

渋谷駅周辺地域におけるゴミ箱設置の最適化

豊島岡女子学園高等学校 2 年 伊藤史織

1. 研究の要約

本研究ではポイ捨てを削減することを目的に、ゴミ箱の設置を数理的に最適化することで、最低限必要なゴミ箱の数とその設置場所を求めた。また、ゴミの種類を定義することでゴミの種類ごとのゴミ箱の配置を導き出し、各設置場所に設置可能な台数の上限を定めることで「どのゴミ箱を優先するか？」といった、より現実に応じたモデルを作った。そして、ゴミ箱の設置数ごとの最適配置を比較することで、どのような場所にゴミ箱の需要が発生するかを考察し、最適解を求めた。

2. 研究の動機と目的

渋谷は若者向けの店舗が多く、交通の便が良いことから多くの人が集まる。私もよく利用するが、いつもゴミの捨て場所に困る。ゴミ箱を探が見つからない、もしくは運良く見つかっても、ゴミがゴミ箱から無造作にあふれ出ていて、逆にポイ捨てされているゴミの多さに驚かされる。

ポイ捨ては近年深刻化しているゴミ問題の一つだが、いまだ解決の兆しは見えていない。その理由の一つとして、政府は企業など生産者に対する規制に重きを置き、消費者に対してはそこまで厳しい制約がないことが挙げられる[1]。そのため消費者はポイ捨てを軽視していると考えられる。

しかしこのポイ捨ては環境問題の一つの海洋プラスチックゴミ問題につながる。海に運ばれたゴミの約 8 割は街から捨てられたもので、後に太陽光や波により分解されマイクロプラスチックとして生態系に影響を及ぼしている[1]。

そうすると、このポイ捨て問題は私たちが早急に取り組まなければならない問題と言える。そこでまずこの問題を解決するにはゴミ箱の設置が必要だと考える。人々はポイ捨てをしたい訳ではなく、捨てる場所がないから仕方なくポイ捨てしていると思うからだ。海外と比較しても、日本のゴミ箱の数は圧倒的に少ない[2]。しかし、ゴミ箱の設置や回収には大幅なコストがかかるため、たくさん設置すればいいというわけでもない。だから数理的にうまく配置を決めて、最少のゴミ箱設置数で地域をカバーするようなゴミ箱の配置を考えたいと研究を始めた。

