

工場における駐車場の最適運用

2016SS046 西翠 2016SS054 小島崇揮

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

我々の研究では、ある企業から委託された駐車場問題を解決するために、オペレーションズ・リサーチ (OR) の手法を用いる。我々の研究室では、様々な委託研究を受けており、その中の1つとして、当該の企業からの委託研究がある。

現在、この企業のある工場では約 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その近隣に広範囲に散在しており、合計 12 か所の駐車場が工場の構内・構外に設置されている。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。しかし、これらの方法だと様々な問題が発生する。第一に、後から来た従業員が駐車場を探すことに時間がかかってしまい、最悪の場合には 1, 2 時間も駐車場所を発見できないという事態が発生し、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、工場へ右折で入構するか左折で入構するかという条件が割り当てに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。さらに、大きな怪我や妊娠中など身体的な条件から長距離移動が困難な従業員が、働いている部署の近くの駐車場に停められないというような問題も発生している。

この問題を解決するため、我々は各従業員ごとの駐車場の割り当てを企業と打ち合わせをし、様々な条件を決め、その条件を加えた最適な運用をオペレーションズ・リサーチ (OR) の手法の中の1つである整数計画法を用いて最適な駐車場所を導き出すことに決めた。12 か所の駐車場のうちの 3 か所は重役専用の駐車場、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、それぞれ設けることにした。ここでは、それらの駐車場の割り当てには触れず、それ以外の従業員を残りの 9 か所の駐車場に割り当てることとした。また構外における交通渋滞や事故を緩和させるため、地理情報システムの ArcGIS というソフトウェアを利用した (参考文献 [2])。ArcGIS は、地理情報を収集、整理、管理、解析、伝達、および配布するための包括的なシステムである。今回はこのうちの解析というツールを用いて、従業員の住所から大まかな通勤ルートを検索することにした。これにより、工場に入るための 2 つのゲートのうち、右折で入構する車を減らし、左折で入構する車を増やす事を目的としたゲートを決めることが出来るようになった。

駐車場の割り当てにおいて、各部署の勤務場所から各駐車場までの距離を調べ、勤務場所から割り当てる駐車場の距離の合計が最小になるようにする必要がある。そのため、それらのデータをもとに車を利用する各従業員の駐車場から部署までの距離を調べ、各従業員に割り当てられた駐車場から部署までの距離の合計が最小になる整数計画問題を Python の PuLP で記述し、適切なソルバーで解き、解を Excel 上に出力するプログラムを作成した。これによって、条件を満たす駐車場の割り当てが自動化できる。

以上のことから、車を利用する従業員の駐車場所を最適に決めることにより、駐車場の混雑および交通渋滞を減らすことが期待できる。

2 利用するデータについて

利用するデータとして企業から、従業員、役職、部署、部署の勤務場所、勤務場所から駐車場までの距離、通勤手段、有料道路の利用の有無、勤務形態、思いやり駐車場の利用の有無等が含まれたデータと駐車場に関するデータを提供してもらった。そのデータから、通勤手段で車を利用する従業員の各データや各駐車場の駐車場名、容量を抽出したものを扱う。また、従業員の所属部署と勤務場所のデータと勤務場所から駐車場までの距離のデータから作成された各部署の勤務場所から各駐車場までの距離行列も扱う。

3 問題の説明と解法

研究対象の駐車場は 9 か所で、詳細は図 1 に示す。



図 1 工場周辺の地図

入構箇所は北門、南門の 2 か所である。このうち、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。また、構外の駐車場として駐車場 7, 8, 9 が設置されている。

