

# 工場における駐車場の最適割当システムの試作

2017SS040 間口遙加 2017SS100 吉田水紀

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

本研究では、ある企業の工場における駐車場の割り当て問題をオペレーションズリサーチ (OR) の手法を用いて解決することを考える。この企業は長年にわたって OR を用いた業務改善に取り組んできている (参考文献 [2], [4], [5], [6])。今年度は工場における従業員の駐車場の割り当ての自動化に取り組むことにした。

この企業のある工場では現在約 5000 人の従業員がおり、そのうちの約 3500 人が車を利用して通勤している。研究対象の駐車場は工場内と工場外の広範囲に合計 12 か所設置されている。現在の駐車場の割り当て方は、担当の職員によって手作業で行われており、各従業員の駐車場の割り当てに手間と時間がかかっている。駐車場の利用方法は、到着した時間が早い従業員から順番に手作業で割り当てられた駐車場に駐車する方法である。この方法では後から来た従業員が駐車場を探すことに 1 時間以上かかることもあり業務に支障をきたしている。また、現在の駐車場の割り当てには、駐車場のある工場内の敷地へ入構するのに道路から門へ進入する際に右折するか左折するかの条件が反映されていないため、工場内に右折で入構する車が多く、工場の周辺の道路では交通渋滞が発生している。このような状況の中で、構内・構外ともに車による接触事故が多発している。昨年度の研究では、この交通渋滞や事故を緩和するために ArcGIS という地理情報システムを用いた [7]。このソフトで従業員の住所から大まかな通勤ルートを検索し、2 つの門のうち右折で入構する車を減らし左折で入構する車を増やすことを目的とした門を決めた。北門と南門に割り当てられた従業員はそれぞれ 1732 人と 1754 人である。

我々は駐車場内での従業員ごとの駐車場の割り当て方をこの企業と打ち合わせをし、その解決方法を考えて割り当てるためのシステムを作成する。昨年度の研究で従業員の利用する門を指定したのちに、12 か所ある駐車場のうちの 3 か所は役員専用の駐車場、構内の長距離移動が困難な従業員専用の駐車場、お客様専用の駐車場として設け、残りの 9 か所の駐車場 (以降一般駐車場と呼ぶ) で割り当てを考え、部署ごとに駐車場が割り当てられた。具体的には線形計画法を用いて各部署の勤務場所から割り当てられた駐車場までの距離の総和を最小にして割り当てるシステムが作られた。しかしこれでは部署内での個人の割り当てができておらず、個人の割り当てが部署ごとで手作業になってしまうため、本研究では部署ごとに割り当てられたものを個人単位で細かく割り当てられるシステムを作成する。個人の割り当ては年齢が高い人から順に近い駐車場に割り

当てるために、貪欲算法を用いて部署の従業員番号の小さい順に割り当てる。さらに定期異動で部署を異動し、利用する駐車場が変わる従業員についての割り当ての自動化もできるようにしていく。定期異動者の割り当てについても、異動先の部署の勤務場所から割り当てる駐車場までの距離の総和を最小になるよう考える。その問題を Python の PuLP で記述しソルバーで解き、解を Excel に出力するプログラムを作成した。

以上より通勤に車を利用する全従業員の駐車場の場所を自動で最適に決めることにより、駐車場の混雑の解消につながり、手作業での割り当ての手間もなくなることで業務の改善が期待できる。

## 2 昨年度からの駐車場の割当ルールの変更点

従業員の入構箇所は北門と南門の 2 か所である。昨年度は北門から入構する従業員は駐車場 1, 2, 6, を利用し、南門から入構する従業員は駐車場 3, 4, 5, 6 を利用することになっており、構外の駐車場 7, 8, 9 は北門利用者、南門利用者のどちらでも利用可能となっていた。

しかし、今年度からは駐車場 6 を駐車場 6 南と駐車場 6 北に分けた。また、構外の駐車場は渋滞の助長をしないためにもそれぞれ門までの距離に近いほうが良いと考え、駐車場 7, 8 は南門、駐車場 9 は北門とした。これはこの条件で貪欲算法を行うために駐車場までの距離を決めることは難しいと判断したためである。また、駐車場 6 南と駐車場 6 北の容量は、容量が少なかつた南側をより多く設定し、北門と南門に割り当てられる駐車場数をほぼ同数とした。

## 3 個人への割り当て問題

### 3.1 問題背景

昨年度の研究では部署ごとの公平性を担保しつつ移動距離を最小にするような駐車場への割り当てプログラムを作成した。しかし、その割り当ては部署ごとの人数を出力したものであり、そこから部署内で各従業員へ割り当てる作業は手作業となってしまった。部署内の人数が数人であれば手作業でも問題はないが、中には約 500 人が属する部署もあり、手作業で割り当てるには膨大な時間がかかってしまう。企業との話し合いの結果、部署ごとに割り当てられた駐車場をさらに個人へ割り当てるプログラムを作成することが決定した。