3. 実験

3.1 研究内容

図 4 の青枠内を対象地域とした。また、ゴミの分別に着目し、ゴミ箱の種類を可燃ゴミ・プラスチックゴミ・空き缶ゴミの 3 種類に設定した。

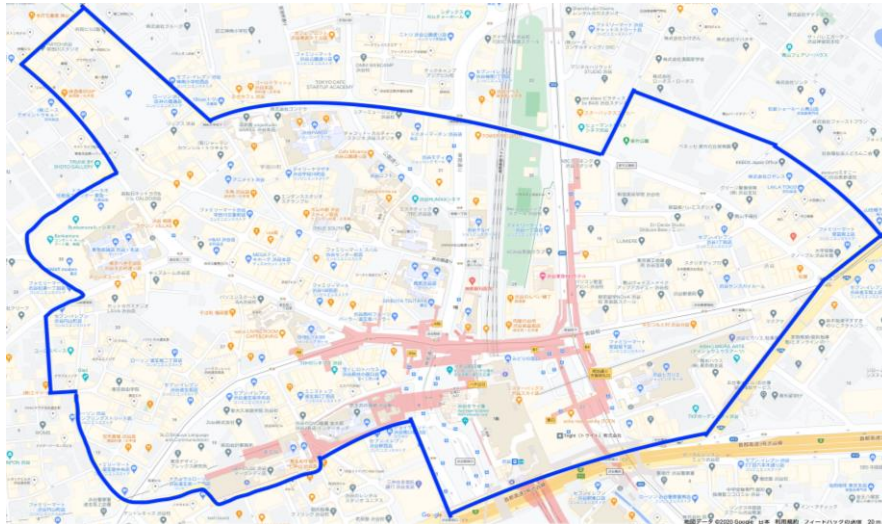


図 4:対象地域

3.2 調査

現状を把握するために、実地調査を行った。また、個人では限界があったため、認定 NPO 法人のグリーンバードという団体のボランティア活動に参加して、渋谷チームとともに渋谷でゴミ拾いをした。コロナ禍により外出が自粛されているにもかかわらず、図 2 や図 3 のようにゴミが多く落ちていた。30 分で 30L×7 袋は容易に集まるペースであった。茂みや、店舗付近にゴミが集中していた。また、駐車場には何十もの空き瓶やペットボトルが放置されていて、店舗利用者だけでなく車の運転手もゴミ箱を必要としていることが分かった。



図 1:調査①



図 2:調査②



図 3:調査③

3.3 研究方法

まず、それぞれのゴミの種類について、ゴミ箱の設置ができる場所(設置候補点)と需要がある場所(需要点)を定めた。図 5 において設置候補点を青点で 93 カ所、図 6 において需要点を赤点で 90 カ所記載している。前者は空間的にスペースがあるか、設置する妥当性があるかという条件の満たす場所に、そして後者は、テイクアウト店周辺や階段の下や花壇などゴミを並べて置けてしまう場所、茂みなどゴミを隠せる場所、自動販売機付近、そしてハチ公前などの待ち合わせ場所などゴミがポイ捨てされうる所に置いた。これらを定める際、3.2 調査 で述べた実際の現地での実地調査、ボランティア活動、Google Map のストリートビューや活動団体から集めたデータを参考にした。

