

2024 年度 卒業研究論文

車両数を変えず高い稼働率が得られるカーシェア
アスポットの配置配分問題

指導教員

五島洋行 教授

法政大学

理工学部経営システム工学科

21X4024 小柳勇輝

21X4114 永橋昇大

学科名	経営システム工学科	学籍番号	21X4024 21X4114
申請者名	小柳勇輝 永橋昇大		
指導教員	五島洋行		

目次

第1章 序章	4
1.1.背景と目的	4
1.2.論文構成.....	5
第2章 関連知識	6
2.1. 組み合わせ最適化問題.....	6
2.1.1. 整数計画問題.....	6
2.1.2. 配置配分問題.....	6
2.2. 施設配置問題.....	6
2.2.1. Location Set Covering Problem	7
2.2.2. 最大被覆問題.....	8
2.2.3. p-メディアン問題.....	9
第3章 先行・類似研究.....	11
第4章 使用データと前提条件.....	12
4.1. 戸塚区の各町丁の境界データ	12
4.2. 需要点・供給点	12
4.3. 施設容量.....	16

4.4. 実験環境.....	16
第5章 基本モデル.....	17
5.1. 定数・変数の定義.....	17
5.2. 定式化.....	18
5.3. 実験結果.....	18
第6章 新設を考慮した場合のモデル.....	21
6.1. 供給点について.....	21
6.2. 定数・変数の定義.....	22
6.3. 定式化.....	23
6.4. 実行結果.....	24
6.5. 新しく制約を付けた実験結果.....	27
7. 考察・まとめ.....	30
7.1. 考察.....	30
7.2. まとめ.....	31

第1章 序論

1.1. 背景と目的

本研究は、容量を考慮した最大被覆問題を用いて神奈川県横浜市戸塚区におけるカーシェアスポットの配置配分問題に取り組むものである。

カーシェアリングとはサービスを利用する会員同士で会社側が提供する車を共有して使用するサービスである。

近年、世帯当たりの車の普及台数が図1のように年々減少している[1]。

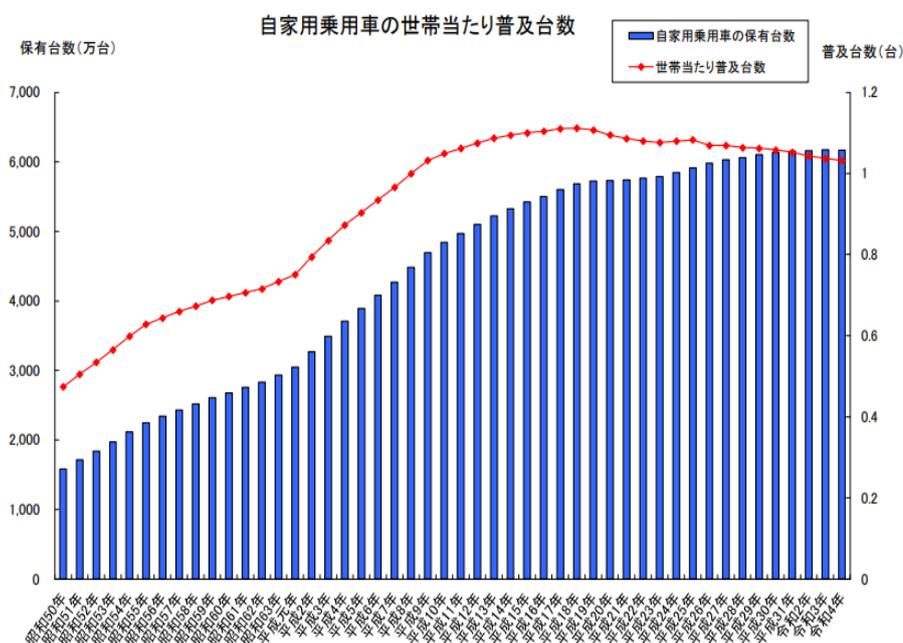


図1 普及台数の推移

円安や新型コロナウイルスの流行で原材料である鉄鋼の価格の高騰，衝突安全性能が高くなり地球温暖化の影響で排気ガス規制が厳しくなったことによって開発コストが高くなったことなどの要因で車両価格が高くなり車を購入する人が減少したこと，交通網の発達した都市部への人口が集中したことにより車の需要が減少したことが普及台数低下の理由として考えられる。

つぎに少子高齢化の影響で働き手が不足していて人が行う仕事を減らす傾向にある。カーシェアリングの利用手順はPCやスマートフォンから予約し会員カードやアプリを使ってドアを開ける流れになっており企業側は完全無人でサービスの提供が可能で人件費削減を可能にしており導入企業側にもメリットの大きいサービスとなっている。

車の普及台数低下や働き手不足などの理由により年々カーシェアリング市場規模を拡大しており 2030 年には 1500 億円を超えると予測されている [2]。今後企業側は車両数や貸し出し拠点を増やし市場をさらに拡大しようと考えている [3]。またカーシェアリングはステーションに小型者やハイブリッド車、電気自動車といったエコカーなど燃費が良い車を採用しているところが多い。加えてカーシェアリングに加入することで目的に合わせて必要な時にだけ車に乗るようになり車への依存が少なくなる。公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団が行ったカーシェアリングによる環境負荷低減効果の調査 [4] ではカーシェアリング加入前と比べ加入後では燃料消費量が 44.9%削減しておりカーシェアリングの普及は車が与える地球環境への負荷の軽減にもつながる。そのためカーシェアリングの普及は人手不足問題や地球温暖化といった社会問題の解決の一助となり有意義だと考える。

そこで本研究では特定のコストでカバーできる領域を最大化するような施設配置点を求める問題である容量を考慮した最大被覆問題 (Capacitated Maximal Covering location Problem, CMCLP) [5] を応用して高い稼働率が得られるカーシェアスポットの最適配置及び各ステーションに設置する車の最適台数について考える。本来であれば現在設置されている台数よりも車両数を増やし設置コスト等も考慮して実験を行うべきだが具体的な数値データを入手することができなかつたため今回は車両数を現在設置されている台数で固定し実験を行う。

1.2. 論文構成

本論文は全 7 章で構成される。

第 1 章では、背景や目的について述べる。

第 2 章では、本研究で用いる関連知識について述べる。

第 3 章では、先行研究を述べる。

第 4 章では、使用データ、及び前提条件データについて述べる。

第 5 章では、基本的な容量を考慮した最大被覆問題として定式化し、実験を行う。

第 6 章では、新設を考慮したうえで定式化し、実験を行う。

第 7 章では、考察と本論文のまとめを述べる。

第2章 関連知識

本章では、本研究に用いる用語や理論、関連知識、本研究で使用するソフトウェアについて説明する。

2.1. 組み合わせ最適化問題

組み合わせ最適化問題とは最適化問題の一種であり、様々な制約条件のもとで選択肢の中から得られる最良値の組み合わせを求める問題である。問題の規模、変数や制約条件の数が大きい場合は、実用可能な計算時間で求解することが困難になる場合があり、問題によっては計算時間を短縮するために近似解を求める場合もある。

巡回セールスマン問題やナップサック問題、整数計画問題、配置配分問題などが組み合わせ最適化問題の一例として挙げられる。

2.1.1. 整数計画問題

整数計画問題とは、変数に整数の値をとらせる制約がある最適化問題のことである。全ての変数がとりうる値を0または1のみに限定したものを0-1整数計画問題と呼び、整数値と実数値をとる変数が混在しているものを混合整数計画問題と呼ぶ。本研究で取り扱う施設配置問題は0-1整数計画問題の一つである。

2.1.2. 配置配分問題

配置配分問題とは資金や人員、施設といった限られた資源を制約条件に基づいて効率的に配置配分する問題である。この問題は経済学や物流、工学など様々な分野で応用されている。

2.2. 施設配置問題

施設配置問題とは、施設配置可能点、需要を持つ顧客の集合が与えられて、ある基準を満たす施設の配置場所を決定する問題の総称であり、工場立地問題と呼ばれることもある。この問題の施設の対象として、工場、倉庫、配送センター、学校、郵便ポスト、消防署や病院等の緊急施設、廃棄処理施設の立場にいたるまで、様々な施設の立地タイプのキー配置の決定や機械の配置がある。

