

2024 年度 卒業研究論文

混雑エリアと交通インフラを考慮したシェアバイクの配置計画

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

21X4109 中村錦一郎

| | | | |
|------|-----------|------|---------|
| 学科名 | 経営システム工学科 | 学籍番号 | 21X4109 |
| 申請者 | 中村錦一郎 | | |
| 指導教員 | 五島洋行 | | |

論文要旨

| | |
|------|------------------------------|
| 論文題目 | 混雑エリアと交通インフラを考慮したシェアバイクの配置計画 |
|------|------------------------------|

近年、都市化の進展とともに、環境問題や交通の効率化が重要な課題となっている。特に自動車の利用と都市部への人口の一極集中により交通渋滞が常態化し、都市の交通麻痺や大気汚染、二酸化炭素排出量の増加などの環境問題が深刻化している。このような状況の中で、シェアサイクリングは低コストかつ環境負荷の低い代替交通手段であることを理由に、混雑を解消するために有効な手段として注目されている。

シェアサイクル導入が急速に進んだ結果多くの問題が起きている。海外ではポートレス型シェアサイクルが主流であるため、無秩序な駐輪と違法投棄が増え、ライセンス制度や自転車総量の制限などを行っている。一方、日本国内では、ポート型のシェアサイクルが中心であり、先ほど紹介したような問題は発生してない。ただ、ポートの展開エリアの偏りにより利用者が満足に利用できないことが問題になっている。

そこで本研究では、住民と観光客の両方利用見込みがある横浜市西区のシェアサイクルのポートを対象に、需要点を被覆できる最小の施設数と配置位置を求める。また、被覆範囲外にポートを新設するモデルと新設候補地と既存の設置場所を考慮した需要点を被覆できる最小の施設数と配置位置を求める施設の再配置モデルを提案し、今後のシェアサイクルポートの配置計画に活用できることを目的とする。

目次

| | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 5 |
| 1.1 | 研究背景と目的 | 5 |
| 1.2 | 論文の構成 | 6 |
| 1.3 | 先行研究 | 6 |
| 第2章 | 関連知識 | 7 |
| 2.1 | GIS | 7 |
| 2.2 | 数理最適化 | 7 |
| 2.3 | 線形計画法 | 7 |
| 2.4 | 非線形計画法 | 8 |
| 2.5 | 整数計画法 | 8 |
| 2.6 | 施設配置問題 | 8 |
| 2.7 | Location Set-Covering Problem | 8 |
| 2.8 | 最大被覆施設配置問題 | 9 |
| 2.9 | シェアサイクル | 9 |
| 第3章 | 事前準備 | 10 |
| 3.1 | 使用データ | 10 |
| 3.2 | 前提条件 | 13 |
| 第4章 | 現状分析モデル | 14 |
| 4.1 | 実験概要 | 14 |
| 4.2 | 実験1と定式化 | 14 |
| 4.3 | 実験結果 | 15 |
| 4.4 | 実験2と定式化 | 15 |
| 4.5 | 実験結果 | 16 |
| 4.6 | まとめ | 17 |
| 第5章 | 再配置モデル | 18 |
| 5.1 | 事前準備 | 18 |
| 5.2 | 実験概要 | 18 |
| 5.3 | 定式化 | 19 |
| 5.4 | 実験結果 | 19 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 第6章 提供範囲外に新設することを考慮したモデル..... | 21 |
| 6.1 事前準備..... | 21 |
| 6.2 実験概要..... | 21 |
| 6.3 定式化1..... | 22 |
| 6.4 定式化2..... | 22 |
| 6.5 実験結果..... | 23 |
| 第7章 結果と考察..... | 27 |
| 7.1 まとめ..... | 27 |
| 7.2 今後の課題..... | 27 |

第1章 はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、都市化の進展とともに、環境問題や交通の効率化がますます重要な課題となっている。特に自動車の利用増加と都市部への人口の一極集中により交通渋滞が常態化し、大気汚染や二酸化炭素排出量の増加が環境問題として深刻化している。このような状況の中で、シェアサイクリングは低コストかつ環境負荷の低い代替交通手段なことを理由に、都市交通の持続可能性を高める有効な手段として注目されている。実際、海外のシェアサイクルが導入されている都市では、交通計画等において、シェアサイクルは公共交通の一部もしくはそれを補完するものと位置づけられており、日本国内では海外のような位置づけにしている都市は少ないが、普及と促進が進められている。また、近頃は自転車ではないが、電動キックボードのシェアリングサービスが急速に数を増やしており、シェアサイクルも設置場所や利用者数が増加傾向にある。

シェアサイクル自体は60年ほど前から存在し、ヨーロッパ諸国で試験導入されており、2005年頃にフランスで大規模な導入があったのをきっかけに普及し始め、2016年頃に中国がどこでも乗り捨て自由のポートレス型シェアサイクルが登場してから世界中に拡大し、日本でも導入が加速した。その後は自転車の放置や無秩序な駐輪などによって社会問題化し、各国でポートレス型に対する規制が厳しくなったこととコロナ禍の影響により数を減らしたが、近年ポート型シェアサイクルの普及と観光産業の回復により利用者も増加している。特に北米・欧州・中国を中心に日本を含め約2300都市に導入されている[1]。

シェアサイクル導入が急速に進んだ結果様々な問題が起きている。海外ではポートレス型シェアサイクルが主流であるため、無秩序な駐輪と違法投棄が増え、ライセンス制度や自転車総量の制限などを行っている。一方、日本国内では、ポート型のシェアサイクルが中心であり、先ほど紹介したような問題は発生してない。ただ、ポートの駐輪可能容量を超えた駐輪による自転車の溢れや空のポートによって利用者が利用できないことが問題になっており、ポートの展開エリアの偏りにより適切な配置が行えてないことが問題になっている。

そこで本研究では、住民と観光客の両方利用見込みがある横浜市西区のシェアサイクルのポートを対象に、需要点を被覆できる最小の施設数と配置位置を求める。また、被覆範囲外にポートを新設するモデルと新設候補地と既存の設置場所を考慮した需要点を被覆できる最小の施設数と配置位置を求める施設の再配置モデルを提案し、今後のシェアサイクルポートの配置計画に活用できることを目的とする。

1.2 論文の構成

本論文は全6章で構成されている。

第2章では、関連知識について述べる。

第3章では、事前準備や前提条件について述べる。

第4章では、現状に対してLSCPとMCLPを用いて、実験を行う。

第5章では、再配置することを考慮し、実験を行う。

第6章では、提供範囲外に新設することを考慮し、実験を行う。

第7章では、本論文で得られた結果をもとに結論と今後の課題を述べる。

1.3 先行研究

先行研究には、既存施設を活用し、増設・廃止の両方に対応可能なモデルがある[2]。ここでは2つの再配置モデルが考えられている。

1つ目はp-メディアンモデルを用いた再配置モデルである。このモデルではあらかじめ施設の廃止数と新設数を決め、供給点から需要点までの総距離の最小化を行うことによって、小学校の統廃合問題に対して有効な配置を求めることを可能にしている。

2つ目は最大カバリングモデルを用いた再配置モデルである。このモデルでもあらかじめ施設の廃止数と新設数を定めるが、その後に供給点からカバー可能な距離に可能な限り多くの需要が入るよう需要の最大化を行うことによって、1つ目と同様の小学校の統廃合問題に対し、有効な配置を求めることを可能にしている。

これに対し本研究では、対象地域における混雑エリアを踏まえたうえで、供給点ごとに異なる被覆範囲を設定し、供給点を新設しやすい交通インフラや公園などを新設候補地として、カバー率を最大化させるという考え方を用いて施設の再配置計画と半年ごとの増設計画に対応できるモデルを考える。

