

# 混合整数計画法に基づく 首都圏における「道の駅」の最適配置評価

本間 裕大<sup>1</sup>・甲斐 慎一郎<sup>2</sup>・堀口 良太<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学准教授 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail: yudai@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 (株)アイ・トランスポート・ラボ 技術部技術課 (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-10)

E-mail: kai@i-transportlab.jp

<sup>3</sup>正会員 (株)アイ・トランスポート・ラボ 代表取締役 (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-10)

E-mail: rhoriguchi@i-transportlab.jp

混合整数計画法に基づく最適配置理論は、地理学分野やオペレーションズ・リサーチ分野を中心に活発な議論が行われている。本研究では、 $p$ -メディアン問題やフロー補足問題など当該分野における典型的モデルを、首都圏における「道の駅」の最適配置評価へと適用することを試みる。異なる需要想定や評価基準の下でその配置傾向を比較することによって、現状における配置の妥当性の検証や、将来的な政策決定への視座を得ることを目的とする。2019年現在、首都圏（一都六県）には350近くの道の駅が存在するが、その配置に偏りが生じており、混合整数計画法による厳密解と比較することは有用と考える。最適配置理論における種々の問題は、その問題想定によって大きく求解性能が異なることが知られているため、それぞれの想定に適した候補地点密度の把握も併せて試みる。

**Key Words :** 道の駅, 最適配置理論, 混合整数計画法, 首都圏

## 1. はじめに

本研究では、混合整数計画法に基づき、首都圏における「道の駅」最適配置の試験的評価を試みる。

混合整数計画法に基づく最適配置理論は、主に地理学分野やオペレーションズ・リサーチ分野を中心に活発な議論が行われているものである<sup>1)</sup>。数理計画法における変数の一部を0-1変数とした混合整数計画法によって、多くの配置候補点の集合から、その最適な組み合わせを求解することが可能である。近年における数理最適化ソルバの性能向上によって、現実的な問題サイズでの分析ができるようになりつつある。

本研究では、最適配置理論における古典的モデルとして、 $p$ -メディアン問題ならびにフロー捕捉型問題を、首都圏における「道の駅」の最適配置評価へと適用することを試みる。 $p$ -メディアン問題とは、需要点と施設の往復移動を想定し、地域全体における総移動距離が最小となるよう、 $p$ 箇所の施設を最適配置することが目的である。いわゆる「道の駅」の近隣需要を前提としたときの配置計画と言える。これに対し、フロー捕捉型問題とは、起点と終点をもつフローを想定し、その移動途中に施設に立ち寄ることを前提としたものである。すなわち、

「道の駅」の広域需要を前提とした配置計画と言える。

本稿では、地域全体における総移動距離が最小となるよう $p$ 箇所の施設を最適配置することを共通の目的とするが、上述した二つの問題では、その移動想定が異なるゆえに、配置傾向が大きく異なることが明らかとなっている。このように異なる移動想定の下で、その配置傾向を比較することによって、現状における配置の妥当性の検証や、将来的な政策決定への視座を得ることが可能になると思われる。

2019年現在、首都圏（一都六県）には350近くの道の駅が存在するが、その配置に偏りが生じており、混合整数計画法による厳密解と比較と様々な観点から比較していることは有用と考える。なお、最適配置理論における種々の問題は、その問題想定によって大きく求解性能が異なることが知られているため、それぞれの想定に適した候補地点密度の把握も併せて試みる。

## 2. 最適配置モデル

本章では、今回の分析に用いる $p$ -メディアン問題ならびにフロー捕捉型問題の定式化についてまとめる。

(1)  $p$ -メディアン問題

$$\begin{aligned} \min. \quad & \sum_i \sum_{k \in K} w_i t_{ik} x_{ik} & (1) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in I & (2) \\ & z_k \geq x_{ik} \quad \forall i \in I, k \in K & (3) \\ & \sum_k z_k = p & (4) \\ & z_k, x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K & (5) \end{aligned}$$

(2) フロー捕捉型問題

$$\begin{aligned} \min. \quad & \sum_q \sum_{k \in K} f_q t_{qk}^D y_{qk} & (6) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k \in K} y_{qk} = 1 \quad \forall q \in Q & (7) \\ & z_k \geq y_{qk} \quad \forall q \in Q, k \in K & (8) \\ & \sum_k z_k = p & (9) \\ & z_k, y_{qk} \in \{0,1\} \quad \forall q \in Q, k \in K & (10) \end{aligned}$$

- $i, I$  需要点の添字・集合
- $q, Q$  ODペアの添字・集合
- $k, K$  施設候補点の添字・集合
- $p$  総施設数
- $t_{ik}$  需要点*i*から施設候補点*k*までの所要時間
- $t_{qr}^D$  ODペア*q*の途中で施設候補点*k*に立ち寄るための追加時間
- $w_i$  需要点*i*の人口
- $f_q$  ODペア*q*のフロー量
- $z_k$  施設候補点*k*に配置するか(1)否か(0)
- $x_{ik}$  需要点*i*が施設候補点*k*を利用するか(1)否か(0)
- $y_{qk}$  ODペア*q*が施設候補点*k*を利用するか(1)否か(0)