また、施設配置問題の種類として、集合被覆問題、Location Set Covering Problem、最大被覆問題、p-メディアン問題などがあげられる。

2.2.1 Location Set Covering Problem

Location Set Covering Problem (以下 LSCP) とは施設の供給範囲内にある需要点を全てカバーするような施設配置の中で最小の施設数及び配置を求める問題である。需要点全てがカバーされる施設の配置を求めるという性質から病院や学校などの公共施設や物流施設の配置を考える際に用いられることが多い。

LSCP の定式化に必要な変数と定数の定義、定式化を以下に示す。

i: 需要点のインデックス

j: 供給候補点インデックス

I: 需要点の集合

J: 供給候補点の集合

N_i : i に供給可能な施設の集合

変数の定義は以下のとおりである。

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置する} \\ 0: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置しない} \end{cases}$$

Minimize

$$\sum_j x_j, \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I, \quad (2)$$

$$x_j = \{0, 1\}. \quad (3)$$

ここでの目的関数(1)は全ての需要点をカバーするための総施設数を最小化することを表している。制約条件(2)はすべての需要点 i が少なくとも 1 つ以上の供給候補点にカバーされなければならないことを表している。制約条件(3)は x_j が 0 か 1 の変数であることを表している。これらの決定変数は施設が設置されるかどうかを表している。設置されたときは 1, 設置されないときは 0 としている。

本研究ではカーシェアスポットに配置する車両数に制約を設けて高い稼働率が得られる施設の配置及び車両の配分を求めているので LSCP ではなく以下で説明する最大被覆問題を使用している。

2.2.2. 最大被覆問題

最大被覆問題 (Maximal Covering Location Problem; MCLP) とは, 特定のコストでカバーできる領域を最大化するような施設配置点を求める問題である. すなわち, 需要点が所望する距離内で最大需要をもたらす最適施設配置を行う問題である. 施設の例としては, ピザ宅配の店舗立地や新聞配達 of 店舗立地が挙げられる.

最大被覆問題の定式化に必要な変数と定数の定義, 定式化を以下に示す.

i : 需要点のインデックス

j : 供給点のインデックス

I : 需要点の集合

J : 供給点の集合

N_i : i に供給可能な施設の集合

p : 施設の設置数

変数の定義は以下のとおりである.

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置する} \\ 0: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置しない} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1: \text{需要点 } i \text{ はどこかしらの供給点にカバーされている} \\ 0: \text{需要点 } i \text{ はどこの供給点にもカバーされていない} \end{cases}$$

Maximize

$$\sum_{i \in I} y_i, \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p, \quad (3)$$

$$x_j, y_i = \{0, 1\}. \quad (4)$$

ここでの目的関数(1)はカバーされる需要点の数を最大化を示している. 制約条件(2)は需要点 i の周辺に施設が設置されていることを表している. 制約条件(3)は設置する施設数は p 個であることを表している. 制約条件(4)は x_j, y_i が 0 か 1 の変数であることを表している. これらの決定変数は施設が設置されるか, 需要点がカバーされるかどうかを表している. 設置されたときまたはカバーされたとき 1, 設置されないときまたはカバーされないとき 0 としている.

2.2.3. p-メデアン問題

メデアン問題とは、各顧客にとって最も近い施設への重み付き移動距離の総和を最小にするような施設配置点を配置対象の点の中から選択する問題のことを指す。また施設数が予め定められている場合、総施設数を p とし、 p -メデアン問題と呼ばれる。移動距離の総和を最小にするので施設利用者全体の利便性を向上させることができ、応用例としては物流センターや学校などの教育施設が挙げられる。

p -メデアン問題の定式化に必要な変数と定数の定義、定式化を以下に示す。

i : 需要点のインデックス

j : 供給点のインデックス

I : 需要点の集合

J : 供給点の集合

d_{ij} : 需要点 i と供給点 j の距離

w_i : 需要点 i の重み

p : 施設の設置数

変数の定義は以下のとおりである。

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置する} \\ 0: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置しない} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1: \text{需要点 } i \text{ は供給点 } j \text{ を使用する} \\ 0: \text{需要点 } i \text{ は供給点 } j \text{ を使用しない} \end{cases}$$

Minimize

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i d_{ij} y_{ij}, \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, \quad (2)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p, \quad (4)$$

$$x_j, y_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (5)$$

ここでの目的関数(1)は需要点と供給点の距離の総和を最小化することを表している。制約条件(2)は需要点 i は1つ選ばれることを表している。制約条件(3)は

需要点 i の周辺に供給点が設置されていることを表している。制約条件(4)は設置する施設数は P 個であることを表している。制約条件(5)は x_j, y_{ij} が 0 か 1 の変数であることを表している。これらの決定変数は施設が設置されるか、需要点がカバーされるかどうかを表している。設置されたときまたはカバーされたとき 1、設置されないときまたはカバーされないとき 0 としている。

本研究では配置する車両数に制約を設けておりリソースに制約のある問題は最大被覆問題が適しているためそちらを使用して研究を行う。

第3章 先行・類似研究

中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也らは再配車を行わないワンウェイ型カーシェアリングサービスにおけるカーシェアスポットの予約率と実車率の和が最大になるような最適配置を求めた[6]. 先行研究では再配車を行わないワンウェイ型で実験を行っているが駐車場の確保や利用者予測が困難であり日本ではほとんど普及しておらず借りたスポットに返すラウンドトリップ型が主流となっている. また先行研究では予約受付率と実車率の和を最大化する多目的最適化問題になっている. そのため定数でスカラー化し解を求めているが定数の値の妥当性が確保できず実験結果を現実的なものにするのが難しい.

そこで本研究ではステーション型ラウンドトリップ方式カーシェアリングサービスにおいて単目的最適化問題である容量を考慮した最大被覆問題を応用し制約条件の下で稼働率を最大化するカーシェアスポットの最適配置及び車両の最適配分を求める.

第4章 使用データと前提条件

本研究では、対象地域を神奈川県横浜市戸塚区に設定し、各町丁の境界データ、人口データを使用する。

4.1. 戸塚区の各町丁の境界データ

地域形状データ共有サイトの Geoshape リポジトリの国勢調査町丁・字等別境界データセットにある戸塚区の各町丁の境界データ[7]を用いる。実際に QGIS に境界データを取り組んだものを図2として示す。また、以後の図では見やすさを重視するため、戸塚区のみを切りとったものを載せる。

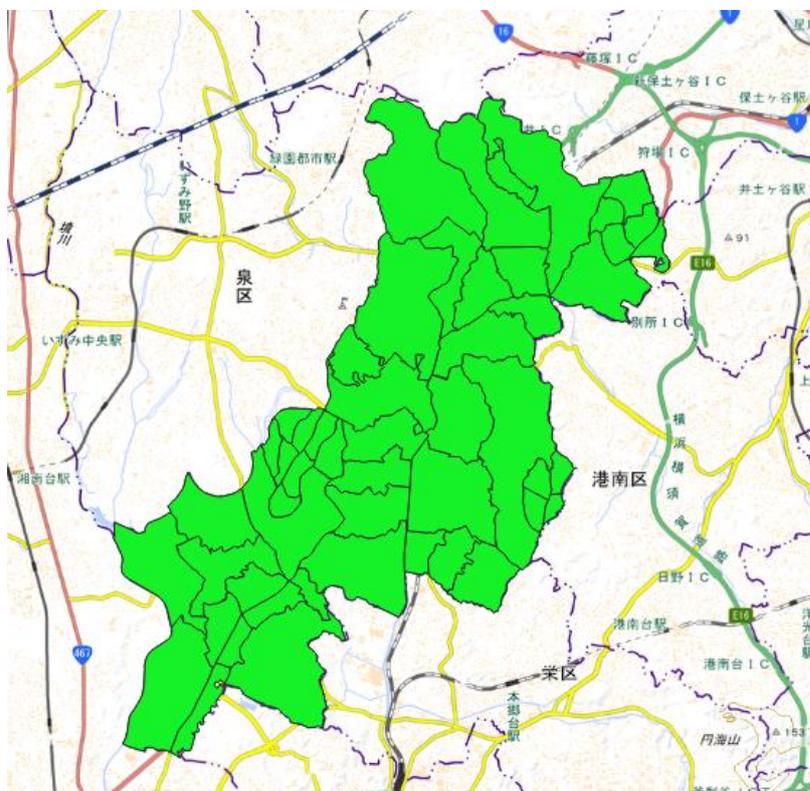


図2. 戸塚区の境界データ

4.2. 需要点・供給点

施設配置問題では、実際にサービスを受ける人を需要点、サービスを提供する施設、今回の場合では現存するカーシェアスポットを供給点とし、事前に設定する必要がある。需要点は免許を取得できる年齢から免許返納を推奨される年齢の18歳から64歳の人口数を利用し、現在のタイムズ会員数270万人[8]を全国の18歳から64歳の人口の割合を出し、各町丁の人口数に先ほど求めた割合をかける。また一台にお