第2章 関連知識

本章では、本研究で用いる用語や理論、関連知識について述べる。

2.1 GIS

GISとは、地理空間データを収集、管理、分析、視覚化を可能にする技術である地理情報システム（GIS：Geographic Information System）の略称であり、幅広い分野で活用されている。例えば、都市計画では土地利用や交通網の設計などの都市機能の最適化や、災害管理として洪水リスクマップなどのハザードマップを可視化することによって効果的な災害対策の策定を可能にする。これらの他にも環境保全や農業分野などにも活用されている。

また、GISを活用するためのソフトウェアとしてQGISがあり、地理データの収集、統合、空間データの可視化、空間解析などの機能が利用可能である。本研究でもQGISを使用して可視化を行う。GISソフトウェアには他にもopen-hinata3などがあり、ソフトウェアごとに秀でた機能があるので、用途に合ったものを使用することが望ましい。本研究でもQGISを使用して実験を行う。

2.2 数理最適化

数理最適化とは、与えられた制約条件の下で目標とする目的関数を最大化もしくは最小化するために、変数を調整して最適解を求める数学的手法である。この手法により、効率的な意思決定や問題解決を可能にし、工学、物流、経済学、金融、機械学習など様々な分野で活用されている。基本的に目的関数、制約条件で構成されており、問題の特性に応じた解法が開発されている。

応用例としては、物流では配送経路の最適化や在庫管理に活用され、コスト削減や効率的なオペレーションを可能にしている。金融でも投資ポートフォリオの最適化やリスク管理を通じて、リターンの最大化とリスクの最小化を行っている。また、近年の技術革新により機械学習との融合が注目され、高次元データやリアルタイムデータなどにも活用されている。また、後述する施設配置問題も本研究で扱う数理最適化の一種である。

2.3 線形計画法

線形計画法とは、線形の目的関数を線形の制約条件の下で最大化もしくは最小化するための数理最適化手法である。モデルがシンプルで、計算効率が高く、いろんなオープンツールで利用可能である。ただし、問題が線形でない場合は適用できないので、非線形の制約などが含まれる場合は別の手法が必要である。また、本研究で使用する location Set Covering Problem（以下、LSCP）も線形計画法の一種である。

2.4 非線形計画法

非線形計画法とは、数理最適化問題の一種であり、線形計画法と異なり、非線形の目的関数と制約条件の下で最適化を行う手法である。この手法は線形計画法では対応できない複雑な問題を解決でき、線形計画法同様様々な分野で活用されている。解放としては、勾配法やニュートン法などが用いられる。活用される分野としては機械学習のニューラルネットワーク学習やエネルギー分野の最適化などで活用されている。こちらは本研究では扱わないが、施設配置問題を扱うにあたって用いることも可能なので説明を行った。

2.5 数理計画法

整数計画法とは、変数が整数値をとる制約の下で最適化を行う数理最適化手法である。整数計画法には変数がとる値によりバリエーション分けされており、すべての変数が整数値をとる場合は純整数計画法、一部の変数が整数をとり、他の変数が連続値をとる場合は混合整数計画法、変数が0または1のみをとる場合は0-1整数計画法と呼ばれる。本研究でも整数計画法の一種であるLSCPを使用する。

応用されている分野としてスケジューリング問題、巡回セールスマン問題などが挙げられ、解が離散的で実際の問題に即したモデル化を行うことが可能なので、現実の組み合わせ最適化問題に適応することができる。ただし、計算量が非常に大きく、線形計画法などと比較すると計算時間が長くなる傾向があり、大規模な問題に至っては解くことが困難なものを存在する。これをNP困難(Non deterministic Polynomial time - hard)と言う。

2.6 施設配置問題

本研究で扱う施設配置問題とは、工場、倉庫、小売店などを含む施設を最適に配置することで、利益の最大化やコストの最小化を図る数理最適化問題の一つである。具体的には、施設を対象として、需要点との距離、建設や運営コストといった要因を考慮し、物流拠点の配置や医療施設の適切な配置、災害時の避難所設置などの分野で活用されている。

この問題は施設の設置候補地、需要地とその需要量、目的関数、制約条件で構成され、需要点との距離を最小化するpメディアン問題や最大距離を抑えるpセンター問題、需要点すべてをカバーするために必要な施設数を最小化する問題のLSCPなどがある。

2.7 Location Set-Covering Problem

LSCPとは、施設配置問題の一種で、需要点すべてをカバーするために必要な施設数を最小化する問題で、医療、公共サービスなど、需要点が特定のサービスを必要とする状況で適用されることが多く、限られた資源を効率的に活用しながらサービスへのアクセス性を確保するために重要な手法である。また、資源を活用し、需要点を効率的にカバーすることが可能なので、特に緊急性や公共性の高いサービスで効果を発揮できる。

2.8 最大被覆問題

最大被覆問題 (Maximal Covering Location Problem : MCLP) とは, 限られた数の施設を配置することで, 可能な限り多くの需要点をカバーすることを目的とした施設配置問題である. この問題は, 予算や資源など何らかの制約が設けられている状況で, 効率的にサービスを提供する方法を求めするために用いられるため LSCP 同様緊急性や公共性の高いサービスに活用されることが多い.

2.9 シェアサイクル

本研究で取り上げるシェアサイクルとは, 複数の利用者が共有して利用する自転車サービスのことを指します. 近年主に都市部や観光地に普及しており, 短距離移動や環境負荷の軽減などを目的としている. 使用者は, 街中に設置されたステーションから必要な時に借り, 利用後に最寄りのポートに返却する仕組みになっている.

近年, 都市化や渋滞緩和, 環境への配慮など様々な背景により, 交通が混雑しやすい都市部で普及が進んでおり, 公共交通機関や短い距離の移動の補完手段として, 注目されている.

第3章 事前準備

本章では実験で用いる使用データやその前処理，前提条件について確認する。

3.1 使用データ

本研究における対象地域は，観光地と住宅地が混在し，観光客と地域住民に対して一定の需要が見込まれる横浜市西区とする。また，対象地域の境界データ，人口データ，現状のシェアサイクルのポートデータ，ポートの新設候補地データを実験で使用する。

使用する境界データについては政府統計ポータルサイトの e-Stat から入手する[3]。また，境界データを QGIS に取り込んだものを図 1 として表示する。ただし，図 1 に示した赤矢印のように，直接取り込んだ境界データには海が含まれる地物が存在したので，それらを取り除いたものを図 2 として実験で使用していくとする。また，今後は便宜上横浜市西区のみを切り取ったものを使用していくものとする。

