警備スタッフのスケジューリング問題

2019SS064 小野田響保

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

コンサート会場で警備を担当するスタッフは、会場内で来場客や演者が安全に公演を楽しめるように警備・監視する。開演してから終演までの間に適宜休憩をとるが、十分に休憩をとれる人がいる一方で、まったく休憩が取れない人がいることがある。原因として、スタッフの休憩スケジュールが事前に決められていないことが挙げられる。現場の状況に応じてスタッフの休憩を管理するスタッフがその場で交代の指示を出し、他のスタッフが交代の指示を伝えて交代した上で休憩に行くことが多い。スタッフが十分に休憩がとれないと警備の質の低下で警備が遅れることや、スタッフからの不満が大きくなると離職者が増加し、人手不足につながりかねないことが考えられる。

これらの問題を解決するために、本研究ではコンサートの公演時間内においてスタッフの休憩を計画的に確保するスケジュール作成を目的とする。

2 問題の説明

本研究で用いる用語を表1のように定義する。

表1 用語の説明

用語	説明
稼働人数	公演時間内に警備中のスタッフの人数。
ブロック	コンサート会場で複数に分けられているエリア
時刻単位	コンサートの公演時間の区切りのことである。1時刻単位を10分とする。
スキル値	スタッフの能力を1から5の値で設定したものである。

表2にスキル値ごとのスタッフの能力の目安を示す。

表2 スキル値ごとのスタッフの能力の目安

スキル値	能力の目安
1	業務経験が全然ない
2	ある程度業務をこなすことができる
3	通常業務は1人でこなすことができる
4	通常業務に加えて現場の指揮ができる
5	現場指揮に加えて不測の事態に対応できる

本研究では、稼働人数の最小化を目的とする、そうすることで、警備中のスタッフが減り、相対的にスタッフの休憩時間が増えることで、スタッフの休憩時間を計画的に確

保したスケジュールを作成できる。スケジュール作成の際に考慮する制約を以下に挙げる。

1. 各ブロックにおいて最低限必要な人数を設定し、それ以上のスタッフを割り当てる。
2. 開演中、各スタッフは公演時間の半分以上警備を行い、2単位以上休憩する。
3. スタッフは必ずいずれかのブロックに割り当てられ、途中でブロックを変更することはない。
4. 各ブロックにスキル値4以上のスタッフを1人以上割り当て、開演中は各ブロックにスキル値3以上のスタッフを1人以上割り当てる。

また、作成するスケジュールをより実用的なものにするために、以下のような制約を加える。

1. スタッフは配置につく時、一定時間以上連続で警備を行う。
2. 休憩は2単位以上連続する。

3 定式化

はじめに、以下の記号を定義する。

I : スタッフの集合。

J : ブロックの集合。

T : 単位の集合, $T = \{1, 2, \dots, a\}$

S : スキル値の集合. $S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

l_j : ブロック $j \in J$ の警備に最低限必要な人数。

g_{jt} : ブロック $j \in J$ において時刻単位 $t \in T$ において必要な人数。

r : 連続して配置につく単位の数。

$$k_{is} = \begin{cases} 1: \text{スタッフ } i \in I \text{ のスキル値は } s \in S \text{ である.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

次に、以下の決定変数を定義する。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{スタッフ } i \in I \text{ をブロック } j \in J \text{ に割り当てる.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$y_{ijt} = \begin{cases} 1: \text{スタッフ } i \in I \text{ が時刻単位 } t \in T \text{ において} \\ \text{ブロック } j \in J \text{ に割り当てられている.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