### 3.2 考え方

個人への割り当ては部署ごとの割り当て結果を元に行う。部署内で各駐車場への割り当て人数は決まっているため、ある基準を元に各従業員へ割り当てていく。その基準とは、従業員番号である。従業員番号は入社時に与えられ

るもので、転職者以外はほぼ年齢順となる。従業員番号が若い順に各部署に割り当てられた駐車場の中で移動距離が短いものを割り当てていく。

### 3.3 プログラムの作成

部署ごとの割り当て結果や部署から駐車場までの距離行列、企業から提供された従業員データを元に、Python を用いてプログラムを作成する。駐車場までの距離や従業員番号を基準として、値が大きい（小さい）順に並び替えるソート機能を利用して駐車場を割り当てていく。この時、駐車場の専用門と従業員の入構ゲートは一致させなければならないため、各駐車場と部署内の各従業員を南北に分割して考えるようにする。また、交代制従業員も半数削除し、部署ごとの割り当て数の合計と従業員数が一致するようにする。

### 3.4 工夫した点

駐車場6と構外駐車場（駐車場7, 8, 9）は元々南北どちらの門から入構しても使用できる駐車場とされていたが、プログラム作成上この条件で貪欲算法を行うことは難しいと判断した。企業と話し合った結果、駐車場6は駐車場6北と駐車場6南に分け、比較的全体容量が少なめの南側の容量を多めに設定した。また、構外駐車場は距離の短さから駐車場9は南門、駐車場7, 8は北門と設定した。また、南北門共通駐車場を分けたため、駐車場の容量が足りなくなってしまうが、元データの駐車場利用率を97%から98%とすることで解決した。

実行当初は本来の従業員数とは一致せず、また、元となるデータの読み込みにエラーが出るなどの問題があった。調べたところ、元となるデータの入力漏れや入力ミスがあることがわかった。そこで、我々はコンピュータの扱いに慣れていない従業員でもデータの変更が出来るよう、マニュアルを作成した。

### 3.5 結果と考察

実際にプログラムを利用した結果が下記の表である。1が部署ごとの駐車場データ、2が部署ごとの従業員データ、3が個人への割り当て結果である。

表1 部署ごとの駐車場データ (一部)

部署1	門	距離	割り当て数
駐車場8	北	440	0
駐車場1	北	490	1
・	・	・	・
駐車場6南	南	690	3
ダミー		1000000000	0

表2 部署ごとの従業員データ (一部)

	使用門
従業員番号1	北
従業員番号2	北
・	・
従業員番号7	南

表3 個人への割り当て結果 (一部)

	部署名	部署コード	従業員番号	駐車場	門	勤務形態
1	部署1	01	従業員番号1	駐車場1	北	フレックス
2	部署1	01	従業員番号2	駐車場2	北	フレックス
3	部署1	01	従業員番号3	駐車場6南	南	フレックス
・	・	・	・	・	・	・
2478	部署67	67	従業員番号2478	駐車場9	南	フレックス

元のデータを変更したため、部署ごとの割り当て結果も変化している。使用可能量は増えたものの昨年と同様あまり余裕はない結果となった。また、共通門を南北に分けた結果、昨年の結果では使用門から遠い駐車場に割り当てられていたところを近い駐車場に割り当てることができた。

## 4 定期異動者の割り当て問題

ここまで現在所属している従業員のみ駐車場の割り当てを行ってきた。しかし、人事異動によって配属が変わり駐車場の位置を変更する従業員は少なくない。その都度割り当ての変更をしては従業員の混乱を招くこととなる。そこで、定期的に行われる大人数の人事異動に対する駐車場の割り当て変更について考えることにした。また、ここでは少人数である不規則の人事異動については考えないこととする。

## 5 定期異動者への割り当て

### 5.1 割り当ての考え方

定期異動者の割り当てについて、部署間の公平性を担保しつつ昨年と同様に整数計画法で解くことにした [1]。部署は関係なく従業員番号の若い順に近い駐車場を割り当てることも考えたが、企業の担当者からの要望によりこちらの解法を進めていく。整数計画法とは、整数で表される変数に関する1次の等式や不等式で与えられた制約条件のもとで、変数の1次関数を最小化（または最大化）する問題である。この問題では定期異動者の異動前の駐車場を含めた空いている駐車場の容量の中で、勤務場所から駐車場までの距離の合計を最小とする。また、部署間での駐車場から部署のある建物までの移動距離の公平性を担保するために、定期異動後の各部署の平均移動距離が定期異動前の各部署の平均移動距離の $\pm\alpha\%$ に収まるようにする。

