

# 多様な機能展開を想定した 「道の駅」最適配置効果の検証

本間 裕大<sup>1</sup>・甲斐 慎一郎<sup>2</sup>・堀口 良太<sup>3</sup>・佐野 可寸志<sup>4</sup>・大口 敬<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) 東京大学 准教授 生産技術研究所/工学系研究科建築学専攻  
(〒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 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒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 博士(工学) 株式会社アイ・トランスポート・ラボ  
(〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 3-10)  
E-mail: rhoriguchi@i-transportlab.jp

<sup>4</sup>正会員 博士(工学) 長岡技術科学大学 教授 環境社会基盤工学専攻  
(〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)  
E-mail: sano@nagaokaut.ac.jp

<sup>5</sup>フェロー会員 博士(工学) 東京大学 教授 生産技術研究所/工学系研究科社会基盤学専攻  
(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)  
E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.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、近隣需要と広域需要、あるいは平常時と災害時など、多様な利用者や機能展開を明示的に考慮したうえで、広域関東圏における「道の駅」多目的最適配置について評価を試みる。異なる需要想定や評価基準のトレードオフ関係を勘案しながら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。2021年現在、対象地域（1都11県）には270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求解結果と比較することは有用と考える。

**Key Words:** *Michi-no-eki roadside stations, Locational analysis, Multi-objective optimization, Mixed-integer programming, Greater Kanto region*

## 1. はじめに

本研究では、混合整数計画法に基づき、多様な利用者や機能展開を想定した上で、広域関東圏（1都11県）における「道の駅」の多目的最適配置について論ずる。

1993年の登録開始以来、「道の駅」は多様な利用者や機能展開が求められてきた<sup>1)</sup>。道路利用者に対する休憩の場はもちろん、近隣住民に対する交流の場、利用者全般への情報発信の場としての機能も期待されている。このような機能に加えて、近年では、多発している災害発生時に、緊急物資のデポ機能やボランティア活動の拠点としての機能も求められつつある<sup>2)</sup>。

しかしながら、国土交通省は「道の駅」の登録が主な

目的であり、設置自体は各地方自治体と道路管理者が連携して行うことから、「道の駅」の配置に偏りが生じている地域の存在も否定できない。前述のように「道の駅」には多様な利用者や機能展開が期待されていることを踏まえ、その複合的観点を勘案しながら、社会的に望ましい「道の駅」配置を検証することが重要である。

「道の駅」の利用実態に着目した研究ならば、例えば伊勢ら<sup>3)</sup>による地域福祉機能の調査など、いくつかの先行研究を挙げることができる。また、「道の駅」の立地と利用者行動との関係に着目した研究などもなされている<sup>4)</sup>。一方で、本論文のように「道の駅」の最適配置を正面から取り扱った研究は見当たらない。「道の駅」のあり方検討の基礎資料としても、様々な要因を勘案した

最適配置を求めておくべきである。

このような都市における施設配置は、混合整数計画法に基づく最適配置理論として、主に地理学分野やオペレーションズ・リサーチ分野でも活発な議論が行われているものである<sup>9)</sup>。そこで本研究では、広域需要や近隣需要といった利用者、さらには平常時・災害時といった機能展開など、様々な状況を勘案した、広域関東圏における「道の駅」の最適配置評価を試みる。複数の目的関数を設定した上で、それらの単一目的最適配置を求めるのみならず、トレードオフ関係を包含した多目的最適配置も追及する。1都11県に及ぶ広域関東圏に対し、詳細地理情報データを活用した分析を行ったことによって、現実的な施策立案のための基礎資料として有用と考える。

## 2. 導出する数理最適配置の設定

本論文が目指す最適化の方向性をまとめる。なお、以降、特に断りのない限り、施設とは、「道の駅」のことを指すものとする。本研究では、最適配置を検討するに当たり、以下の4観点の組み合わせに基づき、最適配置の分析を行う。

### (1) 利用者の設定（近隣需要・広域需要）

利用者としては、地元住民と道路利用者の2種類を想定する。地元住民に相当する近隣需要では、需要点と施設との往復移動を想定する。一方で、道路利用者を想定する広域需要では、需要として、異なる2点間の移動を想定し、その間に施設へと立ち寄る移動を想定する。

