

事例研究

タクシー待機場所におけるタクシー配置台数の最適化

近畿大学 谷崎 隆士, 片岡 隆之

本稿では、タクシー稼働情報に基づき、タクシー待機場所におけるタクシー配置台数を最適化する方法について提案する。タクシー会社の顧客獲得方法は、(1)電話でのタクシー配車依頼、(2)街頭でのタクシー必要者との遭遇に大別される。前者の課題に対して、電話でのタクシー配車依頼件数の多い時間帯に多くのタクシーを稼働させる事を狙いに、単位時間・タクシー1台当たりの電話での配車依頼件数を最小化するタクシー乗務員の勤務の再配置策について研究を行った。今回は、後者の課題に対して、タクシー待機場所からタクシー必要者への総走行距離を短縮化する事を狙いに、タクシー待機場所におけるタクシー配置台数の最適化について、輸送型線形計画問題としてモデル化した研究結果について報告する。実データを用いた数値実験の結果、タクシーの総走行距離を30%程度削減可能である事がわかった。

Optimum Allocation Method of Taxi Vehicles

Using Transportation Problem Method

Kinki University Takashi TANIZAKI, Takayuki KATAOKA

Abstract: In this paper, we propose optimum allocation method of standby taxi vehicles at taxi stands using taxi working information. There are two ways for a taxi company to get customers. One is to deliver taxi for a telephone request, and the other is to get customers on street. In previous research we researched rearrangement method of the taxi drivers working hours so as to operate many taxis with many telephone requests for the former method. For the latter method, we formulate this problem as Linear Programming problem in order to minimize the total mileage, fulfilling the taxi demand of all the allocation and maximum number restriction of taxi stands. As a result of numerical calculation, there are some improving points to change the number of standby taxi vehicles at taxi stands, and it turned out that total mileage may be reducible by 30%.

Keywords: optimum allocation, taxi company, linear programming, service productivity

1. はじめに

日本のタクシー利用客数は、バブル崩壊後、約15年間減少を続けている。一方、2002年にタクシーの規制緩和を進める改正道路運送法が施行され、新規参入が容易になった。この結果、タクシーの車両数が増える一方で、輸送人員・運送収入が減少した結果、日車営収(=総営業収入/延べ実働車両数)が減少した[1][2]。顧客獲得競争を勝ち抜くために、タクシー会社は会員登録制を利用した顧客の囲い込み、GPSやスマートフォンを活用したタクシー運行効率化システムの導入等を進めている。しかし、日本のタクシー会社は、保有車両数50両以下の事業者が約90%、資本金が1000万円以下の事業者(個人企業を除く)が約70%を占め、殆どが中小企業である事から、最新鋭の情報機器を装備したタクシー配車システム

の導入に踏み切れない企業が多い。このような背景から、筆者らは中小のタクシー会社が少額の投資でサービス生産性を向上し、顧客を獲得するための施策についての研究を行ってきた。

日本のタクシー会社の顧客獲得方法は、主に下記の2通りである。

(1)電話でのタクシー配車依頼

(2)街頭でのタクシー必要者との遭遇

(1)については、電話でのタクシー配車依頼に対して迅速にタクシー配車する事が求められる。この課題に対して、筆者らは配車依頼件数の多い時間帯に多くのタクシーを稼働させる事を狙いに、単位時間・タクシー1台当たりの電話での配車依頼件数を最小化するタクシー乗務員の勤務の再配置策について研究を行った[3]。(2)については、タクシー必要者の多い場所にタクシーを多く配置する事が求められる。今回、この課題に対

Optimum Allocation Method of Taxi Vehicles Using Transportation Problem Method

して、タクシー待機場所からタクシー必要者への総走行距離の最小化を狙いに、タクシー待機場所におけるタクシー配置台数（以下最適配置と記述）の決定という、新たなモデルを提案する。従来の最適配置問題は、地域に施設をどのように配置したら最も良いかという研究であり、ボロノイ図を用いた解法が研究されている[4]。本研究は地域の施設における配置台数の最適化であり、従来研究とは異なる観点からアプローチを行った。

本報告では、共同研究を行っている西条タクシーの現状分析、タクシーの最適配置方法、および本手法の有効性の検証結果について述べる。

2. 西条タクシーの現状分析

西条タクシーは、前述の日本の大多数を占めるタクシー会社の範疇に属する企業である。その主な営業範囲は、東広島市内である。タクシー待機場所別の最大待機可能台数、各時間帯別のタクシー稼働台数、顧客がタクシーに乗り込んだ地点についての 2011 年の実績を以下に示す。