### 5.2 使用するデータ

問題を解くにあたって必要となるデータは定期異動者の所属部署、従業員番号、使用する門、割り当てられている駐車場、異動先部署、異動後の駐車場使用の有無である。

割り当てられている駐車場と異動後の駐車場使用の有無を入力することによって、異動者ではなくても退職者や新入社員、転職者の駐車場割り当てについても考えることができる。

### 5.3 問題の解法

定期異動者のデータを読み込み、元の割り当てデータから削除することで、異動後に空いている駐車場の容量を求める。その容量の中で部署ごとの割り当て数を整数計画法を解いて求めていく。

目的関数として駐車場から部署までの距離を最小とし、制約条件として6つの条件が考えられる。1つ目は1人の従業員に対して必ず1つ駐車場を割り当てること。2つ目は北門を利用する従業員は北門駐車場に駐車すること。3つ目は南門を利用する従業員は南門駐車場に駐車すること。4つ目は駐車する車の台数が空いている駐車場の容量に収まること。5つ目は近い駐車場に駐車することができる部署へ異動してくる人数の割合を定め、それを超えないようにすること。6つ目は変数を0以上の整数とすること。

したがって、以下の定数と変数を準備して目的関数と制約条件を定めた。

[記号の定義]

$I$  : 部署  $i$  の集合

$J$  : 駐車場グループ  $j$  の集合

$N$  : 北門駐車場  $j$  の集合

$S$  : 南門駐車場  $j$  の集合

$c_{ij}$  : 部署  $i$  から駐車場  $j$  までの距離

$M_i$  : 部署  $i$  に異動する従業員の人数

$M_{ni}$  : 部署  $i$  に異動する従業員のうち、北門を利用する人数

$M_{si}$  : 部署  $i$  に異動する従業員のうち、南門を利用する人数

$Q_{ij}$  : 異動前に部署  $i$  で駐車場  $j$  を利用していた人数

$K_{ij}$  : 異動前の部署  $i$  で駐車場  $j$  を利用していた異動者の人数

$L_i$  : 異動後の部署  $i$  の人数

$d_j$  : 駐車場  $j$  の空き容量

$a_i$  : 異動前における部署  $i$  の平均移動距離

[変数]

$x_{ij}$  : 部署  $i$  に異動する従業員のうち、駐車場  $j$  に割り当てる人数

[目的関数]

目的: 各異動先部署の勤務場所から割り当てられた駐車場までの距離の合計を最小化

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}$$

[制約条件]

制約条件の説明と制約式はそれぞれ上から順に対応している。

1. 駐車場を利用するすべての定期異動者がいずれかの駐車場に割り当てられなければならない。
2. 北門を利用する従業員は北門駐車場に割り当てなければならない。
3. 南門を利用する従業員は南門駐車場に割り当てなければならない。
4. 駐車場を利用する定期異動者の人数を各駐車場の空き容量に収める。
5. 定期異動後の部署の移動距離を異動前における平均移動距離の  $\pm\alpha\%$  以内に収める。
6. 変数  $x_{ij}$  は0以上の整数

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = M_i (i \in I) \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} \leq M_{ni} (i \in I) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ij} \leq M_{si} (i \in I) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq d_j (j \in J) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & (1 - 0.01\alpha)a_i \\ & \leq \frac{\sum_{j \in J} c_{ij}(Q_{ij} - K_{ij} + x_{ij})}{L_i} \\ & \leq (1 + 0.01\alpha)a_i (i \in I) \end{aligned} \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots\} (i \in I, j \in J) \quad (6)$$

## 6 プログラムの作成

定期異動者についてのデータが企業にないため、こちらで企業からはじめに提供されたデータからランダムに従業員100人のデータを抽出し、異動先の部署コードをランダムに入力して定期異動者とするプログラムをまず作成した(表4)。

表4 定期異動者データ(一部)

	部署コード	従業員番号	駐車場	門	異動先部署コード
1	01	従業員番号1	駐車場6南	南	18
2	10	従業員番号2	駐車場1	北	32
3	05	従業員番号3	駐車場2	北	08
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
100	26	従業員番号100	駐車場2	北	54

このとき、所属部署コード、従業員番号、使用する門、割り当てられている駐車場は関連付けて抜き出しているため、比較的現実の問題に近似していると考えられる。

このデータを利用し、最適化モデルをPythonのPuLPを用いて作成した。作成したコードは付録に添付

している。制約条件の一つである、定期異動後の部署の平均移動距離を定期異動前の平均移動距離の $\pm\alpha\%$ に収めるための $\alpha$ は任意に選べるようにした。また、駐車場の容量が足りないときにエラーを起こさないために距離行列の値の高めのダミー駐車場を用意してある。さらに、一部の部署において割り当てない駐車場があるため、該当する距離行列の値をダミー駐車場の値よりも大きく設定した。