る平均乗車人数である 3.7762241 人[9]で人口数を割り、カーシェアによる時間ごとの利用割合[10]で割り各町丁の人口数を求め需要点とする。また今回はカーシェアの平均利用時間である 200 分[11]をもとに、0 時から 3 時 30 分、3 時 30 分から 7 時と 7 回に分け 24 時間分の需要点を作成する。本研究では稼働率を一日単位で求めるためこのような需要点を作成する。

式に表すと以下のようなになる。

$$\frac{a \times \frac{b}{c} \times d}{e}$$

a = 戸塚区の各町丁の 18 歳から 64 歳の人口数

b = 全国の 18 歳から 64 歳の人口数

c = タイムズ会員数 270 万人

d = 時間帯での利用割合

e = 一台における平均乗車人数 3.776 人

実際にプロットした供給点を図 3 に需要点を図 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 に示す。今回の実験は徒歩 5 分圏内とする。不動産の表示に関する公正競争規約[12]により徒歩 1 分 80m とされているので、供給点のカバー範囲は 400m とし、実験を行う。需要点と供給点の数は、0 時から 4 時の需要点は 54 個、4 時から 7 時 30 は 63 個、7 時 30 から 11 時は 245 個、11 時から 14 時 30 は 330 個、14 時 30 から 18 時は 352 個、18 時から 21 時 30 は 460 個、21 時 30 から 24 時は 172 個、供給点は 57 個である。

