

# マルチモーダル均衡配分モデルに基づく 歩行者専用道路の最適配置

村上 颯一郎<sup>1</sup>・大山 雄己<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 芝浦工業大学大学院 社会基盤専攻 (〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 09-I-32)

E-mail: mh21503@shibaura-it.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 芝浦工業大学 工学部土木工学科 (〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 09-I-32)

E-mail: oyama@shibaura-it.ac.jp

本研究では、自動車混雑への影響を明示的に考慮した歩行者道路ネットワークの最適設計手法を提案する。まず、車両ネットワークと歩行者ネットワークを統合したマルチモーダルネットワークを基に、マルチモーダル均衡配分モデルを構築する。マルチモーダル均衡配分モデルによる交通量配分に基づき、どのような組み合わせで道路を歩行者専用道路化とすべきかを決定する最適化問題として定式化し、焼きなまし法を用いて解く。このネットワーク設計問題を、車両と歩行者の錯綜が主要観光街路で問題視されている川越市の中心市街地ネットワークに適用した。本研究のモデルは、政策目標を達成するための歩行者道路ネットワークの最適なパターンを求める。

**Key Words:** *Street space redistribution, Pedestrian network design, Multimodal equilibrium assignment, Kawagoe*

## 1. はじめに

### (1) 背景と目的

都市再生の文脈において、自動車主体から歩行者主体の街路空間の創出が重要視されており、道路整備の見直しや街路空間再配分の動きがみられる。歩行者主体の街路空間の創出によって歩行者の移動が快適化され、歩行者交通量の増加が見込まれる。

例えば京都府京都市では歩行者空間の創出を目的に四条通りを対象に、岩手県平泉町では観光地や歴史的な街並みの沿道整備を目的に中尊寺通りを対象に街路再配分が行われた。このように実際の街路空間再配分の事例では、予め選定された1つの通りを対象に政策が実施されることが多い。<sup>1)</sup> 一方、スペインのバルセロナ市による Super Block Project では、スーパーブロックと呼ばれる約 400m × 400m の区間を対象に、ブロック内すべての街路を歩行者優先空間化するまちづくりを計画している。503 個のスーパーブロック設置による効果として、排気ガスの削減などの環境改善や歩行量の増加による年間死亡者数の減少・平均寿命の増加などの予測が算出されている (Mueller et al. 2020)<sup>2)</sup>。

歩行者主体の街路空間再配分は歩行者にとって安全・快適で魅力的な空間を生み出す一方で、自動車交通の利便性を低下させ、市街地における渋滞を引き起こす可能性がある。様々な都市で街路空間再配分政策を導入していくためには、自動車・歩行者の交通量を予測

し、自動車の渋滞を発生させずに歩行者の快適性にとって最も効果的な街路を適切に選定していく必要がある。

そこで本研究では、自動車交通量への影響を明示的に考慮した歩行者街路網の最適な設計手法を提案する。自動車・歩行者のネットワークを統合したマルチモーダルネットワークを基本とした均衡配分モデル (以下: マルチモーダル均衡配分モデル) を構築する。マルチモーダル均衡配分モデルによる交通量予測を下敷きに、歩行者専用化すべき道路の組み合わせを決定する最適化問題を定式化する。この二段階最適化問題 (ネットワークデザイン問題) を、主要な観光動線での自動車・歩行者の錯綜が以前から問題視されている川越市市街地を対象に適用し、最適な歩行者街路網のパターンと明らかとすることを目的とする。

### (2) 既往研究の整理と本研究の位置付け

上述の Super Block Project では、スーパーブロックの設置は 400m グリッドを単位とする一律のもので、歩行者優先化すべき街路の選定は最適化されていない。ネットワークの最適化について、交通需要モデルを下敷きに利用者行動を明示的に考慮して行う研究をネットワークデザイン問題 (Network Design Problem, 以下: NDP) と呼ぶ。NDP は多くの研究蓄積を持つものの、歩行者ネットワークを対象とする研究は世界的に見ても少ない。