## 7 結果

実際にプログラムを $\alpha = 5$ とし、表4の定期異動者のデータを利用して実行した結果の一部をまとめたものが表5である。

表5 定期異動者の割り当て結果1(一部)

部署名	駐車場1	駐車場2	・	駐車場9	ダミー
部署1	0	0	・	0	0
部署2	0	0	・	0	0
・	・	・	・	・	・
部署66	1	0	・	0	0
部署67	1	0	・	0	0
合計	26	5	・	18	0

異動前における全体の割り当て結果の各部署の移動距離の平均値の $\pm\alpha\%$ に収めるという条件を利用したことにより、部署間の公平性は担保されて割り当てられた。用意した駐車場は駐車場1～9の9つとダミーの合計10の駐車用である。このうち北門から入構する従業員が利用できる駐車場は構内の駐車場1と駐車場2、構外の駐車場7と駐車場8であり、南門から入構する従業員が利用できる駐車場は構内の駐車場3・駐車場4・駐車場5と構外の駐車場9である。駐車場6については北門からも南門からも距離がほぼ等しいためどちらの門からでも利用できる。定期異動者の異動前に割り当てられている駐車場や異動後の部署によっては、 $\alpha$ の値が小さいとうまく割り当てられないこともあるので、その場合は $\alpha = 10$ など少し増やしてからもう一度実行すると問題なく割り当てられる。

## 8 おわりに

本研究では、昨年度に引き続き駐車場の割り当ての自動化、定期異動者に関しても割り当て変更システムを作成することで、さらに担当職員の負担を軽減することができると思われる。また、部署ごとに割り当てるシステムの不具合などを修正することで、より実用化に近づいた。個人への割り当てシステムでは、今回は従業員番号を基準として割り当てたが、データがあれば年齢や役職によっても並び替えることが可能である。また、定期異動者の割り当て変更に関しては部署ごとに割り当てたが、そこから個人への割り当てシステムを応用することによってさらに効率化を図ることができる。

定期異動者の割り当てに関しては全体の割り当てと同じ

く整数計画問題として解いたが、制約式を1つ変更した。部署間の公平性を担保するという点で、全体の割り当てでは近い駐車場に停めることができる部署内の人数に制約を設けた。しかし、それでは部署内の人数が極端に少ない場合に遠い駐車場に割り当てられてしまうことがわかった。そこで、定期異動者の割り当てでは全体の割り当て時の平均を用いて、ある程度の差の範囲内に収まるような制約とした。これによって定期異動者の割り当てが全体の割り当て時よりも優遇されるような結果にはならず、部署間の公平性も担保することができた。ただ、全体の割り当ての平均を用いていることから、全体の割り当てにこの考えを使用することはできない。平均を用いることなく部署間の公平性を担保する解決法を求めることが今後の大きな課題である。

今回2つのプログラムを作成することで、本来の目的である駐車場の割り当ての自動化については一段落ついた。実際に運用するためにはデータの形式を固定した上で従業員データの更新を行わなければならない。全従業員のデータの更新には膨大な時間と手間がかかるため、データ更新プログラムを作成することも今後の課題として考えられる。

実際にこれらのプログラムを運用することができれば担当職員の作業の効率化が進み、他の業務に時間を費やすことができる。また、渋滞緩和やスムーズな駐車を可能にすることで従業員の不満を減らし、無駄な時間を費やすことなく業務に専念することができる。さらには委託元の企業が管理する他の工場でもこの駐車場割り当てシステムを応用することで、企業全体の業務効率化につながると考えられる。

## 参考文献

- [1] 福嶋雅夫：『新版 数理計画入門』。朝倉書店、2013
- [2] 小林友哉，山崎遥：『トラック配送ルート自動算出システムの開発』。南山大学理工学部システム数理学科，2019年度卒業論文，2020
- [3] 久保幹雄，小林和博，斎藤努，並木誠，橋本英樹：『Python 言語によるビジネスアナリティクス』。近代科学社，2016
- [4] 美馬将大，横川翠り：『自動車の新シート開発における作業負荷予測』。南山大学理工学部システム数理学科，2018年度卒業論文，2019
- [5] 永田勇貴，荒川弘規，郷治若葉，伊藤和哉：『製造業における企業内研修の最適設計』。南山大学理工学部システム数理学科，2017年度卒業論文，2018
- [6] 中嶋倫太郎，能登弘庸，田村浩平：『トラック配送ルートの自動決定システムの試作』。南山大学理工学部システム数理学科，2018年度卒業論文，2019
- [7] 西翠，小島崇揮：『工場における駐車場の最適運用』。南山大学理工学部システム数理学科，2019年度，2020