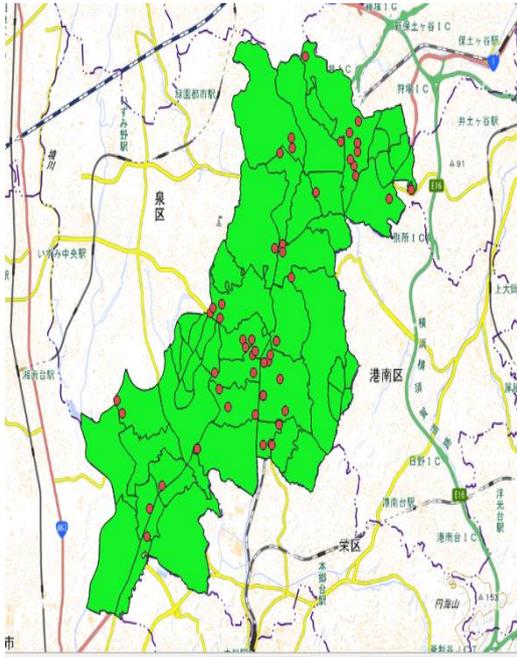


図3 供給点



図4 0時から4時の需要点

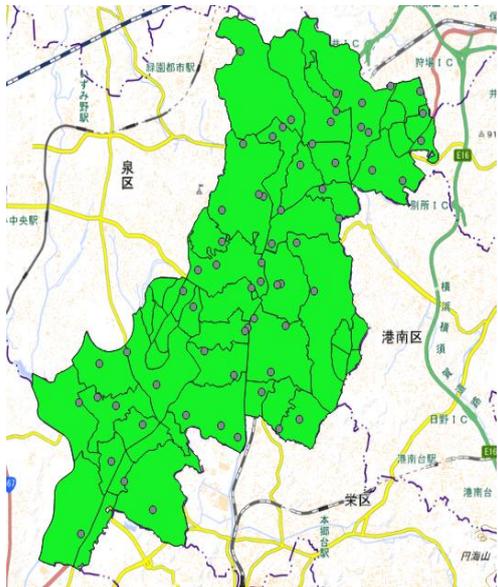


図5 4時から7時30の需要点

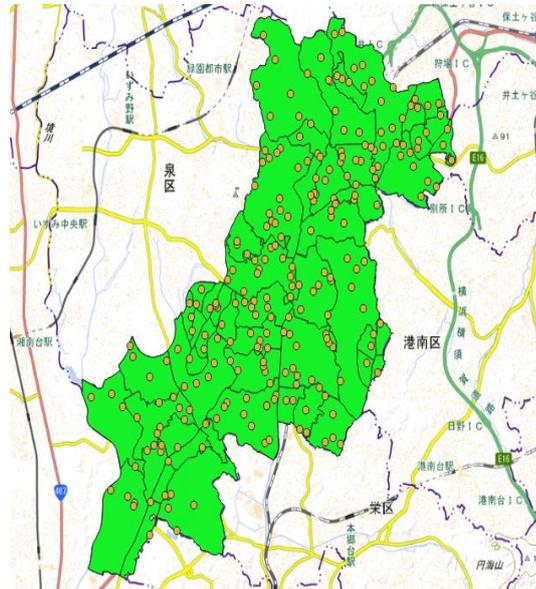


図6 7時30から11時の需要点

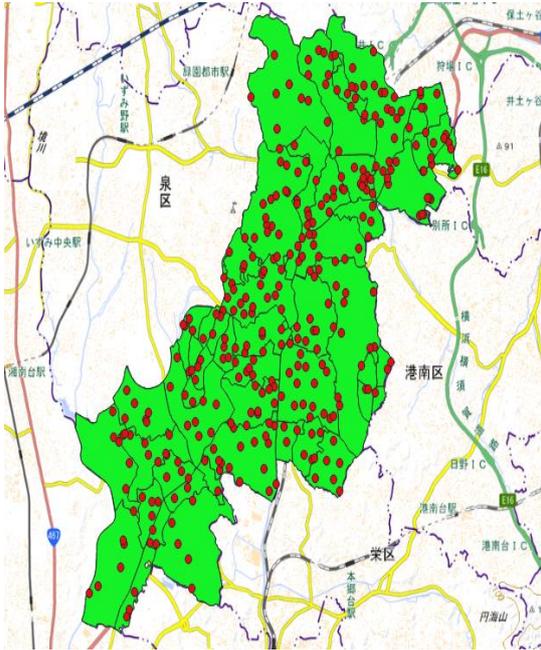


図7 11時から14時30の需要点

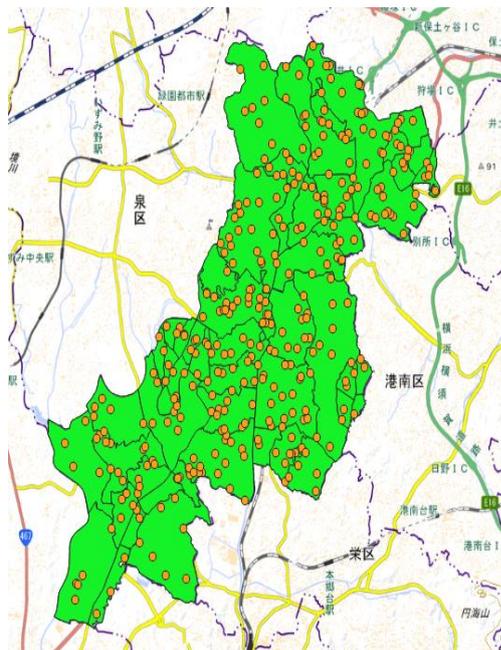


図8 14時30から18時の需要点

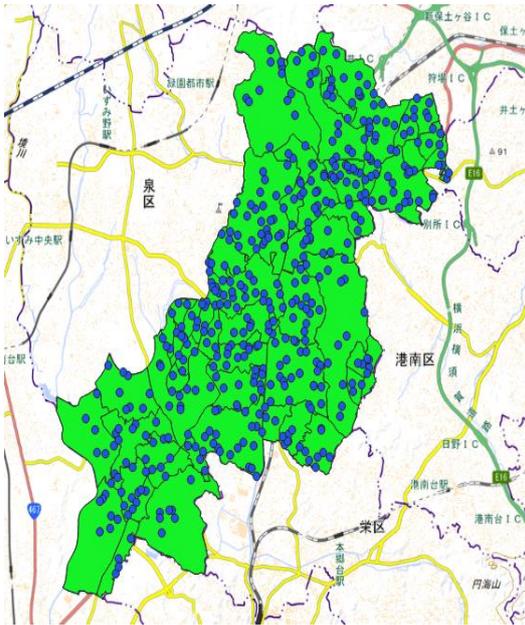


図9 18時から21時30の需要点

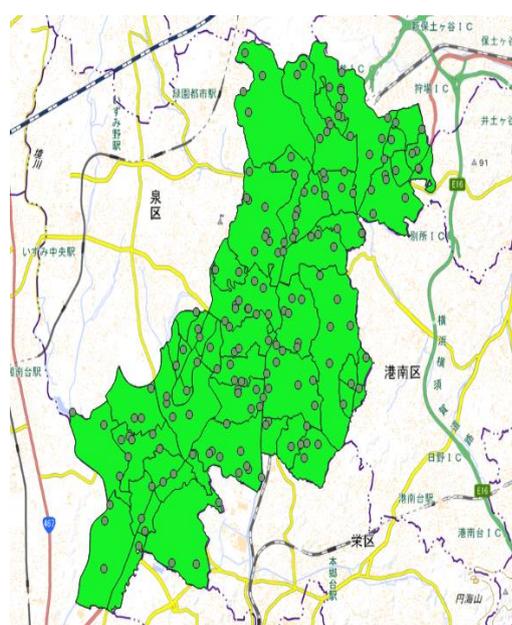


図10 21時30から24時

図3より供給点は一部地域に集中しており、設置されていない地域が多くあることが分かった。図4～9にかけて時間が進むにつれて需要点の数が多くなっていることがわかる。また、図10や図4など深夜帯の需要量が昼や夕方需要量に比べて少ないことがわかる。

4.3. 施設容量

第6章では施設容量を考慮した実験を行う。今回は神奈川県横浜市戸塚区のタイムズカーシェアの台数を容量とする。容量の数は136とする。タイムズカーシェアの台数情報はタイムズのカーシェア | タイムズカー[13]を使用。

4.4. 実験環境

本研究での計算実験の環境は表1に示す。

表1. 実験環境

OS	Windows 10 Education
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i3-1115G4 @ 3.00GHz 3.00 GHz
言語	Python
QGIS	QGIS 3.32.3

第5章 基本モデル

本章では、第4章で述べたデータと前提条件を基に、基本的な容量を考慮した最大被覆問題として定式化を行い、数値計算を行う。ここでの基本モデルとは新設を考慮した制約条件は加えずに、現存するカーシェアスポット 57 地点での現在の稼働率を求める。稼働率の求めかたは、時間ごとにカバーした需要量/供給量（車両数）で稼働率を求める。その工程を7回繰り返し、平均を取ることで1日の稼働率を求める。また今回の実験のすべてのモデルにおいて供給点のカバー範囲 400m とする。

次章以降は、本章の基本モデルを基に、目的関数と制約条件に変更を加え、数値実験を行っていく。

5.1. 定数・変数の定義

定数の定義は以下の通りである。

i : 需要点のインデックス

I : 需要点の重合

I_j : j にカバーされている需要点の集合

j : 供給点のインデックス

J : 供給点の集合

J_i : i に供給可能な供給点の集合

p : 施設の設置数

s : 供給点のカバー範囲（メートル）

C_j : 供給点 j の容量

N_i : i に供給可能な施設の集合

また、設定した定数の値は以下のとおりである。

$$p = 57$$

$$s = 400$$

変数の定義は以下のとおりである。

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置する} \\ 0: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置しない} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1: \text{需要点 } i \text{ は供給点 } j \text{ を使用する} \\ 0: \text{需要点 } i \text{ は供給点 } j \text{ を使用しない} \end{cases}$$

5.2 定式化

Maximize

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{ij}, \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq 1 \quad \forall i, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} \leq C_j \quad \forall j, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p, \quad (5)$$

$$x_j, y_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (6)$$

ここでの目的関数(1)はカバーされている需要量の最大化を示している。制約条件(2)は需要点*i*は1つ以下選ばれることを表している。制約条件(3)は需要*i*の周辺に施設が設置されていることを表している。制約条件(4)は需要点*i*は供給点*j*の容量以下になることを表している。制約条件(5)は設置する施設数は*p*個であることを表している。制約条件(6)は x_j, y_{ij} が0か1の変数であることを表している。これらの決定変数は施設が設置されるか、需要点がカバーされるかどうかを表している。設置されたときまたはカバーされたとき1、設置されないときまたはカバーされないとき0としている。

5.3 実験結果

新設を考慮せず現存する供給点のみで CMCLP で解いた結果を図 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 として示す。また求められた稼働率を表 2 で示す。表 2 から現在配置されているカーシェアの一日の稼働率は 45.69%となった。

表 2. 現在の稼働率

0時から4時	14.71%
4時から7時30	24.26%
7時30から11時	51.47%
11時から14時30	61.03%
14時30から18時	58.82%
18時から21時30	73.53%
21時30から24時	36.03%
1日の稼働率	45.69%

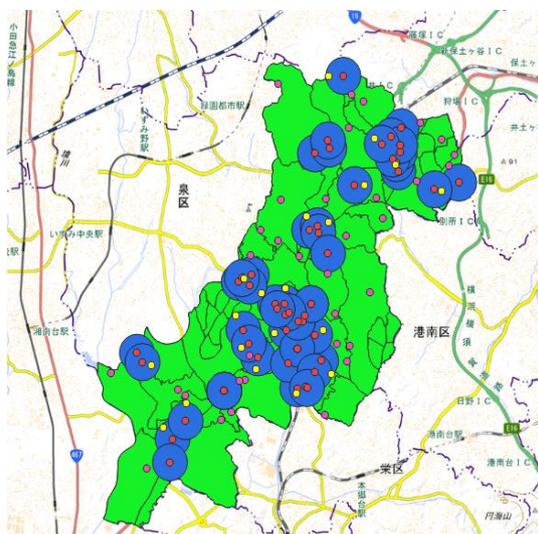


図 11 0時から4時の結果

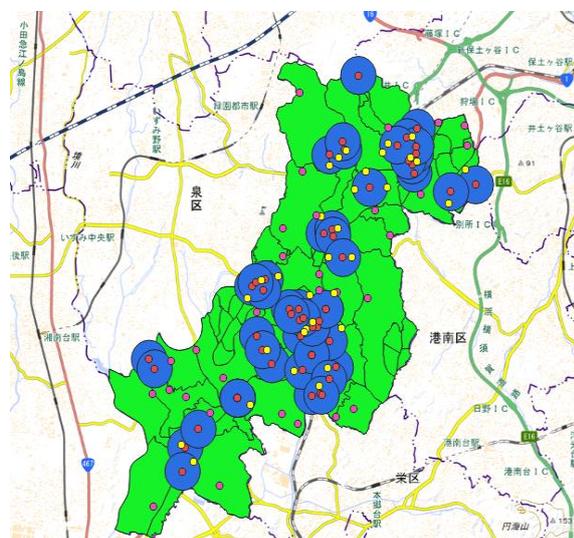


図 12 4時から7時30の結果

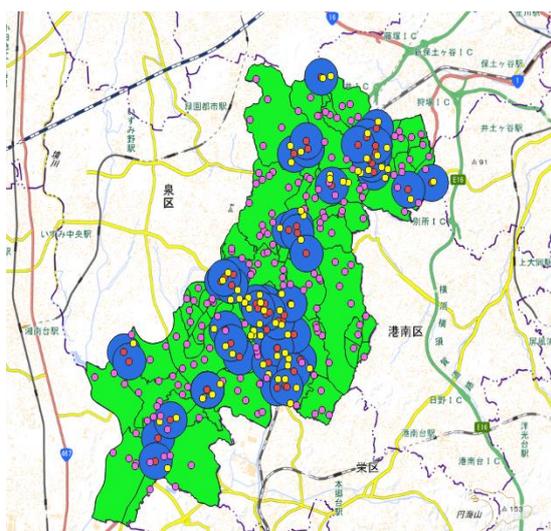


図 13 7時30から11時の結果



図 14 11時から14時30の結果



図 15 14時30から18時の結果



図 16 18時から21時30の結果



図 17 21時30から24時の結果

図 11～17 では赤い点は供給点，黄色の点はカバーされている需要点，他の色の点はカバーされていない需要点を表している。また，青い円はカバーしている範囲を示している。以下の実行結果を示した図でも同じように表す。