### (2) 機能展開の設定（平常時・災害時）

次に機能展開について整理する。平常時は、全ての施設が開いていることが期待できるため、近隣需要・広域需要とも最もアクセスの良い最寄施設を利用できることが自然である。一方で、災害時には、施設自体がダメージを受け、あるいはアクセスする道路がダメージを受け、いくつかの施設が利用できないことが想定される。そこで、本研究では、頑健性の観点から各需要がアクセス性の良い施設を複数あることを重視し、二番目にアクセス性の良い施設（以下、二次近隣施設と呼ぶ）に着目した分析も行う。

### (3) 評価指標の設定（所要時間・カバー率）

アクセス性に基づく最適配置の評価指標について整理する。具体的な評価指標としては、総所要時間の最小化と、カバー率の最大化の2つを準備する。総所要時間の最小化を目的とする場合は、全ての需要に対し施設までのアクセス時間を計算し、その総和を最小化するような

施設配置を検討する。カバー率最大化の場合は、アクセス時間に対してある閾値を設定し、各需要がカバーされているか否かを判定する。

### (4) 多目的最適配置

以上それぞれの条件で、単一目的最適配置を導出するが、加えて本研究では各目的関数のいくつかを組み合わせた多目的最適配置も導出する。

## 3. 数理最適化問題の整理

### (1) 総所要時間を最小化する最適配置導出

まず、施設へアクセスする際の総所要時間を最小化する施設配置を求める数理最適化問題を述べる。定式化は以下の通りである：

$$\min. \quad \sum_i \sum_{k \in K} w_i t_{ik} x_{ik} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$z_k \geq x_{ik} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} z_k = p \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K_E} z_k = q \quad (5)$$

$$z_k, x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (6)$$

<添字・集合>

$i, I$  各需要の添字・集合

$k, K$  施設候補点の添字・集合

$K_E$  既存施設の集合 ( $K_E \subseteq K$ )

<パラメータ>

$p$  配置する総施設数

$q$  継続して利用する既存施設数

$t_{ik}$  需要*i*から施設候補点*k*へのアクセス時間

$w_i$  需要*i*の需要量

<決定変数>

$z_k$  施設候補点*k*に配置するか(1)否か(0)

$x_{ik}$  需要*i*の最寄施設が施設候補点*k*のとき(1), それ以外は(0)

本数理最適化問題は、与えられた候補点集合*K*から最も適切な*p*箇所の施設配置点を選択するものであり、そのとき継続して利用する既存施設数は*q*箇所とする。定式化は需要の解釈を変更することによって、近隣需要・広域需要の双方に対応するよう定式化してある。本数理最適化問題は、*p*メデアン問題<sup>9)</sup>、および立寄フロー捕捉問題<sup>7)</sup>を一部修正・統合した定式化となっている。

### (2) 総需要カバー率を最小化する最適配置導出

次に、アクセスできる施設への所要時間に閾値が存在

するときに、総需要のカバー率を最大化する施設配置を求める数理最適化問題を述べる。定式化は以下の通り：

$$\max. \sum_i w_i h_i \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K} a_{ik} z_k \geq h_i \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_k z_k = p \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K_E} z_k = q \quad (10)$$

$$z_k, h_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (11)$$

<パラメータ>

$a_{ik}$  各需要*i*から施設候補点*k*までのアクセス時間が閾値以下ならば(1), そうでなければ(0)

<決定変数>

$h_i$  需要*i*がカバーされるか(1), 否か(0)

目的がカバー率最大化となった以外の想定は、本章(1)節と同じであるが、本数理最適化問題では需要と利用施設との関係を変数 $x_{ik}$ を用いて記述する必要がないことが知られており、代わりに需要がカバーされるか否かを変数 $h_i$ で記述する。この数理最適化問題は、最大カバー問題<sup>8)</sup>を一部修正・統合した定式化となっている。