この問題は以下のように定式化できる。

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} y_{ijt}, \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq l_j, \quad j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s=4}^5 k_{is} x_{ij} \geq 1, \quad j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ijt} \geq g_{jt}, \quad j \in J, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} y_{ijt} \leq a - 2, \quad i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} y_{ijt} \geq \frac{a}{2}, \quad i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ijt} \leq 1, \quad i \in I, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s=3}^5 \sum_{t \in T} k_{is} y_{ijt} \geq 1, \quad j \in J \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq y_{ijt}, \quad i \in I, j \in J, t \in T \quad (10)$$

$$y_{ij(t+n)} \geq y_{ijt} - y_{ij(t-1)}, \quad i \in I, j \in J, t \in T(2, \dots, a-r), n \in (1, \dots, r-1) \quad (11)$$

$$(r-1)y_{ijt} \geq \sum_{n=1}^{r-1} y_{ij(t+n)}, \quad i \in I, j \in J, t \in (0, \dots, r-1) \quad (12)$$

$$(r-1)y_{ijt} \geq \sum_{n=1}^{r-1} y_{ij(t-n)}, \quad i \in I, j \in J, t \in (a-r, \dots, a) \quad (13)$$

$$y_{ijt} \geq y_{ij(t+1)} + y_{ij(t-1)} - 1, \quad i \in I, j \in J, t \in T(2, 3, \dots, a-1) \quad (14)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J \quad (15)$$

$$y_{ijt} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, t \in T \quad (16)$$

目的は、稼働人数を最小にすることである。(2)は、スタッフ $i \in I$ が受け持つブロックの数は1つであるという制約である。(3)は、ブロック $i \in J$ に割り当てるスタッフの人数は l_j 以上であるという制約である。(4)は、スキル値4以上のスタッフ $i \in I$ を最低1人ブロック $j \in J$ に割り当てるという制約である。(5)は、単位 $t \in T$ の時にブロック $j \in J$ に割り当てるスタッフの人数は g_{jt} 以上であるという制約である。(6)は、スタッフ $i \in I$ は2単位以上の休憩時間を確保するという制約である。(7)は、スタッフ $i \in I$ は公演時間内の半分以上警備を行うという制約である。(8)は、スタッフ $i \in I$ が単位 $t \in T$ に受け持つブロックの数は1つ以下であるという制約である。(9)は、単位 $t \in T$ にスキル値3以上のスタッフ $i \in I$ を最低1人ブ

ロック $j \in J$ に割り当てるという制約である。(10)は、スタッフは割り当てられたブロックを途中で変更することがないという制約である。(11)(12)(13)は、スタッフは3単位以上連続で配置につくという制約である。(14)は、休憩は2単位以上連続で行うという制約である。(15)(16)は、バイナリ制約である。

4 計算結果

実際のコンサート会場を想定した仮想データと Gurobi Optimizer 9.1.2 を用いて計算実験を行った。計算に使用した PC に搭載されたプロセッサは、Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU@3.40GHz 2.50GHz、メモリは16GBである。スタッフの数は12、ブロックの数は3、単位は12、連続割り当ての下限は3、各ブロックの必要人数はそれぞれ5, 1, 1、各ブロックの必要人数はそれぞれ8, 2, 2とした。これは収容人数が3000人の会場 [1] を想定したデータである。例における計算実験の結果を図1と図2に示す。

	単位1	単位2	単位3	単位4	単位5	単位6	単位7	単位8	単位9	単位10	単位11	単位12
スタッフ1												
スタッフ2												
スタッフ3												
スタッフ4												
スタッフ5												
スタッフ6												
スタッフ7												
スタッフ8												
スタッフ9												
スタッフ10												
スタッフ11												
スタッフ12												

図1 スタッフの休憩スケジュール

	ブロック1	ブロック2	ブロック3
スタッフ1			
スタッフ2			
スタッフ3			
スタッフ4			
スタッフ5			
スタッフ6			
スタッフ7			
スタッフ8			
スタッフ9			
スタッフ10			
スタッフ11			
スタッフ12			

図2 スタッフの割り当て

これらは2秒程度で導出され、スタッフの休憩を確保した上で現実的なスケジュールを組むことができた。

5 おわりに

本研究のモデルを用いることで、コンサートスタッフの計画的な休憩スケジュール作成が可能になり、コンサートスタッフの労働環境改善に繋がると考えられる。一方で、当日の欠勤などによりスタッフの数が急遽減った場合モデルが実行不可能になる場合があるという課題もある。その際は、スタッフのダミーデータを用いて計算実験を行うことで実行を可能にさせる。

参考文献

- [1] 名古屋国際会議場。 センチュリーホール。 https://www.nagoya-congress-center.jp/facility/century_hall/. 2022年9月24日閲覧。