図 11～17 から現在カーシェアスポットは需要点の多い地域に設置されていることがわかる。また 14 時 30 から 18 時の結果は異なるが，需要点の数が多いほどカバーされている需要点の数も多くなっていることがわかる。今回は新設を考慮しなかったため，次章以降は新設を考慮した供給候補点で CMCLP を解いていく。

第6章 新設を考慮した場合のモデル

前章で述べたように本章では新設を考慮したモデルを用いた数値実験を行う。なお今回の実験は設置する車の台数を変えずに数値実験を行う。今回の実験では実行を7回に分けてやるのではなく、7回分の計算を一回で行い7回分のカバーできる需要点の合計が最大になるようにした。理由としては7回分けて実行してしまうと同じ供給点が時間ごとに選ばれたり選ばれなかったりするため、最終的にどこに車両を配置すればいいのか分からない状態になってしまう。そのため7回分の計算を一回の実行にまとめ、7回分のカバーできる需要点の合計が最大になるようにし、最適の配置場所を求める方法を採用した。また需要点は前章と同じものを使う。

6.1. 供給点について

本章のモデルでは、新設を考慮しているため新設候補点が必要となる。新設候補地点はシェアカーを配置できるとされている、戸塚区内の駐車場[14]、駐車場付きコンビニエンスストア [15][16]、ホームセンター[17]、公共施設[18]、駐車場付きスーパーマーケット [19]の施設を新設候補点とし、QGISに取り込みプロットする。今回の実験は車の台数を変えずに実験を行うため、供給点を設置できる施設数ではなく車を配置することができる場所の数を供給点として実験を行う。また、駐車場の最大容量を8台、ホームセンター、スーパーマーケット、公共施設の駐車場の最大容量を13台、コンビニエンスストアは最大容量を2台にした。理由としては現在設置されている施設で駐車場が最大8台、スーパーマーケットなどが最大13台、コンビニエンスストアは最大2台なので、この数値を設定した。QGISでのプロットの仕方は一つの施設に設置できる台数分を同じ場所にプロットすることで容量を考慮した供給点となっている。供給点の数は827個である。実際にプロットした供給点を図18として示す。

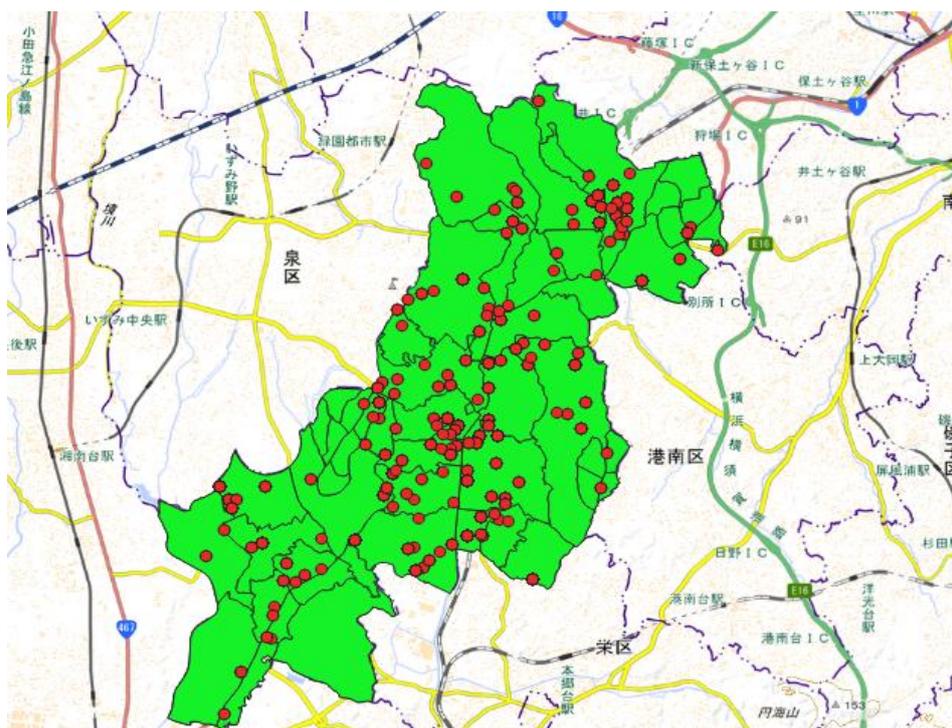


図 18 新設を考慮した供給候補点

図 3 と比べて図 18 の新設を考慮した供給候補点は、地域全体に供給点が配置されていることがわかる。

6.2. 定数・変数の定義

定数の定義は以下の通りである。

i : 需要点のインデックス

I : 需要点の重合

I_j : j にカバーされている需要点の集合

j : 供給点のインデックス

J : 供給点の集合

J_i : i に供給可能な供給点の集合

p : 置くことのできる車両の数

s : 供給点のカバー範囲 (メートル)

C_j : 供給点 j の容量

k : 7 回繰り返すための変数

N_i : i に供給可能な施設の集合

また、設定した定数の値は以下のとおりである。

$$p = 136$$

$$s = 400$$

変数の定義は以下のとおりである。

$$x_j = \begin{cases} 1: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置する} \\ 0: \text{供給点 } j \text{ に施設を設置しない} \end{cases}$$

$$y_{ikj} = \begin{cases} 1: \text{需要点 } i \text{ は供給点 } j \text{ を使用する} \\ 0: \text{需要点 } i \text{ は供給点 } j \text{ を使用しない} \end{cases}$$

6.3 定式化

Maximize

$$\sum_{k=1}^7 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{ikj}, \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} y_{ikj} \leq 1 \quad \forall i \quad (k = 1, 2, \dots, 7), \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ikj} \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i \quad (k = 1, 2, \dots, 7), \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ikj} \leq C_j \quad \forall j \quad (k = 1, 2, \dots, 7), \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p, \quad (5)$$

$$x_j, y_{ikj} \in \{0, 1\} \quad (k = 1, 2, \dots, 7). \quad (6)$$

ここでの目的関数(1)はカバーされている需要量の最大化を示している。7回分の需要点の合計が最大になることを表している。制約条件(2)は需要点*i*は1つ以下選ばれることを表している。制約条件(3)は需要*i*の周辺に施設が設置されていることを表している。制約条件(4)は需要点*i*は供給点*j*の容量以下になることを表している。制約条件(5)は設置する施設数は*p*個であることを表している。制約条件(6)は x_j, y_{ikj} が0か1の変数であることを表している。これらの決定変数は施設が設置されるか、需要点

がカバーされるかどうかを表す。設置されたときまたはカバーされたとき 1、設置されないときまたはカバーされないとき 0 としている。

6.4 実行結果

新設を考慮した場合の実験結果を OGIS にプロットしたものを図 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 として示す。また求められた稼働率を表 3 で示す。表 3 から新設を考慮した場合のカーシェアの一日の稼働率は 79.2%となった。新設を考慮した結果、現状の一日の稼働率から 33.5%上げることができた。

表 3. 新設を考慮した稼働率

0 時から 4 時	27.94%
4 時から 7 時 3 0	38.97%
7 時 3 0 から 1 1 時	97.78%
1 1 時から 1 4 時 3 0	100%
1 4 時 3 0 から 1 8 時	100%
1 8 時から 2 1 時 3 0	100%
2 1 時 3 0 から 2 4 時	89.71%
一日の稼働率	79.20%