2.1 タクシー待機場所別の最大待機可能台数

表 1 にタクシー待機場所別の最大待機可能台数を示す。この台数は、待機場所の広さ、他のタクシー会社との待機台数配分 等から決定される。

表 1 タクシー待機場所別の最大待機可能台数

待機場所	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
待機台数	3	3	4	1	2	1	4	5	5	2

2.2 時間帯別タクシー稼働台数

西条タクシーでは、時間帯別にタクシー稼働台数を変化させている(表 2)。タクシー利用が多い時間帯(7 時～1 時)はタクシー稼働台数が多く、利用の少ない時間帯(3 時～6 時)はタクシー稼働台数が少ない。

2.3 稼働実績

表 3 に 2011 年 1 月から 12 月の稼働実績を示す。この稼働実績は顧客を乗せた時に、乗せた地

表2 時間帯別タクシー稼働台数

時間帯	0	1	2	3	4	5	6	7
台数	21	16	11	7	5	5	5	16
時間帯	8	9	10	11	12	13	14	15
台数	21	21	21	21	26	26	26	26
時間帯	16	17	18	19	20	21	22	23
台数	26	26	26	21	21	21	21	21

点で計上される。「地域」は、距離の近い乗り込み地点を集約したものである。「配車」とは、顧

客から呼び出しがあり、呼び出し地点に向かい顧客を乗せる事である。「乗込」は、待機場所、または走行中に顧客と遭遇し、その地点で顧客を乗せる事である。「合計」は、配車と乗込の合計にて、地域別の年間稼働実績である。

西条タクシーの稼働実績には50の地域がある。問題の規模を小さくするために、年間稼働実績の0.5%を超える26箇所の地域だけを扱う事とした。

月別稼働実績の分析結果より、以下が判明した。

(1)12 月は忘年会があり、稼働実績が多い。

(2)3 月は近隣の大学の卒業式と送別会があり、

特定の地域の稼働実績が多い。

従って、3 月と 12 月は通年の他の月とは異なるタクシー配置とした方が良い。また時間帯別稼働実績の分析結果より、以下が判明した。

(1)多くの地域が 8 時～20 時の時間帯の利用が多い。この時間帯は、スーパーマーケットが開店し、多くの人が外出する時間帯である。

(2)A2 は 21 時～3 時の時間帯の利用が多い。この地域に飲食店が多いためであると考えられる。

(3)A6、A16 は 10 時～17 時の時間帯の利用が少ない。A7、A17 は 11 時～16 時の時間帯の利用が少ない。これらの地域は朝、夕方、夜の利用が多く、タクシーを通勤時、帰宅時に利用している。

上記のように、場所によってタクシー利用の多い時間帯が異なる。そのため、1 時間ごとの最適配置を求める必要があると判断した。

表3 稼働実績

地域	A1	A2	A3	A4	A5
配車	2085	11476	4633	498	1754
乗込	47076	3935	10897	88	3561
合計	49161	15411	15530	586	5315
地域	A6	A7	A8	A9	A10
配車	1316	2295	3013	4200	1593
乗込	460	101	8639	1290	1006
合計	1776	2396	11652	5490	2599
地域	A11	A12	A13	A14	A15
配車	3287	15058	1557	1080	2643
乗込	224	1104	74	191	121
合計	3511	16162	1631	1271	2764
地域	A16	A17	A18	A19	A20
配車	175	1058	5610	14205	3587
乗込	34	64	216	961	167
合計	209	1122	5826	15166	3754
地域	A21	A22	A23	A24	A25
配車	2705	1561	3971	2114	969
乗込	166	62	108	61	57
合計	2871	1623	4079	2175	1026
地域	A26	A27	A28	A29	A30
配車	4911	2016	183	5412	1111
乗込	1107	112	79	180	54
合計	6018	2128	262	5592	1165
地域	A31	A32	A33	A34	A35
配車	313	832	111	15	20
乗込	135	41	10	30	14
合計	448	873	121	45	34
地域	A36	A37	A38	A39	A40
配車	1	505	41	3	16
乗込	2	392	1	7	12
合計	3	897	42	10	28
地域	A41	A42	A43	A44	A45
配車	48	308	253	233	12
乗込	19	145	15	11	5
合計	67	453	268	244	17
地域	A46	A47	A48	A49	A50
配車	1	6	115	24	103
乗込	0	36	137	5	8
合計	1	42	252	29	111
地域	合計				
配車	109036				
乗込	83220				
合計	192256				