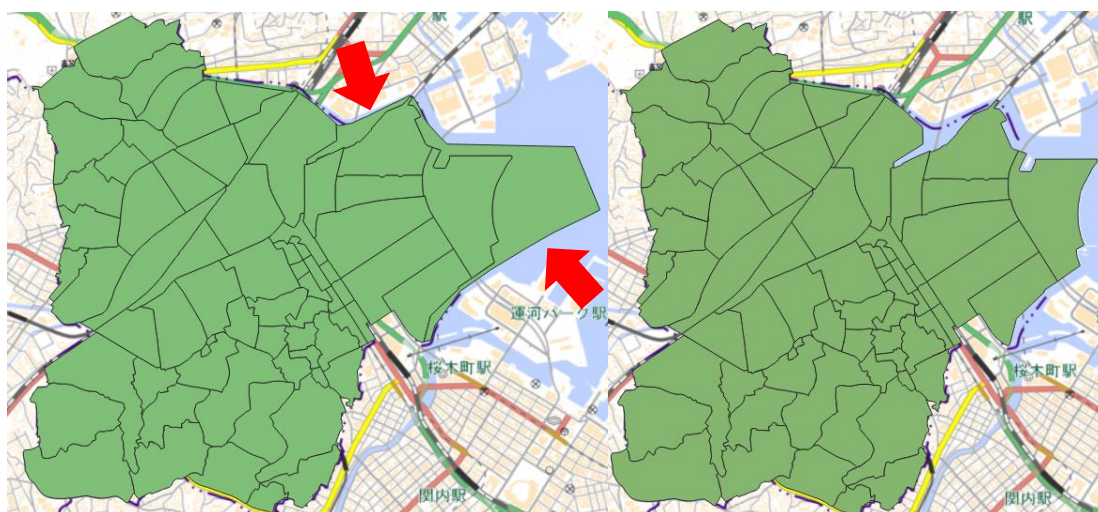


図 1:取り込んだ横浜市西区の境界データ。 図 2:修正後の横浜市西区の境界データ。

人口データについては対象地域に観光地と住宅地があることを考慮し，昼間人口と居住人口の両方を用いる。具体的には，横浜市西区を商業施設が多く人が多いみなとみらい地区周辺と横浜駅周辺を観光地，その他の地域を居住地として図 3 のように区画する。

次に 2024 年 10 月 31 日時点の住民基本台帳に基づく町丁別男女別年齢人口表[4]から取得した人口データをもとに居住地の 15 歳以上の人口数を求め，baybike 利用人口 3.68 万人[4]割る横浜市の人口 377 万人[4]で求められた利用率 1%をかけた 841 個を居住地にランダム点群で需要点を生成した。観光地については，横浜市西区の昼間人口の 20 万人[5]から居住地人口を引いた数の 1%にあたる 1159 個の需要点を観光地にランダム点群で生成した。実験ではこの 2 種類の需要点を合わせた図 4 データを用いる。

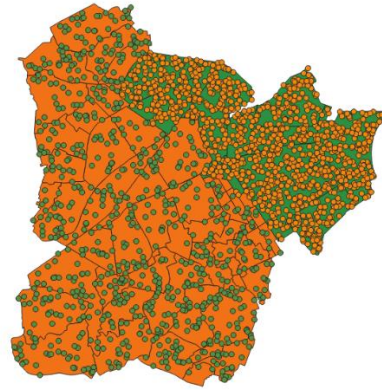
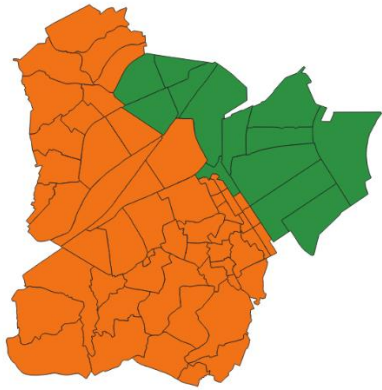


図 3:観光地(緑)と居住地(橙)の区画図. 図 4:観光地需要点(橙)と居住地需要点(緑).

現状のシェアサイクルのポートデータについては、NTT docomo が横浜を中心に提供している baybike が対象地域で提供しているポートデータ[6]を利用し、49 か所のポートデータを QGIS にプロットした図 5 のデータを供給点データとして使用する。

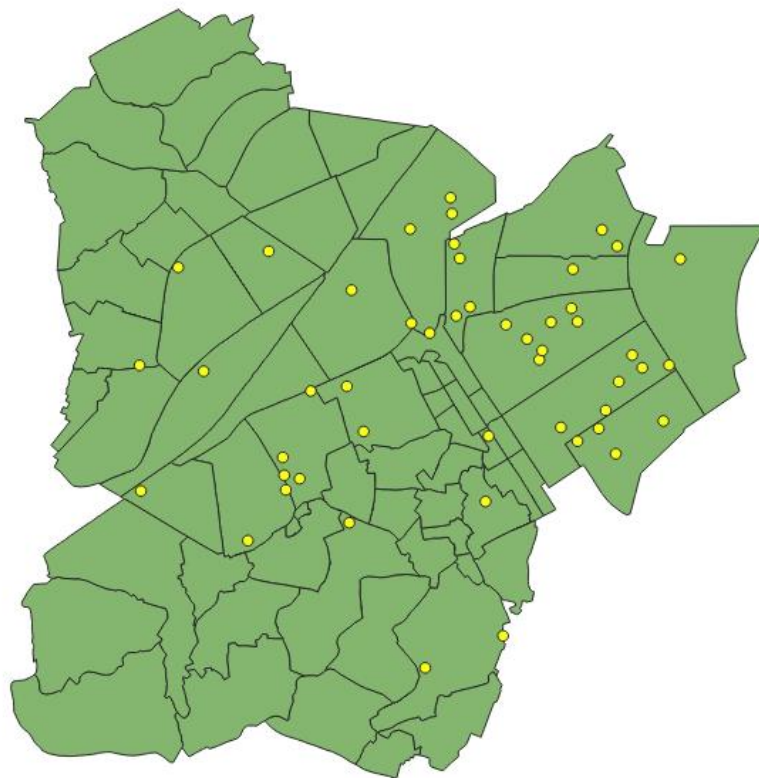


図 5:現状の供給点データ.

ポートの新設候補地データについては、設置可能性が高く、需要が見込まれる表1の公園や公共施設、駅の出口などのデータを QGIS にプロットし、供給点として使用する。また、規模の大きさや見込める需要量などを考慮し、対象施設内に供給点を2個以上設置するものもあり、すでに設置されている場合は設置しないものとする。

表1:新設候補地データ.

| | | |
|-------------|-------------|-------------------|
| 横浜市民ギャラリー | 北幸町公園 | みなとみらい駅出口 |
| 横浜美術館 | 北幸広場公園 | 新高島町駅出口 |
| 横浜みなとみらいホール | 楠町公園 | 戸部駅出口 |
| 横浜みなと博物館 | 久保町公園御所山公園 | CeeU Yokohama |
| 神奈川県立音楽堂 | 境々谷北公園 | 西スポーツセンター |
| 横浜能楽堂 | 霜下公園 | KANTO モータースクール横浜西 |
| 神奈川県立図書館 | 社宮司公園 | 口校 |
| アーツカレッジよこはま | 浅間台公園 | ローソン横浜東久保町店 |
| 横浜 f カレッジ | 浅間台みはらし公園 | 西区地域活動ホーム |
| 臨海パーク | 浅間町3丁目公園 | 西地区センター |
| 野毛山公園 | 高島水際線公園 | 藤棚地区センター |
| 岡野公園 | 大新田公園 | 西公会堂 |
| 藤棚台こどもの遊び場 | 西戸部町三丁目公園 | 平沼集会所 |
| 霞ヶ丘こどもの遊び場 | 西戸部三丁目さくら公園 | 東小学校コミュニティハウス |
| グランモール公園 | 西戸部町二丁目公園 | 稲荷台小学校コミュニティハウス |
| 石崎川公園 | 浜松町公園 | 西前小学校コミュニティハウス |
| 新田間公園 | 東久保町緑地 | 軽井沢小学校コミュニティハウス |
| 新田間川緑地 | 平沼さわやか公園 | 戸部小学校コミュニティハウス |
| 伊勢町もくせい公園 | 藤棚町二丁目公園 | 浅間小学校コミュニティハウス |
| 池ノ上公園 | 藤棚2丁目東公園 | 横浜市教育会館 |
| 大谷公園 | 南軽井沢公園 | 県立青少年センター |
| 追分公園 | 宮々谷公園 | 境々谷公園こどもログハウス |
| 霞ヶ丘公園 | 宮々谷台公園 | ハローワークプラザよこはま |
| 掃部山公園 | 宮々谷台第二公園 | 老人福祉センター横浜市野毛山荘 |
| 軽井沢公園 | 宮崎町公園 | 浅間台地域ケアプラザ |
| 北軽井沢第二公園 | 紅葉ヶ丘公園 | 横浜市藤棚地域ケアプラザ |
| 北軽井沢第三公園 | 横浜駅出口 | 横浜市宮崎地域ケアプラザ |
| 神明下公園 | 高島町駅出口 | 横浜市戸部本町地域ケアプラザ |
| 浅間下公園 | 平沼橋駅出口 | パシフィコ横浜 |
| 浅間車庫前公園 | 西横浜駅出口 | |