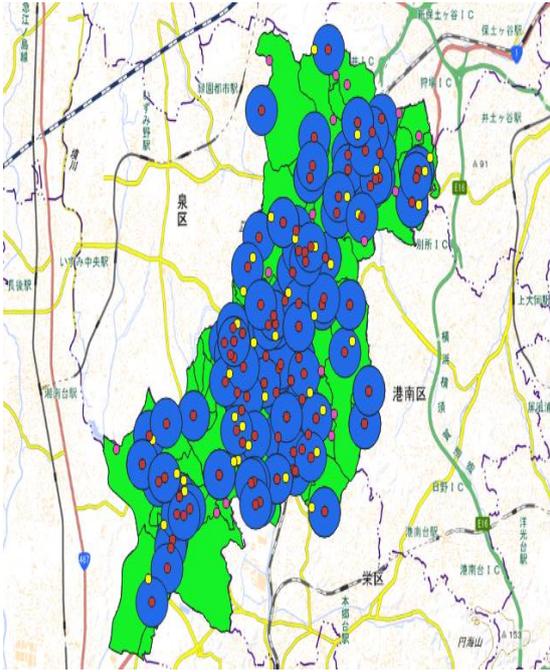


図 19 0時から4時の結果

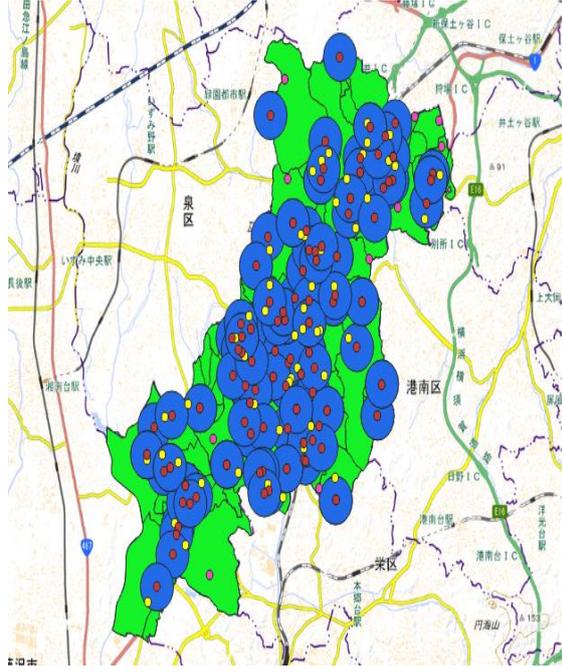


図 20 4時から7時30の結果

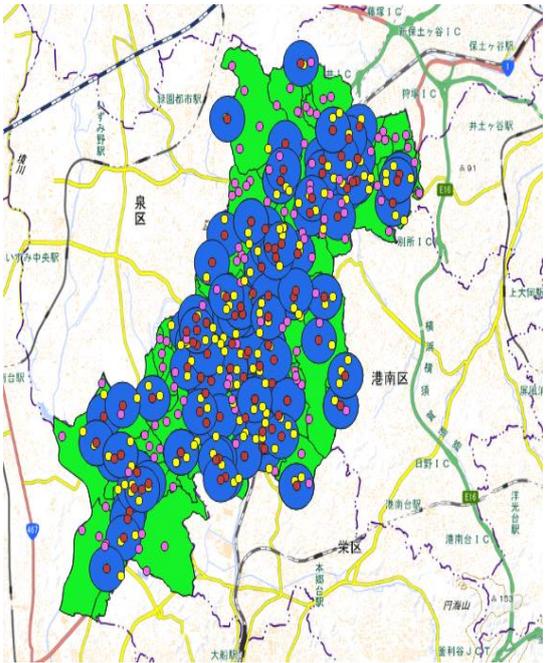


図 21 7時30から11時の結果

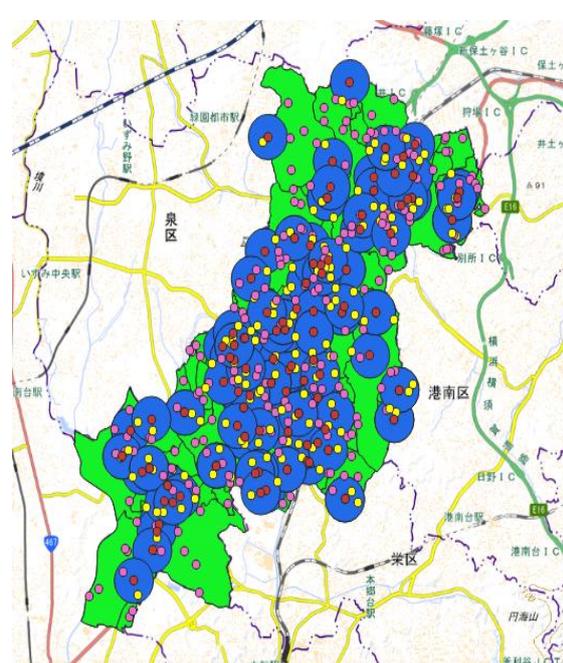


図 22 11時から14時30の結果

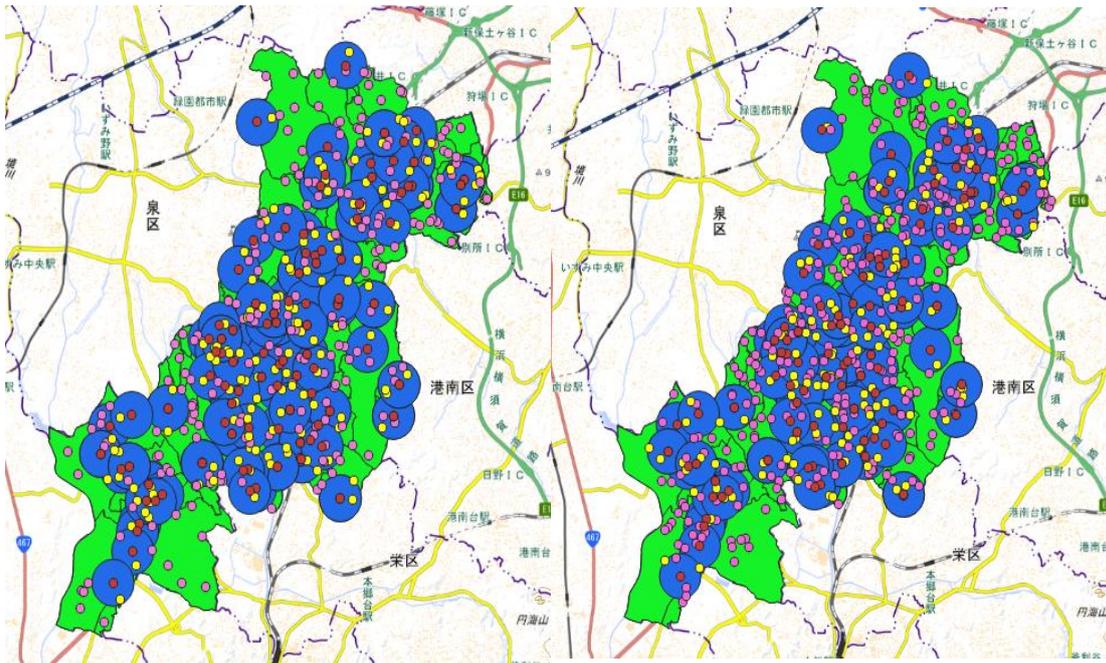


図 23 14 時 30 から 18 時の結果

図 24 18 時から 21 時 30 の結果

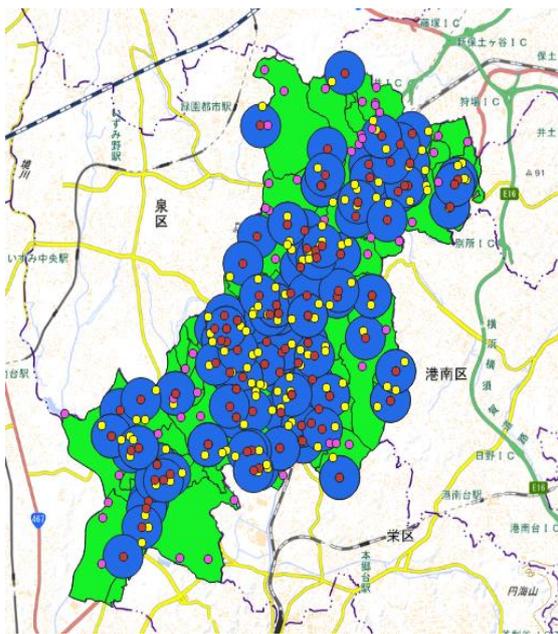


図 25 21 時 30 から 24 時の結果

図 19～25 と図 11～17 を比較すると、現在よりも供給点が地域全体に偏りなく配置され、カバーされていなかった地域の需要点がより多くカバーされたことがわかる。

今回配置された場所はコンビニエンスストアやスーパーマーケットなどが多く、現実的ではない。実際に設置されているのはコインパーキングなどの駐車場が多く、コンビニエンスストアやスーパーマーケットなど、駐車場以外の施設に置かれている台数は136台中36台しかないためである。次の数値実験ではこの問題を考慮し、現在においてあるカーシェアスポットが半分以上選ばれるかつ現在設置されていないコンビニエンスストアやスーパーマーケットなどの駐車場以外の施設は36台までしか選ばれない制約を付けた実験を行う。