そして、そのゴミ箱の需要をできるだけ多くカバーできるようにゴミ箱を設置する、という問題を Xpress という最適化ソルバーを使って解き、最適解を求めた。

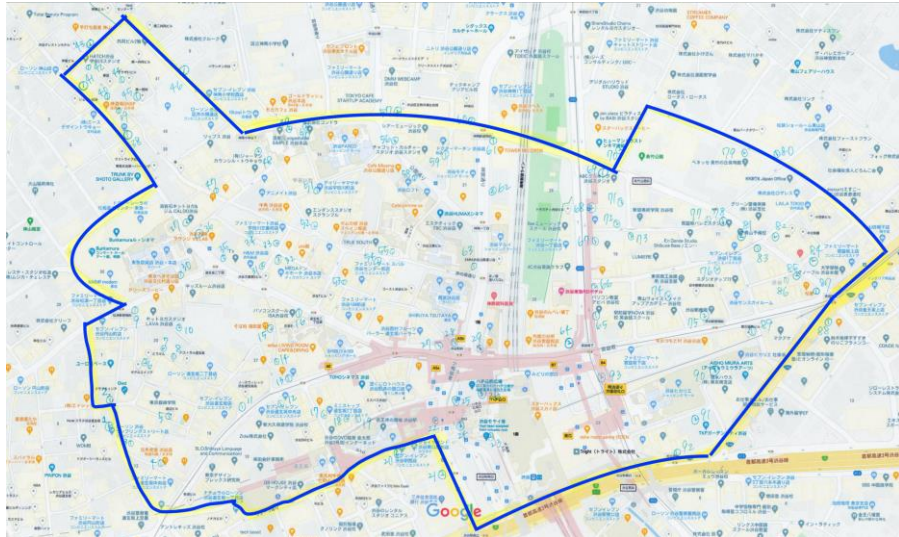


図 5: 設置候補点マップ

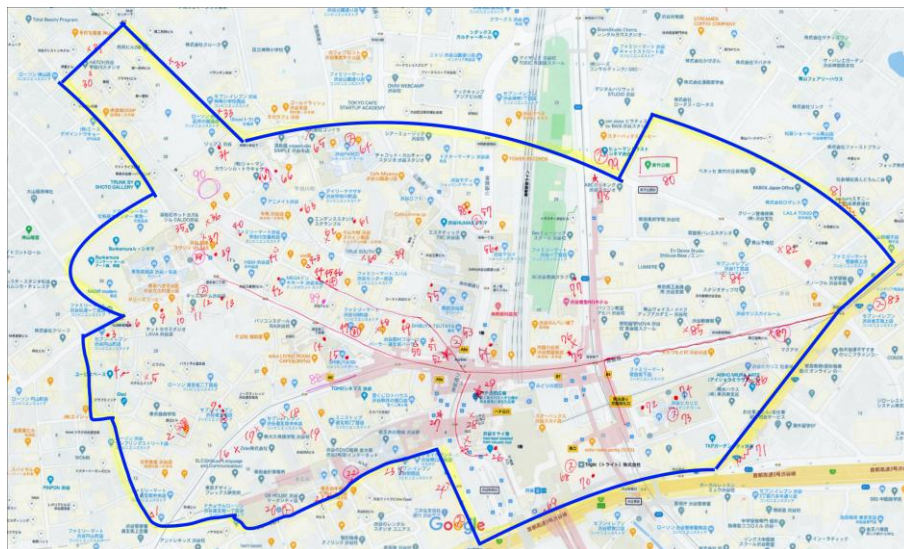


図 6: 需要点マップ

3.4 数理モデル

集合、定数、決定変数を以下のように定義する。

▶ 集合

$i \in I$: 需要点

$j \in J$: 設置候補点

$p \in P$: ゴミの種類(可燃ゴミ、プラスチック、空き缶の 3 種)

▶ 定数

w_{ip} : 需要点 i のゴミ p に対する需要量(0,1,2,3 の四段階で評価)

評価の仕方は、以下の三つの質問に「はい」・「いいえ」で答え、各需要点 i での「はい」と答えた質問の数とした。

- ① 付近にゴミ箱を設置すべき環境があるか

② 人通りは多いか

③ 階段や歩道の植え込みなどゴミが隠せる(置ける)場所があるか

a_{ij} : 設置候補点 j に設置した時に需要点 i をカバーすることができるかを表す 0-1 の定数
(カバーされている = 一定の距離の範囲内でゴミ箱 j を利用できる)

カバーされる条件は、

① 一直線で見える

つまり駅から遠いところでは道のり 150m 以内、駅近では 50m 以内である

② 1ブロックの1曲がり以内

のどちらか一方でも当てはまっているかどうかとした。

m_j : 設置候補点 j のゴミ箱設置可能台数(1,2,3 のいずれか)

これは設置候補点 j ごとの空間の広さで定義した。

k : それぞれの種類のゴミ箱の設置数

▶ 決定変数

z_{ip} : 需要点 i のゴミ p に対する需要がカバーされているかを表す 0-1 の変数

x_{jp} : 設置候補点 j にゴミ p のゴミ箱を設置するかを表す 0-1 の変数

▶ 数式

本研究では以下の最適化問題を解くことで最適なゴミ箱の配置を求めた。

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} w_{ip} z_{ip} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J} x_{jp} = k, \quad \forall p \in P, \quad (2)$$

$$z_{ip} \leq \sum_{j \in J} a_{ij} x_{jp}, \quad \forall i \in I, \forall p \in P, \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} x_{jp} \leq m_j, \quad \forall j \in J. \quad (4)$$

目的関数 (1) はカバーされた需要量を最大化するということを意味し、需要量が大きい場所をカバーするようにゴミ箱を置くことを目標とした。(2)-(4)は制約条件である。制約式 (2) は各ゴミの種類に対するゴミ箱の設置数は k 個であるという制約で、 k を動かしていくことによってゴミ箱が必要な場所やカバーされた需要量の推移を見ることができる。そして、制約式 (3) はカバーに関する条件で、具体的に言うと需要点 i のゴミ p の需要がカバーされる($z_{ip} = 1$) 時は、右辺が 1 以上でなければならないため、 $a_{ij} \cdot x_{jp}$ ともに 0 または 1 の定数より、少なくとも 1 つの設置候補点 j で $a_{ij} = 1$ かつ $x_{jp} = 1$ つまりゴミ箱がカバーされていて、かつ設置される必要があるということになる。また、制約式 (4) で各設置候補点に設置可能なゴミ箱の種類は m_j 以下であることを示している。