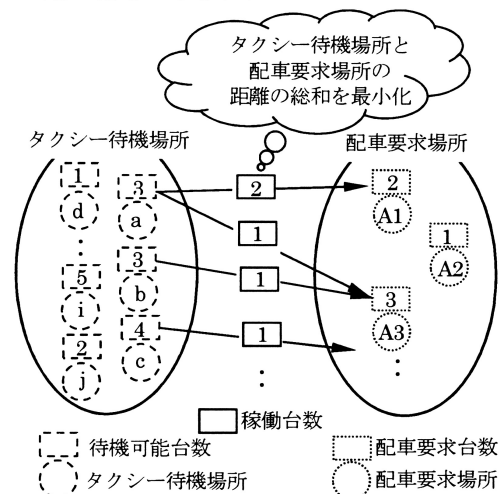
3. 定式化

3.1 定式化の考え方

2の現状分析結果より、タクシーの稼働率を向上し売上を増加するためには、タクシー必要者の多い地点の近くにタクシーを多く配置する事が求められる。従って、配車要求地点への走行距離が最小となるようなタクシー待機場所別の待機台数の求解方法について研究した。その際、個々

の配車要求地点を変数とすると問題の規模が大きくなる。そこで、前述の距離の近い地点を集約した地域を用いることにした。以下では、この集約した地域を配車要求場所と記述する。全ての配車要求場所の需要とタクシー待機場所別の最大待機可能台数制約を満足し、タクシーの総走行距離を減らすには、どの待機場所から、どの配車要求場所に何台のタクシーを走行させたら良いか考える。そして、個々の待機場所にそれぞれ何台のタクシーを配置するべきかを求める(図1)。

本問題は、以下のように輸送型の線形計画問題として定式化される(図2)。



Optimum Allocation Method of Taxi Vehicles Using Transportation Problem Method

c_{ij} : $i \rightarrow j$ への走行距離

X_t : 時間帯 t におけるタクシー稼働台数

T_i : 待機場所 i の待機可能台数

D_{jt} : 時間帯 t における配車要求場所 j の需要量

同じ地域内へのタクシー配車でも、顧客の指定する地点が違ふことがある。これを全て異なる変数として定式化すると、地域内に無数の配車要求地点が存在し、問題の規模が非常に大きくなる。そこで、西条タクシーと相談し、各配車場所で顧客に主に指定される場所を代表地点とおき、『タクシー待機場所から代表地点までの道路に沿った距離を、タクシー待機場所から配車要求場所までの走行距離 c_{ij} とする(図 3)』とした。

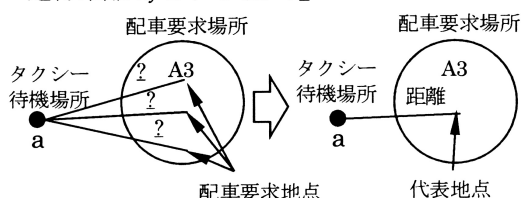


図 3 タクシー待機場所と配車要求場所の距離

3.3 定式化

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q c_{ij} x_{ijt} \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^q x_{ijt} \leq T_i, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^p x_{ijt} \geq D_{jt}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q x_{ijt} = X_t, \quad (4)$$

$$x_{ijt} \geq 0. \quad (5)$$

(1)式の目的関数は、各時間帯におけるタクシー待機場所から配車要求場所への走行距離の合計の最小化である。(2)式～(5)式が制約条件である。(2)式は、待機場所 i で待機するタクシー台数の合計が、待機可能台数以下である事を示す。(3)式は、配車要求場所 j に向かうタクシー台数の合計が、その場所の需要量を満たす事を示す。(4)式は、走行タクシー台数の合計が、当該時間帯の