大山・羽藤 (2017)<sup>3)</sup> は、歩行者の経路、活動場所、活

動時間の統合的な選択モデルによる活動需要評価を下敷きに、歩道を拡幅すべき街路の組み合わせ、および街路ごとの拡幅幅を最適化した。平均滞在時間と総期待効用を目的関数とし、予算制約を考慮した多目的最適化問題を解くことによって、パレート解集合として政策のヴァリエーションを提示している。ただし、歩行者のみを対象とした NDP であり、歩行者空間化が自動車交通量に与える影響は考慮していない。

NDP の中でも、複数の交通モードの影響をマルチモーダルネットワークを用いる研究はマルチモーダルネットワークデザイン問題 (Multi Modal Network Design Problem, 以下: MMNDP) に分類される。徒歩移動と同様に低速な交通手段である自転車を 1 つのモードとして考慮した研究<sup>4)</sup> や AMWs (accelerating moving walkways) を対象にした研究<sup>5)</sup> は行われているものの、MMNDP においても、歩行者ネットワークを対象とする研究は少なく、Wu et al.(2005)<sup>6)</sup> は自動車・歩行者・公共交通の 3 つのマルチモーダルネットワークに基づく均衡配分モデルを用いて、車線単位での歩行者専用道路の決定問題を MMNDP として定式化した。しかし、香港の 1 つの通り (5 つの街路) のみを対象としており、スケールが限定的な MMNDP にとどまっている。

本研究では、自動車・歩行者の 2 種類のモードを含む MMNDP を市街地スケールのネットワークを対象に定式化する。従前では未だに行われていない市街地規模での歩行者を対象にした MMNDP を提示し、実際の都市ネットワークへの適用する点が、本研究の新規性である。

## 2. 研究のフレームワーク

本研究では、マルチモーダル均衡配分モデルを下位問題とし、歩行者専用道路配置の決定問題を二段階最適化問題として解く。二段階最適化問題では上位問題と下位問題は互いに作用し合い最適解へと導く。ネットワークの変更は、均衡配分モデルにおいて交通量を変化させる。そのマルチモーダル均衡配分モデルによって算出された交通量はネットワークの組み合わせに影響を与え、ネットワークを変化させる。

### (1) 下位問題：マルチモーダル均衡配分

下位問題では、自動車・歩行者の 2 種類のモードそれぞれのネットワークと、2 モード間を結ぶ駐車場リンクを含むマルチモーダルネットワーク上で均衡配分モデルを構築する。まずリンクごとに一般化費用  $c_a$  を割り当てる。旅行者は、一般化費用が最小となるような経路を選択する。例えば、図-1 のように経路を選択する場合は 2 つの自動車リンクを通り、駐車場リンク

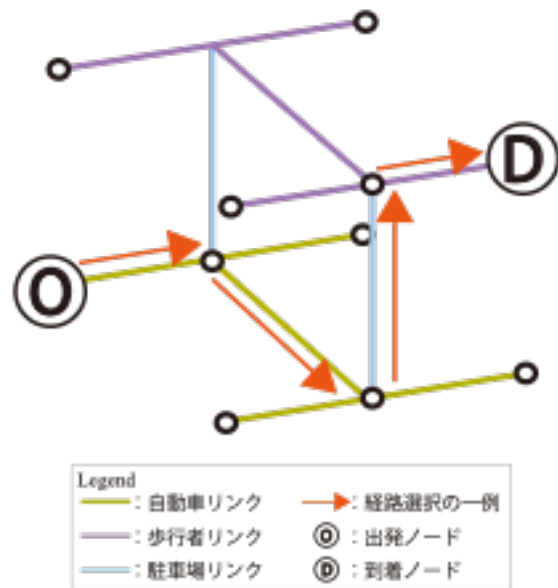


図-1 経路選択の一例

を通過し、1 つの歩行者リンクを通り目的地に到着することになる。

求められる均衡状態においては、同じ OD の旅行者に選択される (交通量が流れる) 全ての経路の一般化費用は皆等しく、利用されていない経路の一般化費用よりも小さいか、せいぜい等しい (Wardrop の第一原則)。一般化費用は交通量に依存し、混雑効果 (交通量増加によるリンク旅行時間の増加) が表現される。本研究ではマルチモーダルネットワーク上での利用者均衡配分として (1) 式の等価な最適化問題を解いていく (土木学会, 1998<sup>7)</sup>) 。