3.2 前提条件

最大被覆問題を解くのに際し、ポートが観光地か住宅地にあるかを考慮したうえで、設置可能台数によって分類を行い、各供給点のカバー半径を設定する。具体的な値に関しては次の表2のような値を実験で用いることとする。

表2:各供給点の分類とカバー半径.

| | 観光地 | 観光地 | 観光地 | 住宅地 | 住宅地 | 住宅地 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 設置台数 | 20台以上 | 20台まで | 10台まで | 20台以上 | 20台まで | 10台まで |
| 分類 | 大 | 中 | 小 | 大 | 中 | 小 |
| 半径 | 400m | 300m | 200m | 500m | 400m | 300m |

設定した半径に関しては、健康な女性がハイヒールのサンダル履いて歩く距離が80mだということ[7]を考慮する。観光地では歩く速度が少し遅くなるので徒歩1分に70m歩くと仮定し、近いと感じる時間が5分以内[8]ということから、分類した供給点の大、中、小がそれぞれ約5分、4分、3分でたどり着けることを基準とし、住宅地では徒歩1分に80m歩くと仮定し、観光地と同様に分類した供給点の大、中、小がそれぞれ約5分、4分、3分でたどり着けることを基準とした。

本研究については表3の環境で行っているものとする。

表3:実験環境.

| | |
|--------|--|
| CPU | Intel® Core™ i3-1115G4 3.00GHz 3.00GHz |
| OS | Microsoft Windows 11 Education |
| Memory | 8.00GB |
| Solver | Python Pulp version2.7.0 |

第4章 現状分析モデル

本章では、現状のポート位置に対して現状分析を行い、現状のポートの中で需要点を最大限カバー可能な最小限の数と位置を求めてから設置数別カバー率を調べ、考察を行う。

4.1 実験概要

本章では、現状の供給点分析として先ほどの使用データと前提条件の下2種類の数値実験を行う。

一つ目は、現状の49か所の供給点からLSCP[9]を用いて、現状のカバー率を維持したまま可能な限り最少のポート数と配置位置を求め、需要点に対するカバー率も算出する。

二つ目は一つ目で求めた施設数を用いて改良したMCLP[10]を解くことにより、施設の配置数による需要点のカバー率の違いを算出し、実際に設置するのに適した数と位置を考察する。

4.2 実験1と定式化

LSCPの定式化に必要な変数について以下のように定義する。

i : 需要点

j : 現状の供給点

N_i : 需要点 $i \in I$ をカバー可能な供給点の集合

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

また、実験に際して用いる定数は以下のとおりである。

$$|I| = 2000, |J| = 49$$

以下に定式化を示し、以後モデル1とする。

Minimize

$$\sum_{j \in J} x_j$$

subject to

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

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J.$$

目的関数では需要点を全て被覆可能な供給点の総数の最小化を行っており、1つ目の制約条件ではすべての需要点が少なくとも1つの供給点によって被覆されることを示し、2つ目の制約条件ではすべての供給点が存在するかどうか0か1で示している。

4.3 実験結果

実験の結果、図6のような結果を得られた。最適解としては施設数が22か所のときに現状と同じカバー率を維持できることが分かった。また、住宅地である北西部と南西部の需要点に対し、現状では有効な供給点が存在せず、全体のカバー率が78.45%に留まっている原因となっていることが分かった。

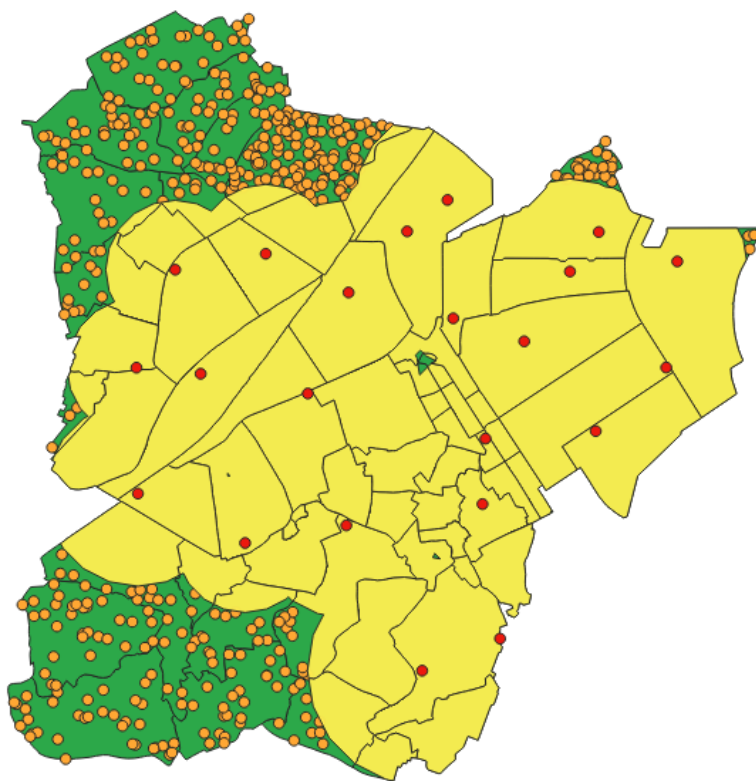


図6:現状分析モデルの最適解.

4.4 実験2と定式化

MCLPの定式化に必要な変数について以下のように定義する。

i : 需要点

j : 現状の供給点

p : 設置可能施設数

P : LSCPで求められた施設数以下の集合

a_i : 需要点 $i \in I$ における需要の量

N_i : 需要点 $i \in I$ をカバー可能な供給点の集合

$$x_{jp} = \begin{cases} 1: \text{施設の設置数が } p \text{ 台のとき, 供給点 } j \in J \text{ に施設を配置する} \\ 0: \text{施設の設置数が } p \text{ 台のとき, 供給点 } j \in J \text{ に施設を配置しない} \end{cases}$$

$$y_{ip} = \begin{cases} 1: \text{施設の設置数が } p \text{ 台のとき, 需要点 } i \in I \text{ がどこかしらの供給点に被覆される} \\ 0: \text{施設の設置数が } p \text{ 台のとき, 需要点 } i \in I \text{ がどこの供給点にも被覆されていない} \end{cases}$$

また, 実験に際して用いる定数は以下のとおりである.

$$|I| = 2000, |J| = 49, P = \{p | p \text{ は } 22 \text{ 以下の自然数}\}$$

以下に定式化を示し, 以後モデル 2 とする.