3.5 結果・考察

図 7 の横軸はそれぞれの種類のゴミ箱の設置数、縦軸はカバーできた需要量を示す。図中のパーセント表示は、全需要 247 のうちのカバーできた割合を示している。理論上全体の需要の 80% をカバーするためには 100% の時の半分以下の 13 台ずつ設置すれば十分であることがわかる。

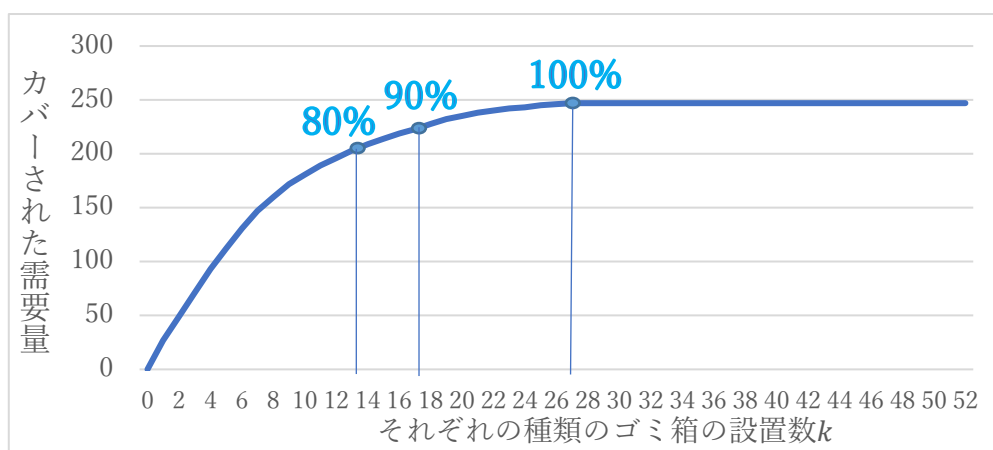


図 7:ゴミ箱の設置数に対するカバーされた需要量の変化

次に設置されたゴミ箱の場所に着目する。図 8 は $k=1$ の時に $x_{jp}=1$ となった場所、つまり設置された場所を地図上に書き込んだものである。空き缶用のゴミ箱は駅近にある一方で、可燃ゴミ用はコンビニ周辺、プラスチック用はタピオカドリンク店などの周辺に位置する。 $k=5$ つまり 5 台ずつ設置したときは図 9 のようになった。この配置された場所には、茂みがあったり、自動販売機が並べられていたり、人通りの多い駅前やハチ公前、地下鉄への改札などとなっている。また、駅付近では全種類のゴミ箱がそろっている。このような場所に設置された 1 つ目の理由はアクセスが良く人の往来が多くなるためで、2 つ目の理由は食べ歩き飲み歩き商品は店舗で買ってから「飲み歩き」をするので、駅に向かって飲み終わったゴミを持っていくからと考えられる。