$$\text{minimize} \quad \sum_a \int_0^{x_a} c_a(\omega) d\omega \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - Q_{rs} = 0 \quad \forall rs \in \Omega$$

$$x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in K_{\Omega}} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall a \in A$$

$$x_a > 0, f_k^{rs} > 0$$

(1) 式を Frank Wolfe 法にて以下のステップで解き、均衡配分を行う。

step1. 初期実行可能解の設定

収束回数  $n=1$  として初期実行可能解となるリンク交通量  $x_a^{(n)}$  を与える。

step2. リンクコストの更新

$x_a^{(n)}$  に対する一般化費用  $c_a(x_a^{(n)})$  を計算する。

step3. 降下方向の探索

各 OD 間ごとに一般化費用が最小となる経路を求める。その最短経路に各 OD 間の前交通需

要を負荷する all-or-nothing 法により  $y_a$  を求める。

step4. 次元探索

$x_a^{(n+1)} = \alpha y_a + (1-\alpha)x_a^{(n)}$  とおく。  $y_a$  と  $x_a^{(n)}$  は定数なので、目的関数式 (1) 式に  $x_a^{(n+1)}$  を代入し  $Z(x_a^{(n+1)}) = Z(\alpha)$  を得る。  $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$  の次元探索によって  $Z(\alpha)$  を最小にするステップサイズ  $\alpha$  とそのリンク交通量  $x_a^{(n+1)}$  を求める。

step5. 収束判定

あらかじめ設定した  $\varepsilon$  に対して、

$$\max_a \left| \frac{x_a^{(n+1)} - x_a^{(n)}}{x_a^{(n)}} \right| \leq 0.01$$

を満足するならば、計算を終了する。 そうでなければ、  $n=n+1$  において step2 へ戻る。

## (2) 上位問題：歩行者専用道路の最適配置問題

### a) 設計変数

ネットワーク変更のための設計変数  $\varphi$  を設定する。 設計変数  $\varphi$  は次式で定義する。

$$\varphi = \begin{cases} 1 & \text{歩行者専用道路化を行う} \\ 0 & \text{歩行者専用道路化を行わない} \end{cases}$$

全ての道路を対象に歩行者専用道路にする (= 1), しない (= 0) の値を定義する。 本研究では、市街地単位のネットワークを対象としているため、とりうるネットワークの組み合わせは非常に多い。 ある道路車道ごと設計変数  $\varphi=1$  が割り当てられた場合、その道路は完全に歩行者専用道路になることを意味する。 つまり、両側通行の道路の場合はその道路として定義される 2 つのリンクに同じ値の設計変数が割り当てられる。(図-2)

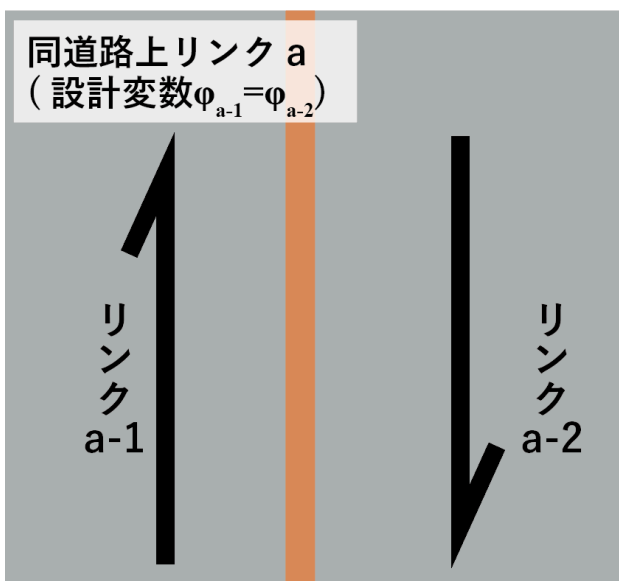


図-2 設計変数の割り当て

### b) 目的関数の設定

本研究では、評価指標を 4 つ ( $Z_1 \sim Z_3$ ) 設け、それぞれの評価を価値換算した合計 ( $Z$ ) を目的関数として設定した (式 2)。

$$\max Z = \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \gamma_3 Z_3 \quad (2)$$