Maximize

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} a_i y_{ip}$$

subject to

$$\begin{aligned} \sum_{j \in J} x_{jp} &= p \quad \forall p \in P, \\ \sum_{j \in N_i} x_{jp} &\geq y_{ip} \quad \forall i \in I, \forall p \in P, \\ x_{jp}, y_{ip} &\in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall p \in P. \end{aligned}$$

目的関数では設置施設数ごとの被覆される需要量の最大化を行っている. 1つ目の制約条件では供給点の設置予定数が p 個であることを示し, 2つ目の制約条件では設置施設数ごとに需要点が供給点の供給範囲内に存在し, 被覆されていることを示している. また, 3つ目の制約条件ではポートを配置するかどうかと被覆されているかどうかを 0 か 1 で示す.

4.5 実験結果

実験の結果, 表 4 のような結果が得られた. この結果から設置する施設数が 20 か所までの被覆需要点の数と, 設置する施設数が 22 か所時のカバー率の違いは 0.15% であり, あまり差がないことが分かった.

表 4 :設置施設数別カバー率.

| p 施設数 | カバー率 | 被覆需要点(2000) |
|-------|--------|-------------|
| 22 | 78.45% | 1569 |
| 21 | 78.40% | 1568 |
| 20 | 78.30% | 1566 |
| 19 | 78.05% | 1561 |
| 18 | 77.80% | 1556 |
| 17 | 77.50% | 1550 |
| 16 | 77.00% | 1540 |
| 15 | 75.80% | 1516 |
| 14 | 75.10% | 1502 |
| 13 | 73.85% | 1477 |
| 12 | 72.30% | 1446 |
| 11 | 70.55% | 1411 |
| 10 | 68.40% | 1368 |
| 9 | 65.70% | 1314 |
| 8 | 62.80% | 1256 |
| 7 | 59.80% | 1196 |
| 6 | 54.10% | 1082 |
| 5 | 48.00% | 960 |
| 4 | 41.50% | 830 |
| 3 | 34.80% | 696 |
| 2 | 26.50% | 530 |
| 1 | 14.35% | 287 |

4.6 まとめ

最初に行った LSCP を用いた実験では、最低限の施設配置数で需要点の最大のカバー率を得られる配置位置を求められた。また、現状のポートの配置では対象地域の北西部と南西部の住宅地のカバーが不十分であり、需要のカバー率を上げるために優先して設置する必要があることが分かった。次に行った実験では、現実でポートの配置を行う際のコスト面や費用対効果などを考慮するために、MCLP を用いて施設配置数別の需要点のカバー率について求めた。その結果表 4 のような結果が得られ、現実でこのモデルを使用する場合はかかるコストを考慮し、設置台数を決めた方が良いと考えられる。今回の場合、コスト等の詳細なデータを得ることができなかつたため、厳密に設置台数を判断できないが、少なくとも設置数は 20 台を超える必要はないと考えられる。

第5章 再配置モデル

本章では、現状の設置位置と交通インフラ周辺を含む新設候補地を考慮し、高い被覆率が得られる再配置計画を考える。

5.1 事前準備

ポートを再配置することを考慮場合、次のデータを事前に準備する必要がある。

この事件では、現状のポートデータとポートの新設候補地データ合わせた計 178 個の地物データ QGIS に出力した図 7 を供給点データとして使用する。

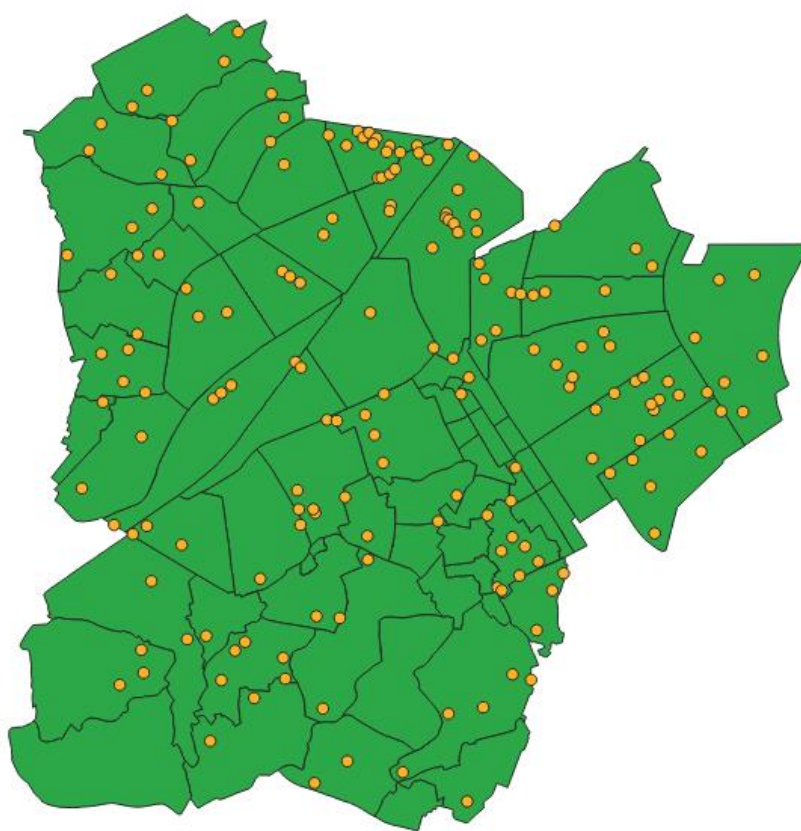


図 7:供給点データ.

5.2 実験概要

現状のポートの配置では供給点が近いことにより、供給範囲の重なりが発生している。これにより、本来他の場所に設置してカバーできてない需要点をカバーできたポートが存在し、無駄が発生している。そこで、図 7 の供給点データを使用し、モデル 1 とモデル 2 を用いて再配置計画を考える。

5.3 定式化

LSCP を用いた実験ではモデル 1，MCLP を用いた実験ではモデル 2 を使用する。

5.4 実験結果

実験の結果として次のような結果が得られた。

まず，LSCP を行った結果としては 25 個のポートを図 8 のように設置することによって，需要点を最大限カバーできることが分かった。また，このポートによってカバーされる需要点は 2000 個中 1969 個であり，得られたポートのデータをもとに QGIS に図 9 のように図示し，対象地域をほとんどカバーできていることが分かった。

LSCP で 25 個設置すれば需要点を最大限カバーできることが分かったため，次は設置するポートの数が 25 個以下の時の設置数別のカバー率を求めた。その結果，表 6 のような結果が得られた。こちらも現実の配置計画に利用する場合はコスト面を考慮し，ポート数を判断する必要がある。



図 8:LSCP で求めた最適解.

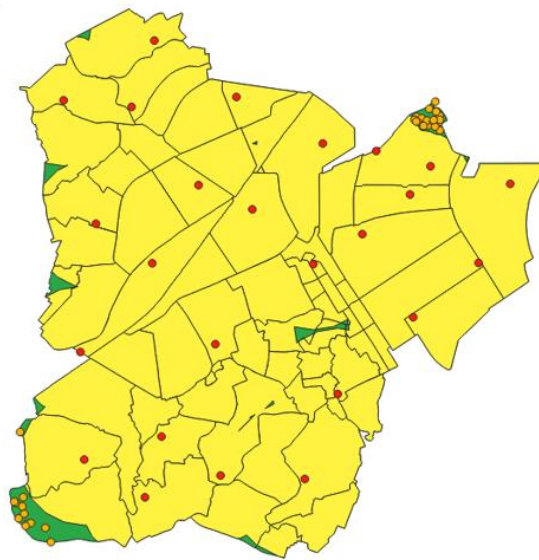


図 9:最適解の供給範囲.