ここから、入構するゲートを決定し、その後駐車場の割り当てを行う。

4 入構するゲートの決定

まず、企業から提供してもらったデータから、通勤手段が車である従業員のみを抽出する。次に、車を利用する従業員のうち、有料道路を利用する従業員を抽出する。その次に、有料道路を利用する従業員の住所のデータをもとにして、工場までのルートを ArcGIS を用いて検索する。ただし、1人1人の住所を入れて検索すると膨大な時間が掛かるため、今回はある基準を設ける。その基準とは、それぞれの市町村の役所を指し、そこから工場までのルートを ArcGIS を用いて検索することにする。なお、豊田市内から通勤している従業員に関しては多数おり、かつ面積が広いので、地区ごとに分けて考える。地区分けに関しては、豊田市が合併する前の旧市町村境界を参考にしており、全部で14の地区に分けることが出来る。その後、残った有料道路を使わない従業員に関して、同様の手順でルートを調べる。このルートを調べた結果、工場周辺にいくつかの地点を用意し、その地点を通る従業員がどの程度いるのかを調べる。そしてここから、その地点から工場までどのゲートを利用すればよいのかを決める。入構するゲートの決め方の基準として、右折の回数が一番少ないルートを使う。また、混雑及び渋滞を防ぐため、使う道路を重複させないようにする。なお、ルートは無限に考えられるため、それぞれのゲートに対して、遠回りするルートは考えないことにする。

これらを行った結果、従業員は以下の4つの地点のうちのいずれかを通して工場内に入ることが分かった。図2にそれぞれの番号を記しておく。

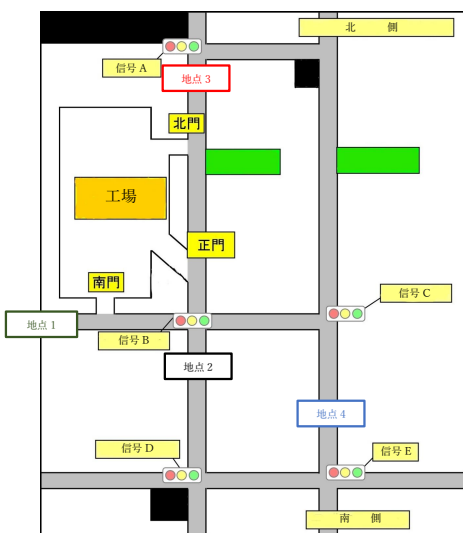


図2 工場周辺の道路網とゲート

このうち有料道路を利用する従業員は全員地点3を通過しており、その人数は763人である。一方、有料道路を利用しない従業員で、それぞれの地点を通る人

数は以下の通りである。

- 地点1：1020人
- 地点2：812人
- 地点3：157人
- 地点4：734人

有料道路を利用する従業員と合計すると、以下の通りとなる。

- 地点1：1020人
- 地点2：812人
- 地点3：920人
- 地点4：734人

それぞれのゲートまでのルートを考えた時、右折する回数を数える。地点1は北門南門いずれも0回、地点2は北門0回、南門1回、地点3は北門1回、南門2回、地点4は北門南門いずれも1回である。ここから、地点2を通る従業員と地点3を通る従業員はいずれも右折回数が少ない北門から入構する。一方地点1と地点4はどちらのゲートを利用しても右折回数は変わらない。ただし、地点2を通る従業員は正門前の道路を利用している。もしも地点1を通る従業員あるいは地点4を通る従業員が北門を利用した場合、正門前の道路が重複し、基準を満たさなくなってしまう。そのため、地点1、地点4のいずれかを通る従業員は南門から入構する。

地点1~4を通る従業員が、それぞれ使うルートをルート1~4とすると、それぞれのルートは図3のようになる。

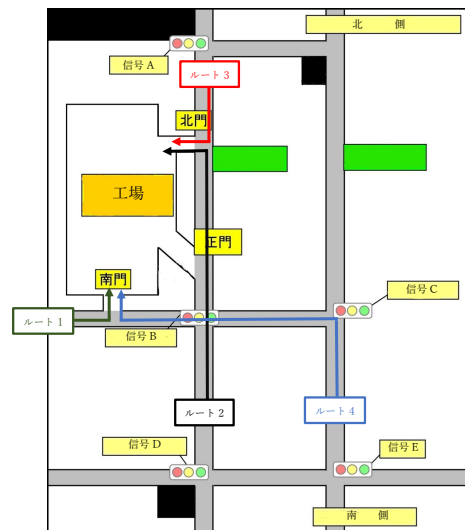


図3 4つのルート

以上より、それぞれの門を利用する車通勤の従業員数は以下の通りとなる。

- 北門：1732人
- 南門：1754人

5 整数計画法による駐車場の割り当て

5.1 整数計画問題

駐車場の割り当て問題として、全従業員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が最小になるような整数計画問題を解く(参考文献 [1]). 整数計画問題は、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。この問題では変数を駐車する車の台数として扱っているので上記の解法を用いる。