$\gamma$ : 重みづけパラメータ

評価指標は、自動車と歩行者の錯綜量 ( $Z_1$ )、総所要時間 ( $Z_2$ )、自動車の総走行距離に基づく CO2 排出 ( $Z_3$ ) とし、以下 (3) (5) 式で定式化を行う。

$$Z_1 = \sum_a x_a \cdot t_a \cdot (x_b / C_b) \cdot d_a \cdot \nu \quad (3)$$

$x_a$ : 歩行者モード上リンク  $a$  での交通量

$x_b$ : リンク  $a$  と同道路上、

自動車モードリンク  $b$  の交通量

$t_a$ : リンク  $a$  での所要時間

$C_b$ : リンク  $b$  の交通容量

$d_a$ : リンク  $a$  の歩車分離のダミー変数

(分離 = 0, 分離していない = 1)

$\nu$ : 時間価値

歩車分離されていない街路の歩行者所要時間に対して同道路上の自動車混雑度を用いて補正をかけることで、歩行者と自動車の錯綜量と定義する。

$$Z_2 = \nu \sum_a x_a \cdot t_a \quad (4)$$

$\nu$ : 時間価値

$\delta$  は、国土交通省 (2018)<sup>8)</sup> から、乗用車の時間価値である 39.60[円/分]、歩行者の時間価値である 25.64[円/分] を用いた。

$$Z_3 = \sum_a L_a \cdot x_a \cdot I_{CO_2} \cdot E_{CO_2} \quad (5)$$

$L_a$ : リンク  $a$  のリンク長

$I_{CO_2}$ : CO<sub>2</sub> 排出係数原単位

$E_{CO_2}$ : 自動車の CO<sub>2</sub> 排出量

$I_{CO_2}$  は土肥ら (2012)<sup>9)</sup> から、126.3[kg/m]、 $E_{CO_2}$  は国土交通省 (2007)<sup>10)</sup> から、3.6[円/kg] を用いた。

## 3. 解法アルゴリズム

前章で定義した二段階最適化問題を、ヒューリスティックな手法として代表的な焼きなまし法 (Simulated Annealing 以下: SA)<sup>11)</sup> を用いて解く。 SA では、改悪解を確率的に受理 (図-3:STEP3) することで局所最適解からの脱出を試みる手法である。 本研究では、解の