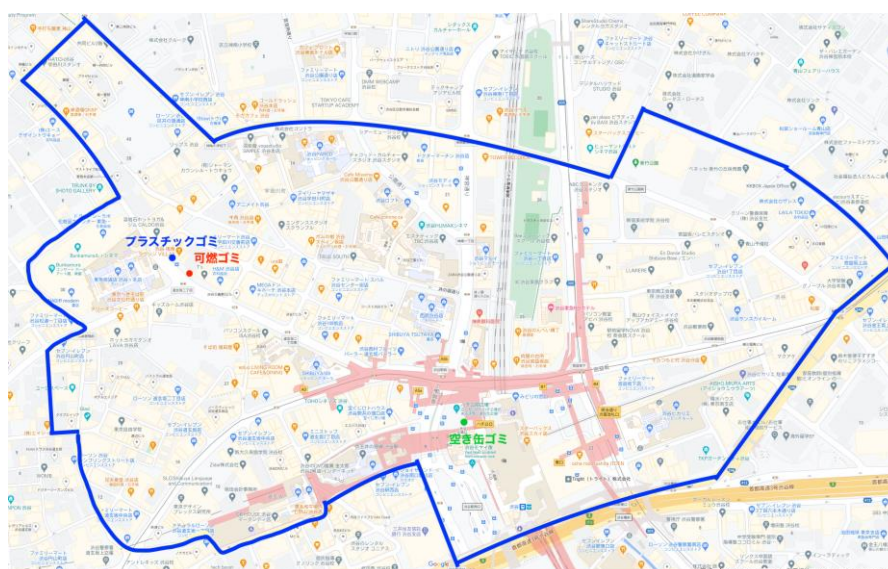


図 8: $k=1$ の時に設置された場所

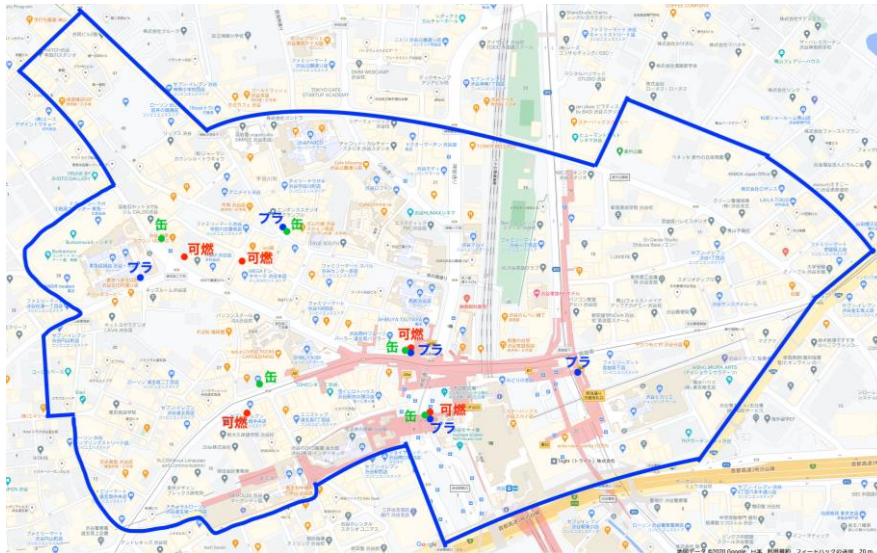


図 9: $k = 5$ の時に設置された場所

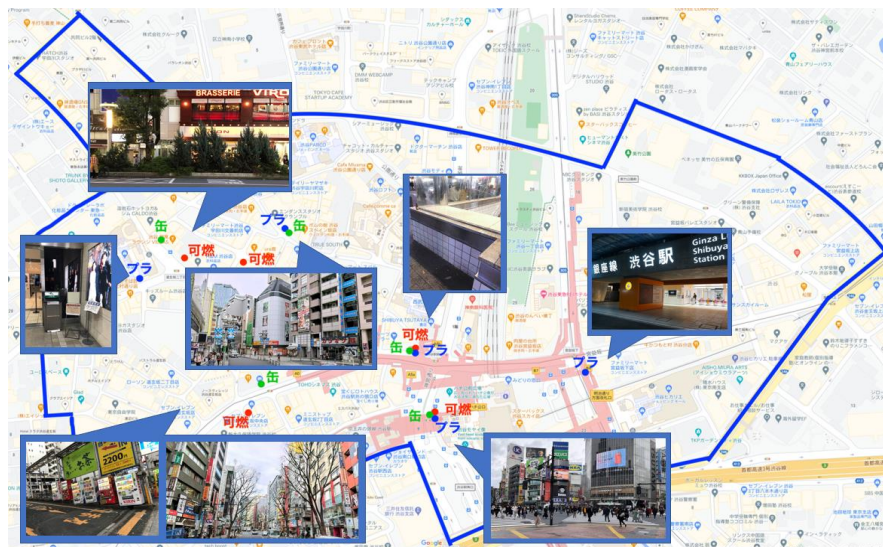


図 10: 図 9 の地点の実際の様子

4. 結論と現実への応用・提案と今後の展望及び感想

4.1 結論

本研究ではポイ捨てを削減させることを目的に、最適なゴミ箱の設置を求めることができた。そのため、ゴミの需要を適切に推定出来れば、その需要に応えるような配置を提案することができる。

4.2 現実への応用・提案

2020 年 10 月 8 日から森永製菓と SmaGO が SDGs への取り組みの一環として表参道にゴミ箱「SmaGO」を設置した[3]。このような取り組みが渋谷で実施される際、ゴミ箱の設置場所の検討に本研究は参考になるのではないかと考える。

実際に現実に応用した場合を考える。あるデータによると渋谷駅前、3ヶ所に設置されたゴミ箱のゴミを定期的に回収したり、落書きを消したりするのに年間 1800 万円かかるといわれる[4]。今回の実験結果をこれで試算すると、約 1 億円はかかることがわかる。だから、表参道の SmaGO の事例を参考にし、協賛してくれる企業を募り、ゴミ箱自体をその企業の広告として利用することでゴミ箱の管理にかかる費用をかなり浮かせることができる。

また、本研究から最適な台数、場所が求められたが、その設置場所を利用者が知らなければポイ捨ては減らないとも考えられる。そこで図 11 のようにゴミ箱の設置場所を人々に広めるために店頭のレジ横や、テイクアウト商品のカップやパッケージに QR コードを印刷し、それをスマホで読み込むとゴミ箱の設置場所が表示される地図を見ることができたら便利だ考える。



図 11:QR コードからゴミ箱の設置場所の読み取り

4.3 今後の展望