(1)ならびに(6)は目的関数である。対象地域における総所用時間を計算しており、本モデルの目的は当該所要時間の最小化である。(2)ならびに(7)は、需要点あるいはODペアが、必ずいずれかの施設を利用することを制約している。(3)ならびに(8)は、実際に配置された施設候補点のみ利用できることを、そして(4)ならびに(9)は、総施設数が*p*箇所であることを制約している。最後の(5)ならびに(10)は、0-1変数に関する制約である。

3. 首都圏における分析例

前章のモデルを首都圏における「道の駅」最適配置評価へと適用する。今回は茨城・栃木・群馬・埼玉・千葉・東京・神奈川・山梨・長野の一都六県を対象とし、道路ネットワークとして、日本デジタル道路地図協会<sup>2)</sup>によるDRM-DB2903版を用いた。所要時間の計算に当たっては、高速道60km/h、主要道30km/h、一般道15km/h、そ

の他の道路7.5km/hとした。

$p$ -メディアン問題において往復移動の起終点となる需要点は、道路交通センサスのBゾーンの中心をおおまかに計算し、平成27年国勢調査<sup>3)</sup>の市町村人口を配分した。一方、フロー捕捉型問題におけるODペアは、第6回(2015年度)全国幹線旅客純流動調査<sup>4)</sup>(207生活圈・乗用車等・年間)を前述の需要点間ペアへ、人口に応じ比例配分したものを用意した。最後に施設候補点については、既に存在する一都六県の道の駅348箇所に加え、仮想候補点を10km<sup>2</sup>ごとに計1,384箇所、準備した。

一例として、既存の348箇所には施設が既に配置されている制約条件を加え、追加で0~10箇所、新規施設を配置する場合を計算した。表-1に施設数に応じた所要時間の比較を示す。往復型移動を想定した場合よりも、立ち寄り型移動を想定した場合のほうが所要時間が低く見積もられることが確認できる。また、図-1・2に示した最適配置案からは、両者のモデルで大きくその特徴が異なることも見て取れる。 $p$ -メディアン型が都心部に配置される一方で、フロー捕捉型では県境や山間部など、より現実的な箇所に配置されていることが確認された。

本稿で示した手法をモデル・データの双方から精緻化し、より現実的な「道の駅」配置計画評価に用いることが今後の課題である。

表-1 施設数に応じた所要時間の比較 (単位: 分)

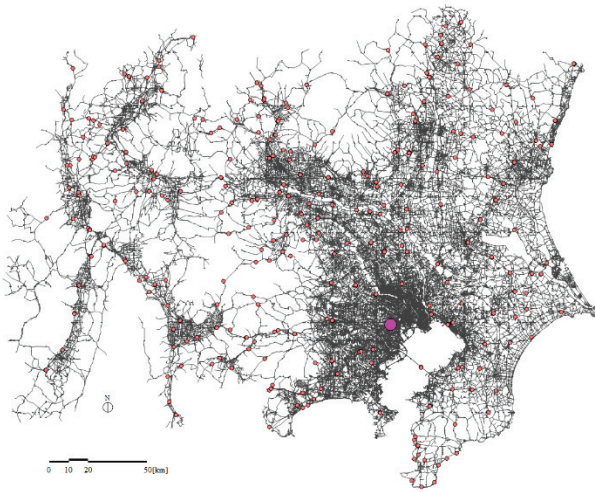
施設数	$p$ -メディアン	フロー捕捉型
既存施設のみ	21.91	4.04
既存施設+1箇所	20.83	3.39
既存施設+2箇所	20.39	2.97
既存施設+3箇所	19.97	2.62
既存施設+4箇所	19.56	2.36
既存施設+5箇所	19.28	2.16
既存施設+10箇所	18.22	1.76

謝辞：本研究は、新道路技術会議平成31年度道路政策の質の向上に資する技術研究開発（研究テーマ：交通・物流・交流・防災拠点としての道の駅の性能照査と多目的最適配置に関する研究）の一部として実施されたものである。

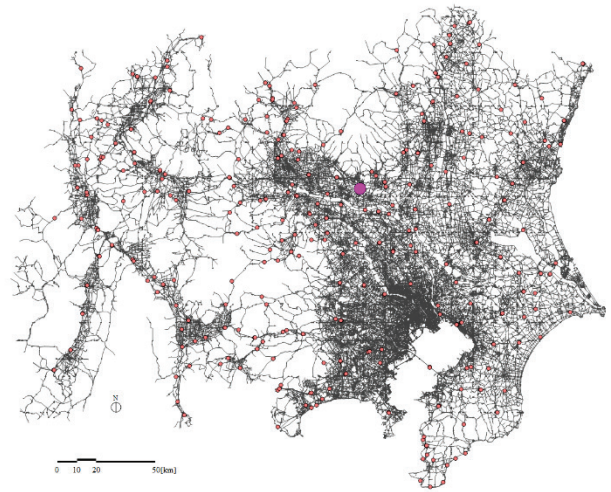
参考文献

- 1) 貞広幸雄 他：空間解析入門，朝倉書店，2018。
- 2) 日本デジタル道路地図協会：デジタル道路地図，<http://www.drm.jp/>，(2019年9月参照)，2017。
- 3) 総務省統計局：H27 国勢調査，<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/index.html>，(2019年9月参照)，2017。
- 4) 国土交通省：第6回(2015年度)全国幹線旅客純流動調査，[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku\\_soukou\\_fr\\_000016.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000016.html)，(2019年9月参照)，2017。