表 6 :施設配置数別カバー率.

| p 施設数 | カバー率 | 被覆需要点 |
|-------|--------|-------|
| 25 | 98.45% | 1969 |
| 24 | 98.35% | 1967 |
| 23 | 98.20% | 1964 |
| 22 | 98.00% | 1960 |
| 21 | 97.80% | 1956 |
| 20 | 97.50% | 1950 |
| 19 | 96.95% | 1939 |
| 18 | 96.25% | 1925 |
| 17 | 95.30% | 1906 |
| 16 | 93.90% | 1878 |
| 15 | 91.80% | 1836 |
| 14 | 89.60% | 1792 |
| 13 | 86.75% | 1735 |
| 12 | 83.85% | 1677 |
| 11 | 80.60% | 1612 |
| 10 | 77.00% | 1540 |
| 9 | 73.00% | 1460 |
| 8 | 68.40% | 1368 |
| 7 | 63.10% | 1262 |
| 6 | 57.15% | 1143 |
| 5 | 50.45% | 1009 |
| 4 | 43.25% | 865 |
| 3 | 34.95% | 699 |
| 2 | 26.50% | 530 |
| 1 | 14.35% | 287 |

第6章 提供範囲外に新設することを考慮したモデル

本章では現状の被覆範囲外に新設する場合に高い被覆率が得られる設置位置を求め、今後の配置計画と設置数別の被覆率の関係を考える。また、通常 MCLP を用いた場合との比較も行う。

6.1 事前準備

現状の提供範囲外に新たにポートを設置する場合、次の二つのデータを事前に準備する必要がある。

一つ目は現状のカバー範囲外にある地物データを求めるために、全需要点から現状のカバー範囲の差分をとった図 10 の需要点 431 個をこのモデルの需要点として実験で使用する。

二つ目は表 1 の新設候補地データを QGIS に出力した図 11 の地物 129 個をこのモデルの供給点として実験で使用する。

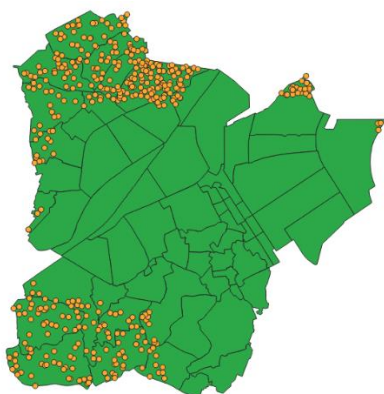


図 10:現状カバー範囲外需要点.

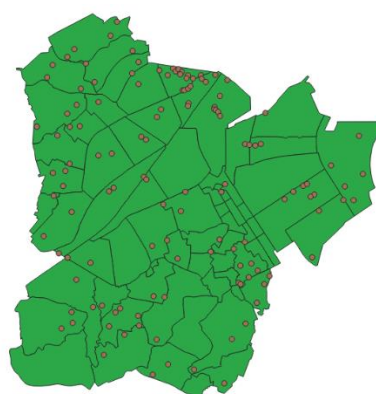


図 11:新設候補地データ.

6.2 実験概要

第 4 章の実験から現状の需要点を最大限カバーするのに必要な最小限の施設数と配置位置を求めることができた。ただ、これ以上需要点カバー率を上げるには現状のカバー範囲外に新設することを考える必要がある。そこで、この実験では、カバー範囲外需要点と表 2 の新設候補点を用いて LSCP と MCLP を扱い、ポートを新たに新設する場合どのように配置すればよいかを公園や駅の入出口などの需要が見込まれる新設候補点を考慮し、適切な設置位置と配置計画を求める。また、実験をするにあたり、対象地域のポート数がここ半年で 2 か所増えていることを考慮し、一度に配置する施設数は 2 か所として、半年ごとに新設する場合の計画を考える。その後 MCLP のみを使用した場合と比較し、考察を行う。

具体的な手順としては、LSCP を用いてカバー範囲外の需要点とカバー範囲外の新設供給点の距離を求め、カバーされる需要点が最大化される供給点の設置数と設置位置を求める。次に求められた供給点データと図 10 のカバー範囲外需要点データを使用し、設置施設数が 2 か所増加するごとの配置位置と需要点カバー率を求める。MCLP のみを使う実験に関しては、図 10 の需要点データと図 11 の供給点データを使用し、設置施設数が 2 か所増加するごとの配置位置と需要点カバー率を求める。

6.3 定式化 1

LSCP を用いた実験ではモデル 1 を使用する。

6.4 定式化 2

ここでは実験で LSCP と併用する MCLP の定式化を行う。

a_i : 需要点 $i \in I$ における需要の量

b : LSCP で求められた設置可能施設数

c : 一回 (半年) 当たりの増設数

i : 現状カバー範囲外需要点

j : 新設候補の供給点

k : 施設を増設回数

K : b 割る c で求められる被覆率が最大になるまでに必要な増設回数以下の数の集合

N_i : 需要点 $i \in I$ をカバー可能な供給点の集合

$$x_{jk} = \begin{cases} 1: \text{増設回数が} k \text{ 回のとき, 供給点} j \in J \text{ に施設を配置する} \\ 0: \text{増設回数が} k \text{ 回のとき, 供給点} j \in J \text{ に施設を配置しない} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1: \text{増設回数が} k \text{ 回目のとき, 需要点} i \in I \text{ がどこかしらの供給点に被覆される} \\ 0: \text{増設回数が} k \text{ 回目のとき, 需要点} i \in I \text{ がどこの供給点にも被覆されていない} \end{cases}$$

また、実験に際して用いる定数は以下のとおりである。

$$|I| = 431, |J| = 129, b = 12, c = 2, K = \{k | k \text{ は } 6 \text{ 以下の自然数}\}$$

以下に定式化を示す。

Maximize

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} a_i y_{ik}$$

subject to

$$\sum_{j \in J} x_{jk} = c \quad \forall k \in K,$$

$$\sum_{j \in N_i} x_{jk} \geq y_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K,$$

$$x_{jk}, y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K.$$

目的関数では設置施設数ごとの被覆される需要量の最大化を行っている。1つ目の制約条件では供給点の設置予定数が c 個であることを示しており、2つ目の制約条件では、設置施設数ごとに需要点が供給点の供給範囲内に存在し、被覆されていることを示している。また、3つ目の制約条件では配置するかどうかと被覆されているかどうかを0か1で示している。

6.5 実験結果

実験結果としては、最初に行った LSCP の結果は図 12 のような結果となった。この結果からカバー範囲外の需要点に対し、カバー率が最大となるのに必要な設置数が 12 か所であることが分かり、カバー範囲外需要点に対するカバー率を図示した図 12 からそのうち居住地に 9 か所、観光地に 3 か所であることが分かった。また、求められたポートを実際に設置することによって、現状ではカバーできなかった需要点 431 個のうち 400 をカバーすることができることも図 13 から判明した。これにより、現状から増設を行った場合、カバーできる需要点は 1569 個から 1969 個に増加し、需要点のカバー率は 78.45% から 98.45% まで増加し、ほとんどの需要点をカバーできることが分かった。

次に半年ごとに 2 か所増設する場合の配置計画については、図 14, 15, 16 のような結果を得ることができた。具体的には、半年ごとに図 14 の左, 右, 図 15 の左, 右, 図 16 の左, 右の順番で設置すれば 3 年後には最大のカバー率を得られる。

今回の実験で得られたデータをもとに新設台数ごとのカバー率についても図 18 のように可視化したところ、新設台数が 8 台以降はカバー率の伸びが鈍化していることが分かった。

MCLP のみを使用した場合との比較としては、図 17 のように需要点を最大限カバーするまでに必要な施設数が 13 か所で、今回のモデルを用いた場合の方が施設数が 1 か所少ないという結果が得られた。



図 12:LSCP で求めた最適解.