5.2 問題の解法

駐車場の割り当て問題を解くにあたり、各部署の勤務場所から各駐車場までの距離行列が必要となる。そこで我々は委託された企業から各部署の勤務場所のデータと工場の建物から各駐車場までの距離のデータを提供してもらい、Python という汎用のプログラミング言語(参考文献 [3])を用いて各部署の勤務場所から各駐車場までの距離行列を Excel に作成した。

駐車場の割り当てのモデルは次のようにする。目的関数を、車を利用する従業員に割り当てられた駐車場から部署までの距離が最小になる整数計画問題で解く。駐車場を決める制約条件としては、大きく分けて6つ考えた。1つ目は、部署に所属する全員が必ず1つの駐車場に駐車する。2つ目は、北門から入構する従業員は、北門駐車場に駐車する。3つ目は、南門から入構する従業員は、南門駐車場に駐車する。4つ目は、駐車する車が駐車場の容量に収まるようにする。5つ目は、部署ごとに勤務場所から近い駐車場に停めることのできる車の台数に制限を設け、その部署が各駐車場に駐車できる台数を超えないようにする。6つ目は、変数は0以上の整数とする。

したがって、この問題を解決するにあたり以下の定数と変数を準備し、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 の勤務場所から駐車場 j までの距離

M_i : 部署 i の総人数

M_{ni} : 部署 i の人のうち、北門を利用する人数

M_{si} : 部署 i の人のうち、南門を利用する人数

d_j : 駐車場 j の容量

α_k : k 番目に近い駐車場に駐車する割合

$x_{i,jik}$: 部署 i から k 番目に近い駐車場 j_{ik} に駐車する人数

[変数]

x_{ij} : 部署 i の人のうち、駐車場 j に割り当てる人数

[目的関数]

目的: 各部署の勤務場所から割り当てられた駐車場

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

[制約条件]

1. 一般駐車場を利用するすべての人がどれかの駐車場に割り当てられなければならない。
2. 北門利用者は北門駐車場に割り当てられなければならない。
3. 南門利用者は南門駐車場に割り当てられなければならない。
4. 駐車する車を各駐車場の容量に収める。
5. 各部署から k 番目に近い駐車場はその部署の一定の割合を超えてはならない。
6. 変数 x_{ij} は 0 以上の整数

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

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

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

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

$$x_{i,jik} \leq \alpha_k M_i \quad (i \in I, k \in \mathbb{N}) \quad (5)$$

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

実際に最適化モデルを Python の PuLP (COIN-OR) を用いて作成した。プログラムを作成するにあたり工夫した点は以下の通りである。

- 駐車場の容量が足りない時にエラーを起こさないため、ダミーの駐車場を設けた。
- ダミーの駐車場には割り当てられないようダミー駐車場の距離行列の値を高めに設定した。
- 一部の部署において割り当てない駐車場が存在するため、該当する距離行列の値をダミー駐車場の値よりも大きな値に設定した。

6 割当結果と考察

実際にプログラムを作成し、データで実行した結果が表1~表4である。表1は結果に対応する距離行列の一部であり、表2は部署の情報を表したものである。結果の一部をまとめたものが表3と表4である。

表1 距離行列1(一部)

駐車場	1	2	3	⋯	9	ダミー
部署1	620	750	530	⋯	490	1000
部署2	490	620	520	⋯	540	1000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
部署77	490	810	470	⋯	430	1000
部署78	490	680	340	⋯	10000	1000

表 2 部署の情報

	部署の人数合計	連 2 の人数	北門	南門
部署 1	18	0	12	6
部署 2	35	0	14	21
・	・	・	・	・
部署 77	13	0	4	9
部署 78	105	50	41	64

表 3 結果 1(一部)

駐車場	1	2	3	・	9	ダミー	合計
部署 1	0	12	0	・	3	0	18
部署 2	14	0	0	・	0	0	35
・	・	・	・	・	・	・	・
部署 77	2	0	0	・	2	0	13
部署 78	0	32	32	・	0	0	80