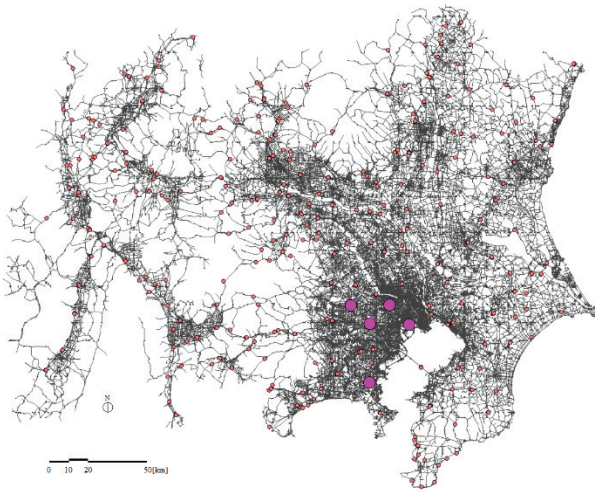
(2019. 10. 4 受付)



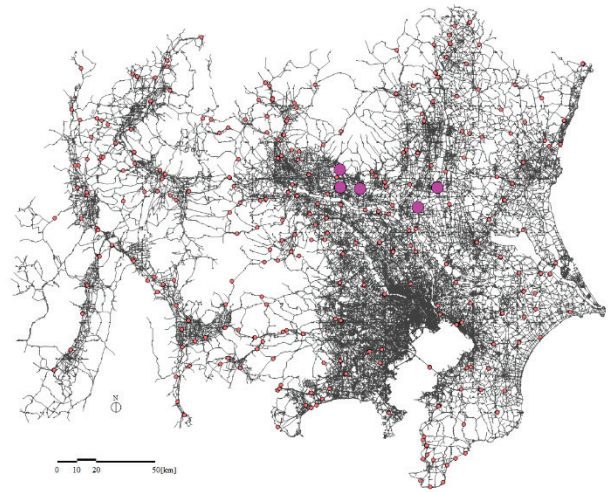
(a) 既存施設+1箇所



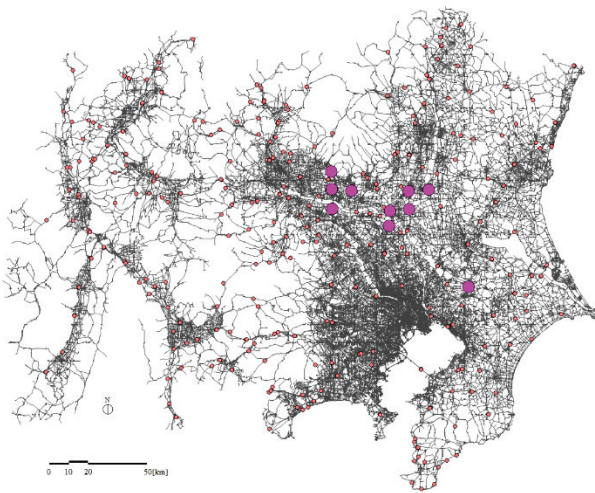
(a) 既存施設+1箇所



(b) 既存施設+5箇所

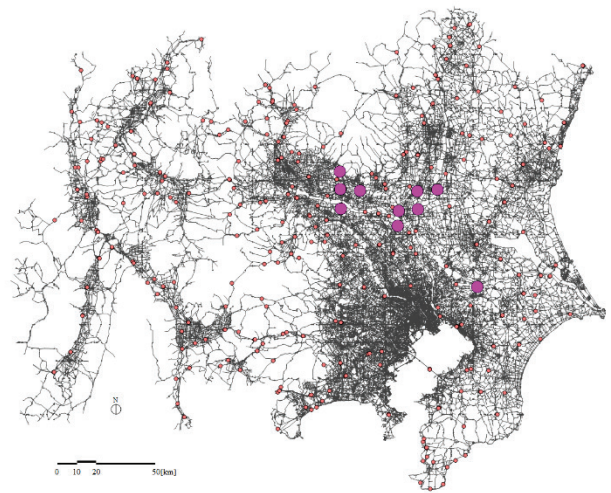


(b) 既存施設+5箇所



(c) 既存施設+10箇所

図-1  $p$ -メディアン型における最適配置



(c) 既存施設+10箇所

図-2 フロー捕捉型における最適配置