需要量を考える際は利用者のアンケート調査や通行調査などに基づくのが望ましいと考える。SNS を利用すればスムーズに回答を得られ、より現実を反映したモデルがつくれるのではないと思う。

4.4 感想

今回調べるにあたり区役所に問い合わせたが、担当分野が様々で有益な情報を得ることができず、できる範囲での実地調査しか方法がなく苦勞した。また、コロナにより学校が休校の間、初めて自分でプログラミングを学び、今回の研究に取り組んだため、最初はなかなか思い通りに動かず、試行錯誤の連続だったが、なんとか原因を突き止め、解決することができた。日常のちょっとした不便さから思いついたことについて、数式を立てることで最適解を導き出せることに驚くとともに、自分の好きな数学が社会問題の解決に大きく役立つ可能性があるということを実際に感じる事ができて、嬉しかった。今後も新たな知識の習得やスキルの向上に努めたいと思う。

謝辞

本研究をするにあたり、研究の指導を通じて多くの知識や示唆をいただきました筑波大学システム情報工学研究群社会工学プログラムの山田直輝さん、親身に相談に乗って頂きました豊島岡女子学園高等学校の同級生や先生方に心から感謝申し上げます。

5. 参考文献

- [1]外務省 <http://www.env.go.jp/council/03recycle/y0312-01/y031201-2r3.pdf>(最終閲覧日:2021 年 1 月 27 日)
- [2]観光庁 https://www.mlit.go.jp/kankocho/news08_000322.html(最終閲覧日:2021 年 1 月 27 日)
- [3]SmaGO × 森永製菓 <https://www.morinaga.co.jp/sdgs/smago/>(最終閲覧日:2021 年 1 月 27 日)
- [4]マチノギモン第 18 回「街のゴミ箱」http://www.publicart.co.jp/gen/press/press_070301.html(最終閲覧日:2021 年 1 月 27 日)