表 4 結果 2(一部)

駐車場	1	2	3	・	9	ダミー
合計	352	614	105	・	299	0
最大容量	371	634	111	・	315	1000
余裕量	19	20	6	・	16	1000

今回のデータでは、車を利用する従業員のデータから休職者や思いやり駐車場、重役の専用駐車場利用者を除いたデータと先述した各部署の勤務場所から各駐車場までの距離行列、加えて 2475 台分の駐車場を用意した。駐車場は 1~9 に加えてダミー駐車場を 1 つ用意する。容量はそれぞれ、371, 634, 111, 211, 162, 505, 115, 163, 315, 1000 である。また、部署の数は全部で 78 部署存在し、駐車場がダミーを含めて 10 か所あるので、変数の数は 780 個である。なお、企業の方から各駐車場に余裕を持たせたいとの要望があったため、利用率を設けることにした。利用率は、北門と南門でそれぞれ容量の多い駐車場 2, 駐車場 6 を 97% に設定し、残りの駐車場は 95% に設定する。これにより、それぞれの駐車場の容量は 352, 614, 105, 200, 153, 489, 109, 154, 299, 950 となった。そして全ての従業員がダミーに入らないように各部署の勤務場所からダミーの駐車場までの距離を 1000 とする。

ここでは、車を利用する従業員のデータから休職者や思いやり駐車場、重役の専用駐車場の利用者を除くため、北門から入構する人は 1364 人、南門から入構する人は 1415 人の計 2779 人の従業員を各駐車場に割り当てる。また、部署 78 のように、この工場では交替で勤務する勤務形態（勤務時間は被らない）の人がいるため、その場合は割り当てる駐車場の合計が交替で勤務する人の半数を引いた台数となるように部署の総人数を設定している。この問題を PuLP を利用して解くと、実行時間は、0.03125 秒と早く最適解を得られた。

7 おわりに

本研究では、駐車場の割り当てを自動化することによって、工場内外の混雑及び渋滞ならびに身体的な条

件から長距離移動が困難な従業員が、働いている部署の近くの駐車場に停められないという問題の解決を目的とした。そのために従業員データに含まれている住所データをもとにして、入構するゲートを決め、そしてすべての従業員に割り当てられた駐車場から勤務先までの距離が最小となる整数計画問題を考えることで、問題解決の第一歩を踏み出すことが出来た。

入構するゲートに関しては、全従業員が北門あるいは南門のいずれかに左折で入構できるルートを考えてみたが、地点 3 のように迂回したルートでも必ずどこかで右折しなければいけないため、実現するのは不可能であった。ただその中でもできるだけ工場周辺の道路の渋滞緩和及び工場構内外における接触事故の減少を解決するにはどうすればよいかを考えた。その結果として北門と南門を利用する従業員数がどちらかに偏ることなくほぼ同じだったので、工場周辺の混雑及び渋滞の緩和に期待できると考えられる。全員が必ずそのゲートから入構するとは限らないが、駐車場の近さを従業員が理解していれば、決められたゲートから入構する従業員が増えるのではないかと考える。

今回は実際にこのプログラム通りに駐車させたわけではない。そのため、実際に動かすことによって見えてくる課題というものも存在する。現時点でその問題は具体的に何かとは断定できないが、もしそれが問題として現れた場合、それも考慮してプログラムを作成しなければならない。また、毎年入社する新入社員や退職者及び転職者が実在するため、常時この結果が使えるかといわれるとそうとは限らない。また長距離移動が困難な従業員がいつ増えるのかも分からないので、それに対応出来るプログラムを作成することが今後の課題である。さらに、作成したプログラムを実用化し、運用するためのシステムを作成することも今後の課題になる。この企業の工場は他にも存在しているので、これらの課題を解決すれば他の工場でも応用することが出来る可能性がある。そうすれば、この企業に勤める多くの従業員の満足度を上げることが期待できる。

参考文献

- [1] 福嶋雅夫『新版 数理計画入門』, 朝倉書店, 2013
- [2] 川崎昭如『図解! ArcGIS10 ジオデータベース活用マニュアル』, 古今書院, 2014
- [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