6.5. 新しく制約を付けた実験結果

今回行った数値実験での供給点と需要点は6.4で行った数値実験と同じものを使用する。実験結果をOGISにプロットしたものを図26, 27, 28, 29, 30, 31, 32として示す。また求められた稼働率を表4で示す。表4から新設を考慮した場合のカーシェアの一日の稼働率は78.89%となった。

表4 新しく制約を付けた稼働率

0時から4時	27.94%
4時から7時30	38.97%
7時30から11時	98.53%
11時から14時30	100%
14時30から18時	100%
18時から21時30	100%
21時30から24時	86.76%
一日の稼働率	78.89%

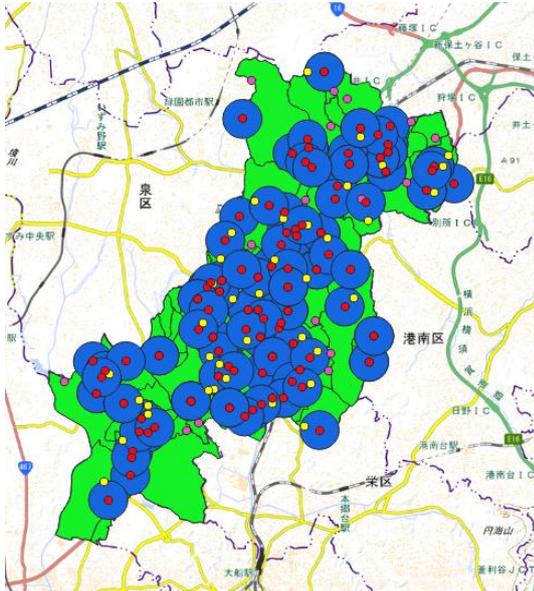


図 26 0時から4時の結果

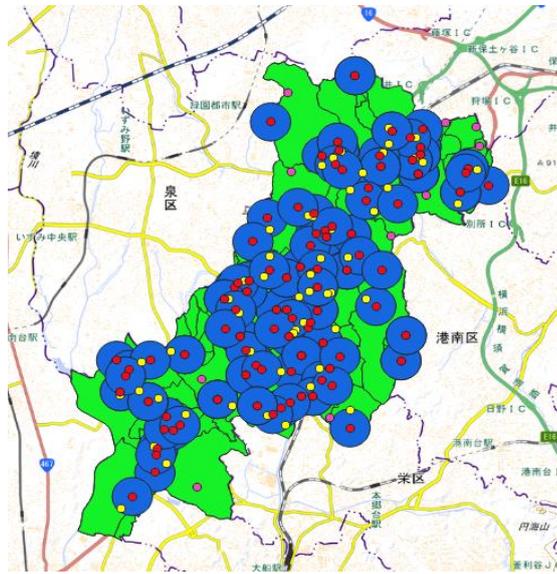


図 27 4時から7時30の結果



図 28 7時30から11時の結果

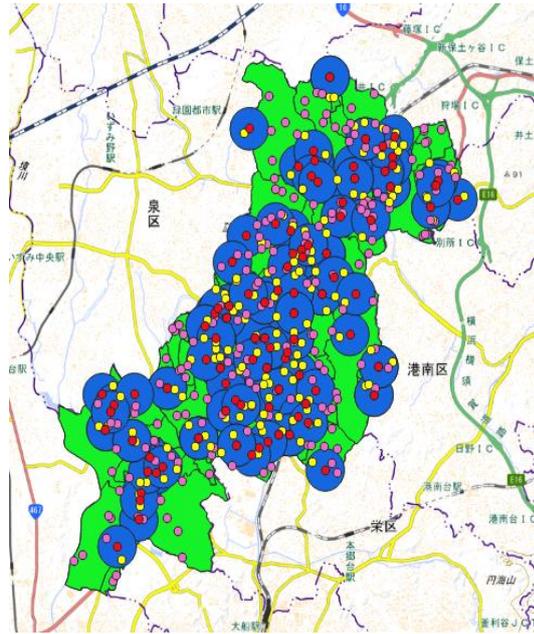


図 29 11時から14時30の結果

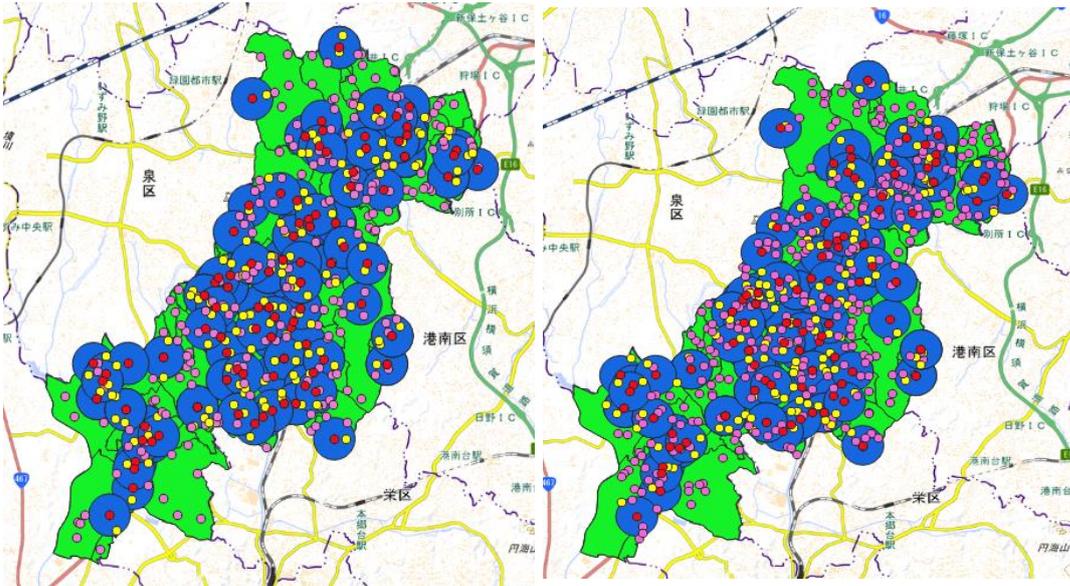


図 30 14時30 から 18時の結果

図 31 18時から 21時30 の結果

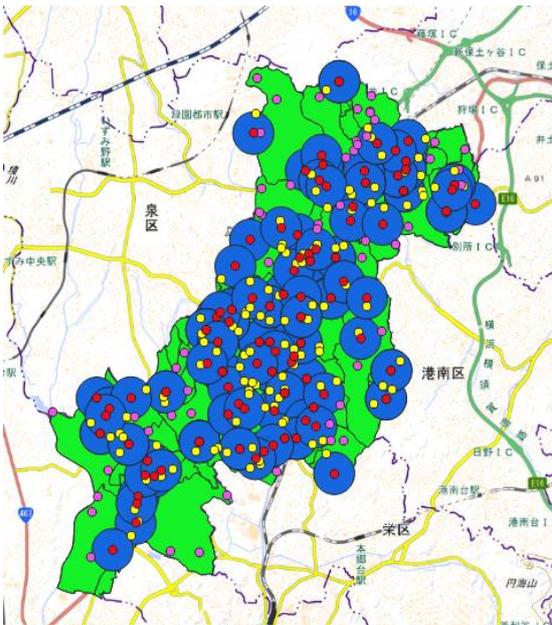


図 32 21時30 から 24時の結果

図 26～32 と図 19～25 を比較すると、制約条件がない場合よりも制約条件がある場合では配置されるステーションの場所が 19 か所変化した。加えて戸塚区に対する面積カバー率は約 1 %上昇し配置は地域全体に広がった。採用されている供給点は半分以上カーシェアポットが選ばれており、現実的かつ新しく設置するコストなども少なくできるため良い結果を得られたと考えられる。

第7章 考察・まとめ

本章では、本研究のまとめ及び実験結果から得られた今後の課題について述べる。

7.1. 考察

制約条件がない場合とある場合において種類ごとに設置された車両数を表5で示す。

表5 制約条件がない場合とある場合において種類ごとに設置された車両数

	制約条件なし	制約条件あり
現在置かれている施設に設置された車両数	34	68
現在置かれていない駐車場以外の施設に設置された車両数	55	35
現在置かれていない駐車場に設置された車両数	47	33