### (3) 二次近隣施設に着目した最適配置への一般化

本研究では、第2章(2)節で述べたように防災観点から二次近隣施設に着目した最適配置も検討する。

所要時間最小化問題の場合、二次近隣施設へ着目した数理最適化問題の記述は、以下の通り拡張される：

$$\min. \sum_i \sum_{k \in K} w_i t_{ik} y_{ik} \quad (12)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (14)$$

$$z_k \geq x_{ik} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (15)$$

$$z_k \geq y_{ik} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{k \in K} t_{ik} x_{ik} \leq \sum_{k \in K} t_{ik} y_{ik} \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$\sum_{k \in K} z_k = p \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K_E} z_k = q \quad (18)$$

$$z_k, x_{ik}, y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (19)$$

<決定変数>

$y_{ik}$  需要*i*の二次近隣施設が施設候補点*k*のとき(1), それ以外は(0)

最寄施設に対応する変数が $x_{ik}$ , 二次近隣施設に対応する変数が $y_{ik}$ であるが、それぞれの制約式が併記されていることが確認できる。制約条件(16)式が最近隣施設と二次近隣施設の順序関係を記述するものとなる。一方で、カバー率最大化モデルでは、ある閾値以下の施設が2つ以上あればカバーされるよう、制約条件(8)式の右辺を2倍した以下に、置き換えるだけで良い：

$$\sum_{k \in K} a_{ik} z_k \geq 2h_i \quad \forall i \in I \quad (8')$$

以上が、防災観点として二次近隣施設に着目した数理最適化問題の整理となる。

## 4. 分析結果

### (1) 分析に用いたデータ

第3章のモデルを広域関東圏における「道の駅」多目的最適配置評価へと適用する。今回は福島県・茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県・新潟県・山梨県・長野県・静岡県の1都11県を対象とした。道路ネットワーク・所要時間の算定にあたっては、アイ・トランスポート・ラボ社<sup>9)</sup>製の広域交通流シミュレーターSOUNDを用いて、日本デジタル道路地図協会のDRM-DB3103版を基に、道路リンクの交通容量や自由流速度等を設定した道路ネットワークを作成の上、シミュレーション結果から所要時間を算定した。

近隣需要・広域需要それぞれに対応する需要について

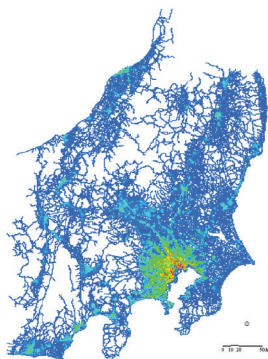


図-1 想定した近隣需要

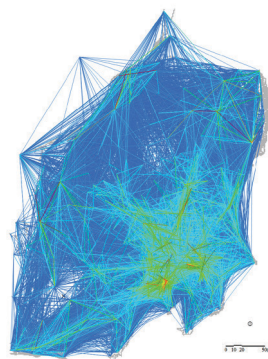


図-2 想定した広域需要

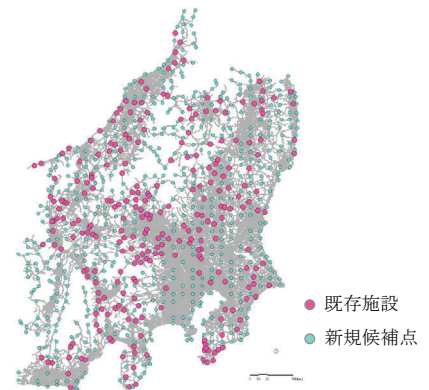


図-3 既存施設配置と新規候補点

表-1 10施設の再配置を前提とした単一目的最適配置における各指標

最適化モデル 性能指標	現状	平常時（最寄施設）				災害時（二次近隣施設）			
		近隣需要		広域需要		近隣需要		広域需要	
		(a)所要時間	(b)カバー率	(c)所要時間	(d)カバー率	(e)所要時間	(f)カバー率	(g)所要時間	(h)カバー率
(i) 近隣・最寄・時間[分]	32.23	<b>17.55</b>	17.92	19.52	19.70	18.17	18.12	18.90	19.17
(ii) 近隣・最寄・カバー[%]	55.70	88.45	<b>90.64</b>	87.08	85.97	85.63	86.64	86.81	85.73
(iii) 広域・最寄・時間[分]	29.75	14.13	13.83	<b>13.31</b>	15.43	14.33	14.72	13.82	14.27
(iv) 広域・最寄・カバー[%]	59.08	75.31	75.64	75.69	<b>76.27</b>	75.08	75.02	75.46	75.62
(v) 近隣・二次・時間[分]	45.44	30.95	31.08	33.35	34.55	<b>28.85</b>	29.58	30.49	30.29
(vi) 近隣・二次・カバー[%]	28.05	55.38	51.02	39.01	36.97	61.53	<b>63.95</b>	53.44	54.19
(vii) 広域・二次・時間[分]	43.48	24.41	23.89	23.22	27.92	23.26	24.24	<b>22.40</b>	23.04
(viii) 広域・二次・カバー[%]	43.10	67.25	69.09	67.87	63.50	68.32	67.77	69.64	<b>70.02</b>