タクシー稼働台数と等しい事を示す。(5)式は走行タクシー台数が正の数である事を示す。

3.4 解法アルゴリズム

本問題は、3.3 に示す輸送型の線形計画問題として定式化できる。

この問題は、線形計画問題の解法アルゴリズムを用いて、求解する。

その後、本問題の最終的な解であ

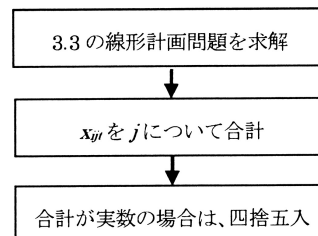


図 4 解法アルゴリズム

るタクシー待機場所の待機台数は、 x_{ijt} を j について合計し求解する。待機台数は整数であるため、合計が実数の場合は、四捨五入する(図 4)。

4. ケーススタディ

2.2 に示すように、西条タクシーの稼働台数は、1 時間ごとに変化する。従って、1 時間ごとの最適配置を求める必要がある。また、2.1 に示すように、それぞれの待機場所に待機台数の上限がある。そこで、最初に 3.3 で定式化した輸送型の線形計画問題を 1 時間ごとに求解することで、現状の制約条件下での最適配置を求める。次に、待機台数制約が西条タクシーのタクシー運行に与える影響を分析するために、3.3 の線形計画問題の(2)式の待機台数制約を省いた理想的な最適配置も求める。そして、上記の結果と現状の配置とを比較する。このケーススタディを西条タクシーの 2011 年 1 月から 2011 年 12 月の実績データと、最適化パッケージソフト NUOPT を用いてケーススタディを実施した。なお、西条タクシーには、10 の待機場所と 26 の配車要求場所 (50 の場所から 26 を選定) があるため、3.2 の p を 10、 q を 26 とした。日が異なっても同じ時間帯の稼働台数は同じであるので、 r は 23 とした。

4.1 待機台数制約がある場合の求解手順

以下にて、3.3 で定式化した線形計画問題を求

解する。

- (1) T_i および X_i は、表 1 および表 2 を用いる。
- (2) D_{jt} は、配車要求場所別実績データの曜日別時間帯別の年間平均を用いる。 D_{jt} の合計が、 X_i を超える場合は、(4)式の制約条件を満足する為に、 D_{jt} の合計が X_i となるように比例配分した値を用いる(図 5)。
- (3) 求解結果 x_{ijt} を j について合計した結果を、時間帯 t におけるタクシー待機場所別の配置台数とする(図 6)。タクシー台数は整数であるため、合計が実数の場合は、四捨五入にて整数化する。

月曜日(6時) $X_i = 5$					
配車要求場所	A1	A2	...	A26	合計
D_{jt}	1.77	0.48		0.44	7.71
合計 $>X_i$ にて、比例配分					
D_{jt} (入力データ)	1.15	0.31		0.03	5.0
月曜日(13時) $X_i = 26$					
配車要求場所	A1	A2	...	A26	合計
D_{jt}	4.58	0.52		0.19	22.56
合計 $<X_i$ にて、上記と同じ値					
D_{jt} (入力データ)	4.58	0.52		0.19	22.56

図 5 配車要求場所の需要量 D_{jt} の決定方法

	A1	A2	...	A26	合計	整数化 →	結果
a	3				3		3
b	1.58	0.52			3		3
i					3.99		4
j					2		2
合計	4.58	0.52			26		26

図 6 4.1 および 4.2 で提案した手法による求解結果

4.2 待機台数制約がない場合の求解手順

以下にて、3.3 の(2)式の待機台数制約を除いて定式化した線形計画問題を求解する。

- (1) $T_i = \infty$ 。 X_i は表 2 を用いる。
- (2) D_{jt} は、4.1 の(2)と同じ手順にて決定。
- (3) タクシー待機場所別配置台数は、4.1 の(3)と同じ手順にて決定。

4.3 結果

西条タクシーの 2011 年 1 月から 2011 年 12 月の実績データを用いて、月曜日から日曜日までの 1 時間ごとの配車要求場所別の平均タクシー需要量(D_{jt})を算定した。この結果を用いて、(1)式の目的関数を最小化するタクシー待機場所 i から配車要求場所 j へのタクシー走行台数 x_{ijt} を月曜日から日曜日まで時間帯別に求解した。さらに、配車要求場所 j について合計することで、タクシー待機場所 i における配置台数を計算した。

現状配置。方法 4.1。方法 4.2 による(1)式の目的関数値を曜日別に 24 時間分合計した結果を表 3 に示す。表 3 より目標関数値の曜日別合計は、方法 4.1 は現状に比べ 30%程度小さい事がわかる。従って、3.3 にて定式化した輸送型の線形計画問題の解法が、タクシー待機場所からタクシー必要者への総走行距離を最小にする最適配置の求解に有効であることが判明した。さらに、方法 4.2 の目的関数値が、現状の待機台数制約の下で最適解に近い方法 4.1 と比べ、40%程度小さいことから、待機台数制約が経営に悪影響を及ぼしていると考えられる。