制約条件がない場合では現在置かれていない駐車場以外の施設が最も多く選ばれ次に現在置かれていない駐車場，最後に現在置かれている施設という結果になった。制約条件がある場合では制約条件を現在置かれている施設が68か所以上かつ現在置かれていない駐車場以外の施設が36か所以下にした。結果は現在置かれている施設が最も多く選ばれ次に現在置かれていない駐車場以外の施設，最後に現在置かれていない駐車場となった。制約条件がない場合とある場合の結果を見ると現在置かれていない駐車場以外の施設が制約条件がない場合では最も多く選ばれ制約条件がある場合でも設けた制約条件である最大36か所に対して35か所選ばれている。

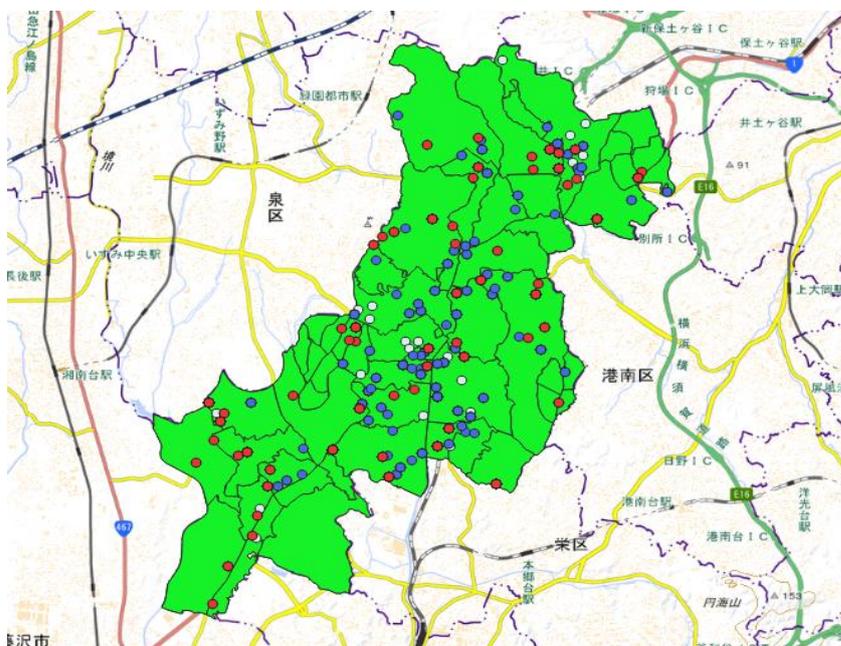


図33 施設の種類ごとの新設候補点

白色の点が現在置かれている施設，赤色の点が現在置かれていない駐車場以外の施設，青色の点が現在置かれていない駐車場である．図 33 からわかるように現在置かれていない駐車場以外の施設が戸塚区全体に均一にあるので供給点として多く選ばれたのではないかと推定される．現在カーシェアが設置されている施設はコインパーキングや月極駐車場が多くスーパーやコンビニなどといった駐車場以外の施設が少ないが駐車場以外の施設により多くカーシェアを設置することでより稼働率を上げることができるのではないかと考えられる．

7.2. まとめ

本研究では特定のコストでカバーできる領域を最大化するような施設配置点を求める問題である容量を考慮した最大被覆問題を応用して高い稼働率が得られるカーシェアスポットの最適配置及び各ステーションに配置する車の最適台数についての数値実験を行った．基本モデルでの実験結果としては，現在の 57 ステーション一日の稼働率は 45.69%であることが分かった．次の実験ではコンビニエンスストアや公共施設などの新設候補地点を考慮し，車両数を変えずに実験を行った．実験結果としては，一日の稼働率は 79.2%にすることができ現在の稼働率から約 33%上げることができた．ただ配置された施設が現実的なものではない問題があり，次の実験では現在おいてあるカーシェアスポットが半分以上選ばれるなどの制約を追加し実験を行った．実験結果としては，一日の稼働率は 78.89%となり，より現実的な最適配置を求めることができた．現存しているカーシェアスポットの稼働率でもシェアリング各社において採算ラインとされている稼働率 40%[20]を超えており，新設が可能な場合の稼働率は採算ラインの 40%から約 38%上回るすることができた．このことより，新設が可能な場合ではより多くの収益を得ることができ，人手不足問題や地球温暖化といった社会問題により貢献できることがわかり良い結果を得ることができたと考えられる．しかし，今回行った実験では，平日や休日の需要量の差や混雑エリアなどを考慮できていない．また，供給範囲などについては，実際に利用者がサービスを利用したいと思える距離や供給点までの道のりを考慮できていなかった．これらのことを考慮することでさらに良い結果が得られると考える．

参考文献

- [1] 自家用乗用車の世帯当たりの普及台数（都道府県別）
<https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv00000104ju-att/kenbetsu2022.pdf>, (参照 2024-11/15)
- [2] 株式会社矢野経済研究所
https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/3406, (参照 2024-12/14)
- [3] 基本方針・戦略 | パーク 24 株式会社
<https://www.park24.co.jp/ir/policy/strategies.html>, (参照 2024-11/15)
- [4] 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団:カーシェアリングによる環境負荷低減効果の検証報告者
https://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/data/carshare_report2013.pdf, (参照 2024-12/14)
- [5] Hasan Pirkul and David A. Schilling : The Maximal Covering Location Problem with Capacities on Total Workload, Management Science, Vol. 37, No. 2, pp. 233-248, 1991.
- [6] 中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也: ワンウェイ型シェアリングシステムの最適デポ配置とフリールート型システムの有効性, 第 52 回土木計画学研究発表会, pp. 1853-1862, 2015.
- [7] Geoshape リポジトリ - 地理形状データ共有サイト | ROIS-DS 人文学オープンデータ共同利用センター (CODH)
<https://geoshape.ex.nii.ac.jp/>, (参照 2024-11/29)
- [8] 市場環境 | パーク 24 株式会社
<https://www.park24.co.jp/ir/private/market.html>, (参照 2024-12/20)
- [9] 乗用車の定員数と乗車人数に関する研究

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssd/57/0/57_0_H08/_pdf,

(参照 2024-12/20)

- [10] 道路空間を活用したカーシェアリング社会実験 国土交通省 関東地方整備局 東京国道事務所

https://wwwhidoorjp/14gyousei_backnumber/2017data/1801/1801car_sharing_ktr._pdf, (参照 2024-12/20)

- [11] “カーシェア時代のクルマの使い方”意識調査, 移動以外の用途が明らかに

[“カーシェア時代のクルマの使い方”意識調査, 移動以外の用途が明らかに - BCN+R](#), (参照 2024-12/20)

- [12] 不動産の表示に関する公正競争規約

https://www.sfkoutori.or.jp/webkanri/kanri/wp-content/uploads/2019/01/h_kiyaku.pdf, (参照 2024-11/29)

- [13] タイムズのカーシェア | タイムズカー

<https://share.timescar.jp/view/station/list.jsp?pageNo=1>, (参照 2024-12/01)

- [14] 横浜市戸塚区（神奈川県）から探す月極駐車場 | Park Direct（パークダイレクト）

<https://www.park-direct.jp/area/kanagawa/yokohamashitotsukaku>,
(参照 2024-12/01)

- [15] 神奈川県横浜市戸塚区のローソン一覧 - NAVITIME

<https://www.navitime.co.jp/category/0201001009/14110/>, (参照 2024-12/01)

- [16] 神奈川県横浜市戸塚区のファミリーマート一覧 - NAVITIME

<https://www.navitime.co.jp/category/0201001006/14110/>, (参照 2024-12/01)

[17] 神奈川県横浜市戸塚区のホームセンター一覧 - NAVITIME

<https://www.navitime.co.jp/category/0206001/14110/>, (参照 2024-12/01)

[18] 戸塚区地区センター案内

<https://cgi.city.yokohama.lg.jp/shimin/chikucenter/area.php?c=12>,
(参照 2024-12/01)

[19] 神奈川県横浜市戸塚区のスーパー (3 ページ目) 一覧 - NAVITIME

<https://www.navitime.co.jp/category/0202/14110/?page=3>,
(参照 2024-12/01)

[20] カーシェア業界, 稼働率40%へ厳しさ | 紙面記事

<https://www.netdenjd.com/articles/-/92903#>, (参照 2025-1/7)