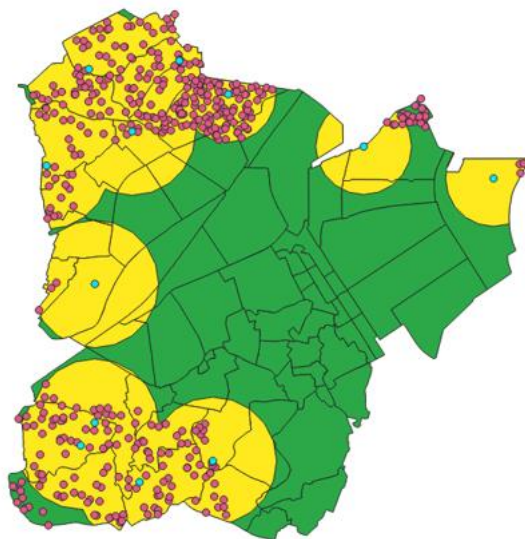


図 13:最適解のカバー範囲.

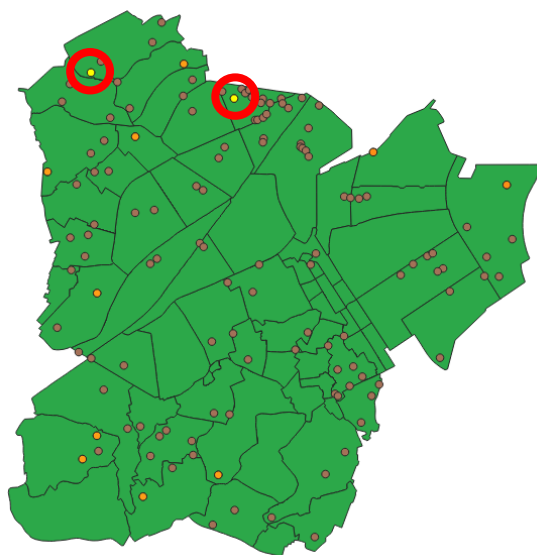
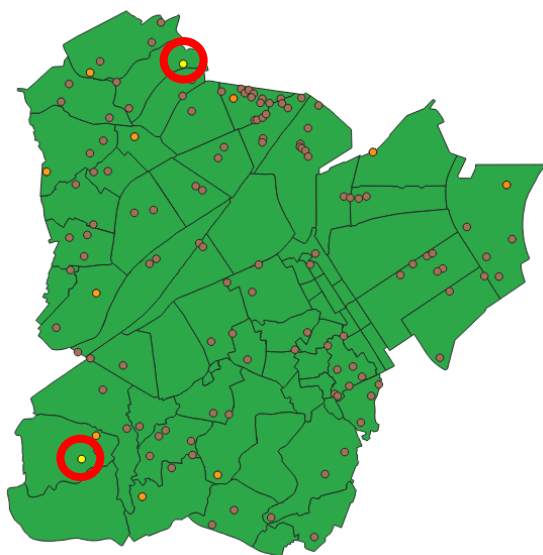


図 14:半年後の設置場所 (左) と 1 年後の設置場所 (右).

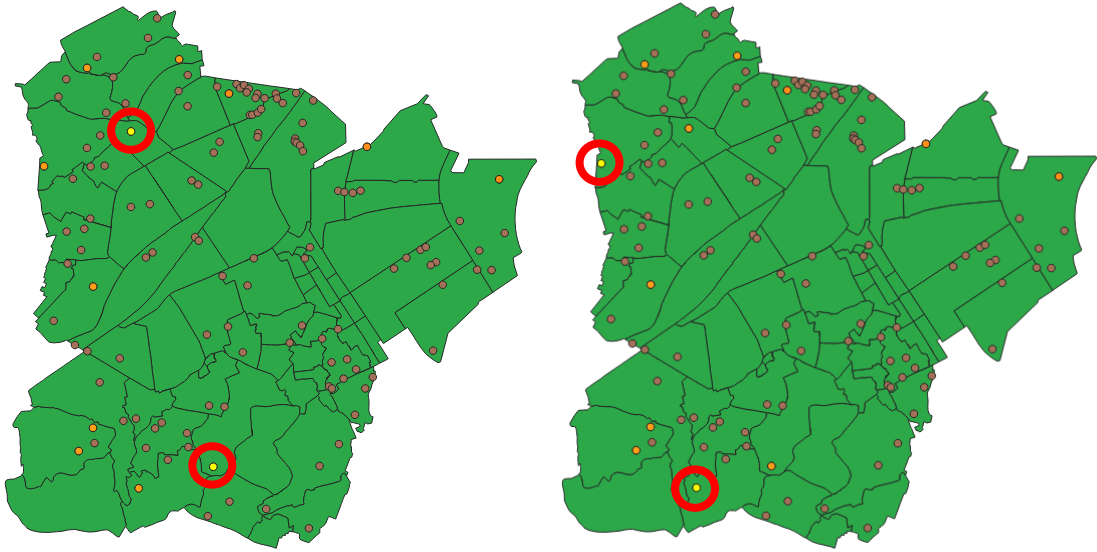


図 15:1 年半後の設置場所 (左) と 2 年後の設置場所 (右).

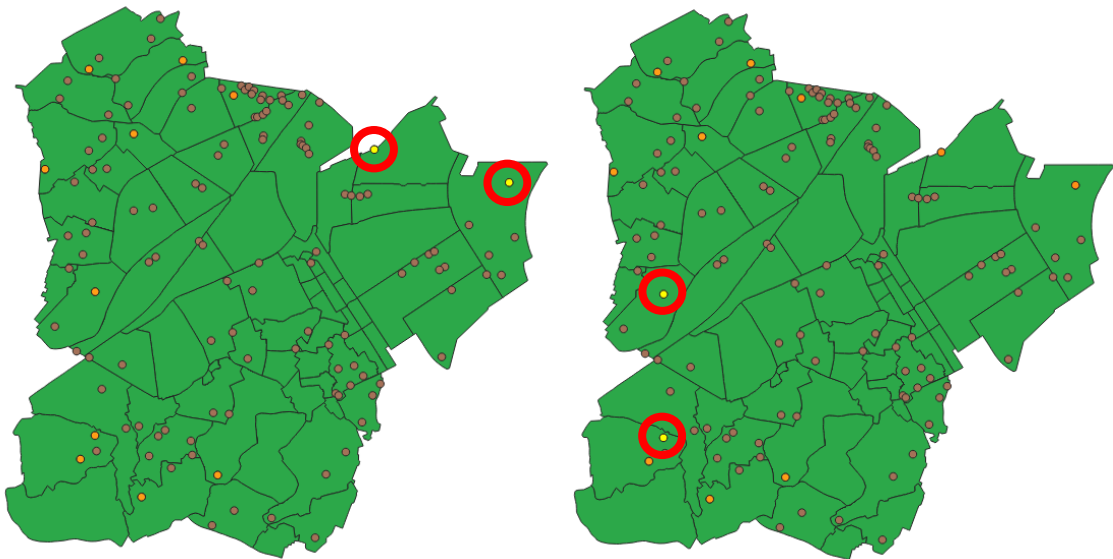


図 16:2 年半後の設置場所 (左) と 3 年後の設置場所 (右).