表-2 10施設の再配置を前提とした多目的最適配置における各指標

	現状	(a)所要時間	(b)カバー率	(c)近隣需要	(d)広域需要	(e)平常時	(f)災害時	(g)全指標	単一目的
(i) 近隣・最寄・時間[分]	32.23	17.71	17.90	17.71	18.63	17.61	17.71	<b>17.71</b>	<b>17.55</b>
(ii) 近隣・最寄・カバー[%]	55.70	88.19	88.16	88.19	87.34	88.78	88.19	<b>88.19</b>	<b>90.64</b>
(iii) 広域・最寄・時間[分]	29.75	14.06	14.10	14.07	13.70	13.58	14.06	<b>14.06</b>	<b>13.31</b>
(iv) 広域・最寄・カバー[%]	59.08	75.43	75.40	75.42	75.77	75.65	75.43	<b>75.43</b>	<b>76.27</b>
(v) 近隣・二次・時間[分]	45.44	29.04	29.38	29.03	30.92	30.75	29.03	<b>29.03</b>	<b>28.85</b>
(vi) 近隣・二次・カバー[%]	28.05	61.03	61.03	61.04	51.03	53.03	61.04	<b>61.04</b>	<b>63.95</b>
(vii) 広域・二次・時間[分]	43.48	23.01	23.02	23.02	22.34	23.23	23.01	<b>23.01</b>	<b>22.40</b>
(viii) 広域・二次・カバー[%]	43.10	69.00	69.03	68.98	69.53	68.62	69.00	<b>69.00</b>	<b>70.02</b>

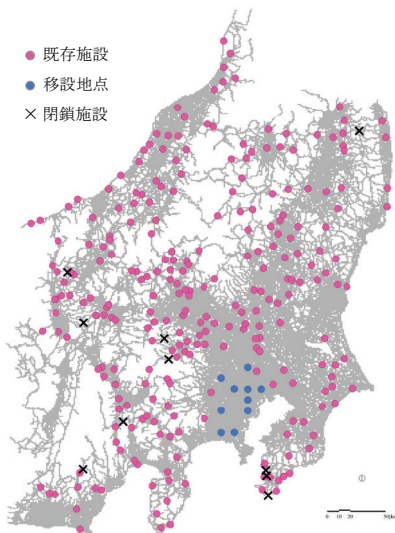


図-4 全指標考慮の多目的最適配置  
(10施設の再配置)

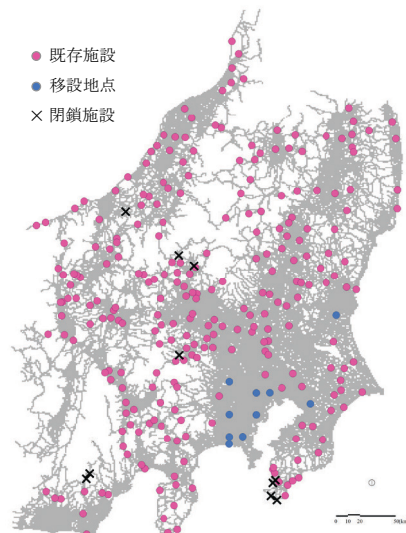


図-5 広域需要考慮の多目的最適配置  
(10施設の再配置)

説明する。まず近隣需要としては、対象地域内の1kmメッシュを各需要点と見做し、計47,340メッシュを取り扱う(図-1)。一方、広域需要としては、対象地域を通過するODペアのうち、所要時間が1時間を超えるものを道路交通センサスのBゾーン間の移動と見做し、計45,868ペアを準備した(図-2)。

最後に施設候補点については、既に存在する1都11県の「道の駅」268箇所、仮想候補点として10kmメッシュ単位で548箇所を追加し計816箇所準備した(図-3)。