表 3 目的関数値(タクシー走行距離合計 Km)

曜日	現状配置	方法 4.1	方法 4.2
月曜日	508708.7	356566.2	221335.5
火曜日	552720.0	393742.9	233431.1
水曜日	541784.5	379797.2	241021.0
木曜日	568968.4	396903.4	243554.3
金曜日	628906.8	435538.6	257948.2
土曜日	547288.1	377902.3	208649.6
日曜日	279264.0	187417.3	134541.7

さらに、月曜日のそれぞれのタクシー待機場所別配置台数を図 7、図 8、図 9 に示す。図 7 と図 8 より待機場所 d、e、f、i の待機台数を増加し、g、h のそれを減少する事が、走行距離の削減に有効である事が分かる。この理由は、d の近くに病院、e、f の近くにスーパーマーケットがあることから昼間のタクシー需要が多く、i の近くに大学があるが、この大学から新幹線の駅への交通手段が無い事から、この近辺のタクシー需要が多い

Optimum Allocation Method of Taxi Vehicles Using Transportation Problem Method

ためである。図7と図9より、待機場所 a, c, f の待機台数を待機場所制約以上に増加し, b, h のそれを減少する事が、走行距離の削減に有効である事が分かる。この理由は、a の近くに在来線の駅、c の近くに飲食街がある事から、この近辺のタクシー需要が多いためである。

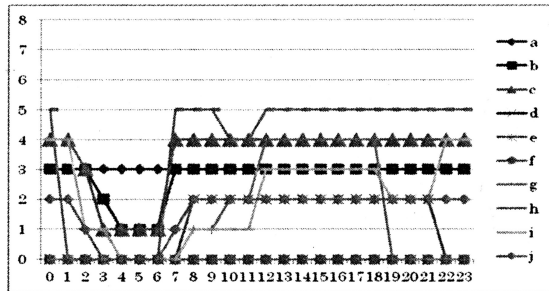


図7 現状の待機場所別待機台数(月曜日)

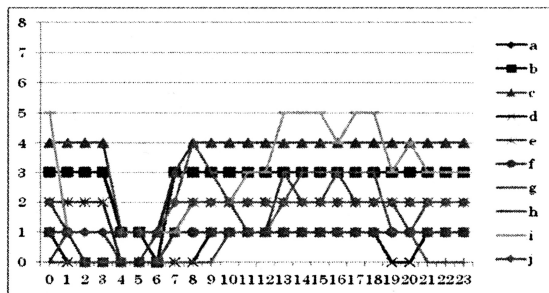


図8 方法4.1の待機場所別配置台数(月曜日)

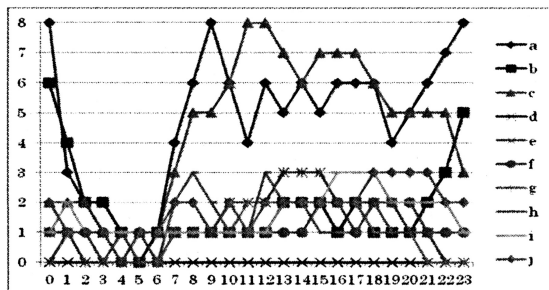


図9 方法4.2の待機場所別配置台数(月曜日)

4 おわりに

タクシー会社が、街頭でのタクシー必要者との遭遇回数を増加し、顧客獲得数を増加させるために、タクシー待機場所からタクシー必要者への総走行距離の最小化を狙いとした、タクシーの最適配置の決定という新たなモデルを提案した。本問題を輸送型の線形計画問題として定式化し、その

解法アルゴリズムを適用した、タクシー会社の協力を得て、実データを用いたケーススタディの結果、本手法が有効である事が判明した。待機場所別のタクシー台数と配車要求場所別の配車実績データを有するタクシー会社であれば、本定式化と同様の定式化とケーススタディが可能である。従って、本手法は、広くタクシーの配置台数最適化に適用できると考える。

参考文献

- [1] 国土交通省：国土交通白書，2008
- [2] 杉山雅洋，山内弘隆，山本雄二郎：規制緩和時代のバス&タクシー，地域科学研究会，2002
- [3] 谷崎隆士，片岡隆之：配車依頼情報に基づくタクシー会社のサービス生産性向上，日本経営システム学会誌，Vol.30, No.2, PP.141 -147, 2013
- [4] 岡部篤行，鈴木敦夫：最適配置の数理，朝倉書店，1992