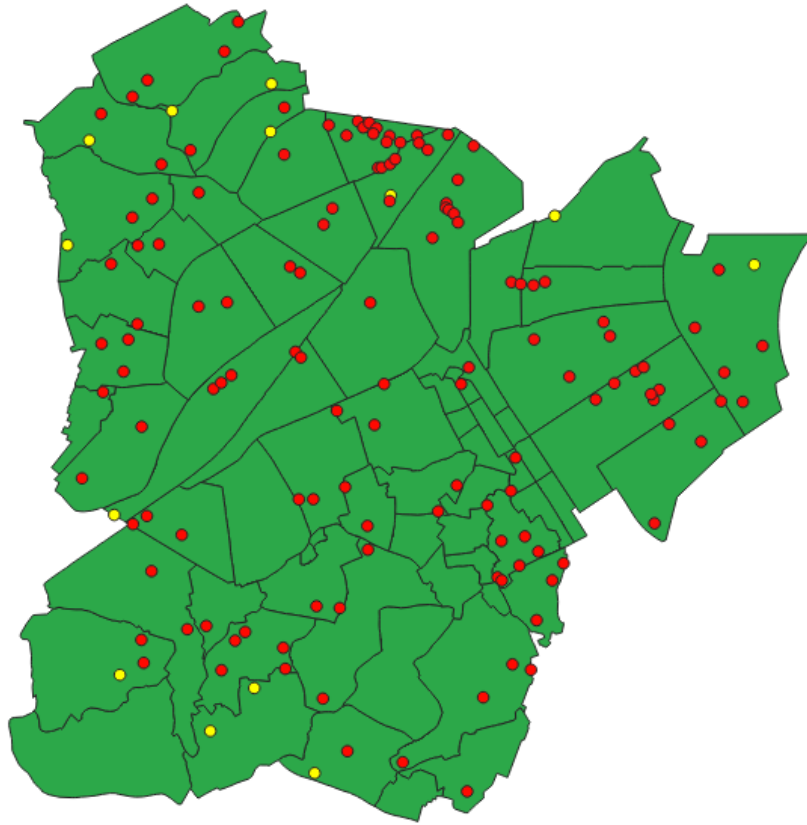


図 17:MCLP のみの最適解.

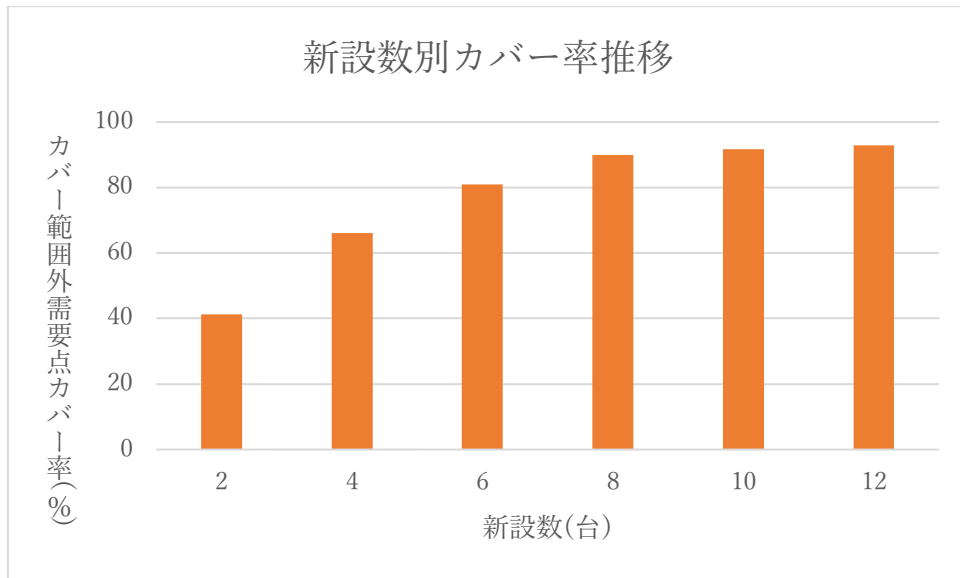


図 18:新設数別カバー率推移.

7. 結果と考察

7.1 まとめ

本研究では、シェアサイクルのポートの配置計画について混雑エリアと交通インフラなどを考慮し、現状分析と今後カバー範囲外に新設する場合の配置計画、再配置する場合の配置計画を考慮し実験を行った。

現状分析モデルではまず LSCP を用いて、現在の 49 か所のポート数から 22 か所に減らしてもカバー率が変わらないことが分かった。また、居住地の不要点が 7 か所に比べ観光地では 20 か所の不要なポートがあることが分かった。このことから現状のポートの設置場所では、居住地より観光地の利用者の方が利便性が高いことが分かる。次の実験 2 では LSCP と MCLP を用いて配置する施設数別のカバー率を求めた。その結果、現実の配置計画に適応させる場合、コスト面などの情報が得られなかったので厳密な台数は求められないが、少なくとも 22 台設置する必要はないのではないかと考えられる。

上記の 2 つの実験結果から LSCP を用いた実験では最低限の施設配置数で需要点を最大限カバー可能な配置位置を求められた。しかし、現実で行う場合は費用対効果などを考慮し、施設配置数による需要点カバー率の違いが求められる MCLP を用いた方が適切だと考えられる。ただ、警察署や消防署など公共性や緊急性が高いような施設の配置計画を考える場合 LSCP を用いた方が適切だと考えられる。

現在の供給点と新設候補地を考慮した再配置モデルでは、25 か所の設置により 98.45% のカバー率を得ることができ、対象地域をほとんどカバーすることが可能であることが分かったが、現状の設置場所と大きく異なっており、再配置にかなりのコストがかかり、現実的でないと考えられる。以上のことから、実用するにはその他のコスト制約を組み込んだモデルなどの改善が必要であると考えられる。

カバー範囲外に新設するモデルではポートを公園や駅などの公共施設や人が多く利用する施設を考慮し、半年ごとの配置計画を求めた。その結果、12 か所で最大のカバー率を得られることが分かり、従来の MCLP のみで求められた 13 か所より 1 か所少ない結果が得られた。また、新設数別のカバー率を求めると 8 台あたりからカバー率が鈍化していることから設置するにあたり 8 台あたりが現実的なラインではないかと考えられる。

7.2 今後の課題

本研究では、カバー範囲外に新設することを考慮したモデルで、MCLP のみを用いたモデルに比べ有用な結果が得られた。しかし、供給範囲などについてまだ改善の余地があると考えられる。具体的には、今回は実験で使用した需要点は現在の利用率をもとに生成したもののだが、供給点の減少による利用者の減少や実際にサービスを利用したいと思える距離を考慮できてなかった。また、コスト制約や各ポートの容量や施設間の移動データなどを考慮することにより重み付けを追加で行うモデルを考えるとより良い結果が得られるのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 国土交通省 HP, <https://www.mlit.go.jp/>, (参照 2024/12/1)
- [2] 鈴木勉：既存施設を活用した都市施設の再配置モデル, 都市計画論文集, Vol.46, No.3, pp.421-426, 2011.
- [3] e-Stat 横浜市西区境界データ, <https://www.e-stat.go.jp/>, (参照 2024/12/1)
- [4] 横浜市 HP, <https://www.city.yokohama.lg.jp/>, (参照 2024 /12 /1)
- [5] グラフで見る世界の統計, <https://graphtochart.com/>, (参照 2024/12/1)
- [6] baybike (横浜都心部・広域), <https://docomo-cycle.jp/yokohama/>, (参照 2024/12/1)
- [7] なるほど不動産, <https://www.heyasagashichintai.com/>, (参照 2024/12/1)
- [8] 株式会社ワイズワンホーム HP, <https://www.wise-onehome.jp/>, (参照 2024/12/21)
- [9] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C.,& Bergman, L., The Location of Emergency Service Facilities. Vol. 19, No. 6, pp. 1363-1373, 1971.
- [10] Church, R., and C. ReVelle., The Maximal Covering Location Problem. Papers of the Regional Science Association, Vol. 32, pp. 101-118, 1974.