(2) 分析結果

ほとんどの既存施設はそのまま活用し、10施設のみ

新規箇所へと移設させる現実的な分析結果を示す。表-1示したものが、単一目的最適化の結果である。これを確認すると、高々10施設の移設のみでも現状に比べれば大きく指標を向上させ得ることが判明する。事実、10施設を移設する単一目的最適化(表-1の対角線部分に対応)の性能向上比も58.5%に及ぶ。このことから一部施設のみを移設させるだけで、多様な機能展開に対し「道の駅」全体として十分に社会最適な方向へと誘導できる可能性が判明する。

表-2では多目的最適配置の結果を整理した。やはり注目すべきは(g)列の全8指標の同時最適化結果である。参考値として示した右の単一目的・最適値に近い性能が

担保できていることが見て取れる。単一目的最適化に対する多目的最適化の性能差は平均 24%のギャップで抑えられている。多目的最適配置による求解は、少ない施設数のみを最適化する場合でも、十分に効果があることが明らかとなった。

全指標を考慮した多目的最適配置に基づき、10 施設移設した結果を図-4 に示す。これを見ると、東京を含め、大都市近郊に移設すべきという計算結果が得られていることが判明する。これまでのような道路利用者中心の場合は、半ば意図的に「道の駅」は大都市部に設置されてこなかったが、より多様な利用者と機能展開を前提とするならば、いくつかの施設は大都市近郊に設置することも検討の余地がある。

最後に、広域需要に関係した指標の多目的最適配置で、10 施設を移設した結果を図-5 に示す。これを見ると、いくつかの施設が大都市部に残りつつも、特に茨城県を中心に、より広範囲に施設が移設されていることが見て取れる。また、複数の廃止施設が千葉県にあることも確認された。このように、いくつかの「道の駅」を最適配置することによって、様々な要因を総合的に勘案しつつ、地域間の偏りも緩和できる可能性が示された。

## 6. まとめ

本研究では、多様な利用者や機能展開を想定した上で、広域関東圏（1都11県）における「道の駅」の多目的最適配置について、混合整数計画法に基づく分析を行った。本研究の新規性として、現実的な大規模地理情報データに基づき、多様な要因を勘案した最適配置が導出できることを明らかにした点が挙げられる。いくつかの施設のみの移転を前提とした分析を実施し、数少ない施設を適切に再配置するだけで、評価指標を十分に向上させられることも明らかにした。多目的最適配置によって、複数指標をバランスよく向上させられることも確認した。

今後の展望として、「道の駅」のどのような機能に対

する需要がどこにあるかは、引き続き丁寧に精査する必要がある。また、道の駅を新しく設置するためには広大な敷地が必要であり、当該箇所の地価なども考慮に入れた分析へと展開する必要がある。

**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) 秋山聡, 小宮隆之: 「道の駅」の多様な機能展開について, JICE report, Vol.35, pp.22-29, 2019.
- 2) 東佑亮: 「道の駅」第 3 ステージの提言—「地方創生・観光を加速する拠点へ」—, 国際交通安全学会誌, Vol.45-1, pp.18-22, 2020.
- 3) 伊勢昇, 湊絵美: 「道の駅」における地域福祉機能の利用実態と需要に関する研究, 交通工学論文集, Vol.4-1, pp.A\_64-A\_70, 2018.
- 4) 竹内岳, 高橋貴生, 佐野可寸志, 鳩山 紀一郎, 松田曜子: 道の駅の立地及び施設特性に着目した利用後の周遊行動分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76-5, pp.I\_603-I\_608, 2021.
- 5) 貞広幸雄 他: 空間解析入門, 朝倉書店, 2018.
- 6) Revelle CS, Swain R.: Central facilities location, Geographical Analysis, Vol.2, pp.30-42, 1970.
- 7) Hodgson MJ. A flow capturing location allocation model, Geographical Analysis, Vol.22, pp.270-279, 1990.
- 8) Church R, ReVelle CS: The maximal covering location problem, Papers of the regional science association, Vol.32-1, pp.101-118, 1974.
- 9) アイ・トランスポート・ラボ: 公式ページ, (2021 年 6 月 15 日閲覧), <https://www.i-transportlab.jp/>

(2021.10.01受付)