更新においてネットワーク情報を用いて近傍構造を定義する。SA のフローを図-3 に示す。

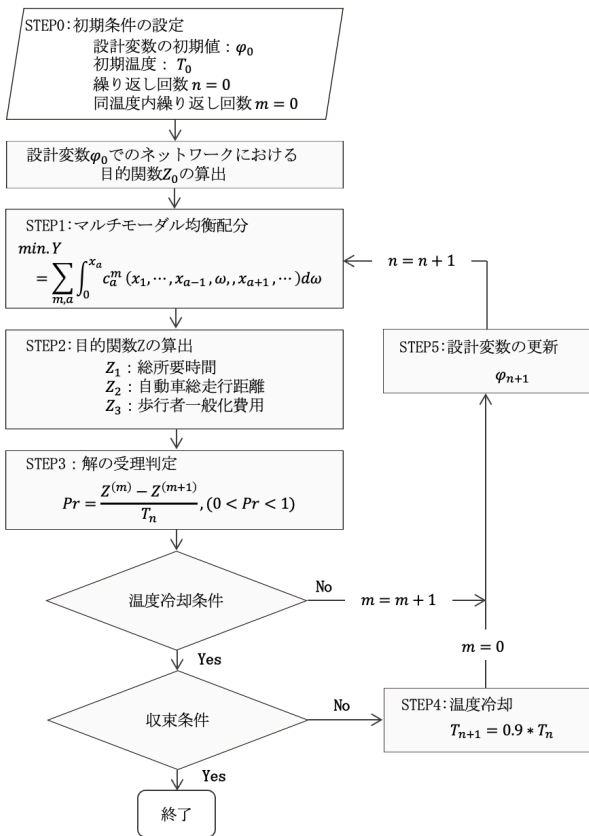


図-3 焼きなまし法 (SA) のフロー

以下、SA でのパラメータ設定を行ったフローについて具体的に説明する。

**(1) 設計変数の更新**

近傍構造として以下の a~d の 4 つを定義し、設計変数を更新する。

**a) ランダム選択**

道路集合 (1 つの道路として両方向リンクを含む) から、ランダムに道路を 1 つ選択し、設計変数を反転させる。

**b) 歩行者専用道路延伸選択**

現段階での最適解であるネットワークにおいて、歩行者専用道路と接続する道路からランダムに 1 つ選択し、設計変数を 1 に更新する。

**c) 街路選択**

道路のつながりを考慮するために、以下のステップによって道路のあるまとまりを 1 つの街路として定義した。(図-4)

- step1. 信号のある交差点間ごとに街路として区切る。
- step2. step1 で区切った街路を方向数、方向が異なる場合区切る。

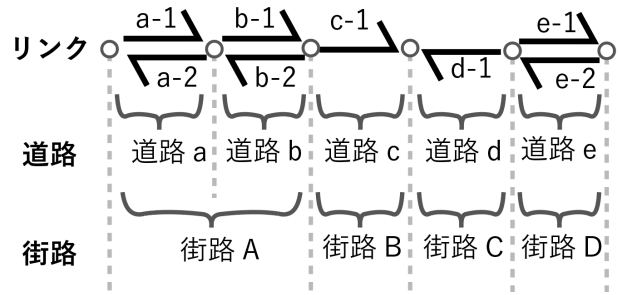


図-4 街路近傍の定義

step3. step2 で区切った街路をさらに街路長が 300m 未満となるように区切る。

このようにした区切られた街路からランダムで 1 つ選択する。選択した街路の設計変数を、0 か 1 の乱数を発生させその値とする。

**d) 交通量負担**

混雑度 (=交通量/交通容量) が最も小さい道路の設計変数を 1 に設定する。

**(2) 温度冷却**

近傍の大きさ (近傍に含まれる解の数) の平均を  $\bar{N}$  とする。同一温度内での繰り返し回数は、パラメータ *SIZEFACTOR*, *CUTOFF* によって制御される。同温度内で解を生成した回数が *SIZEFACTOR* \*  $\bar{N}$  を超えるか、同温度内で解が受理された回数が *CUTOFF* \*  $\bar{N}$  を超えた時に均衡に達したと判断し、温度を冷却する。

**(3) 収束条件**

同温度内での計算が終了時に、同温度内で解が受理された回数/同温度内で解を生成した回数がパラメータ *MINPERCENT* 以下になったら収束しているものと考え、収束回数 freeze を 1 だけ増やす。現在までの最適解が更新された場合は、収束回数 freeze を 0 に戻す。収束回数 freeze が収束条件 *FREEZELIM* に達したら、収束したとみなし終了する。

**4. ケーススタディ**

埼玉県川越市の中心市街地市街地を対象にケーススタディを行う。本研究は川越まつり交通規制マップ (2020)14) をもとに対象ネットワークの範囲を決定した。川越まつり (川越氷川祭) は国指定の重要無形文化財に指定されており、多くの来場者が自動車や鉄道などを利用して訪れる。自動車については、学校や市民グラウンドなどが臨時の駐車場として開場されるほどである。川越まつりの開催時は、中心市街地内に車両通行規制がかけられ歩行者専用空間が創出される。そのた

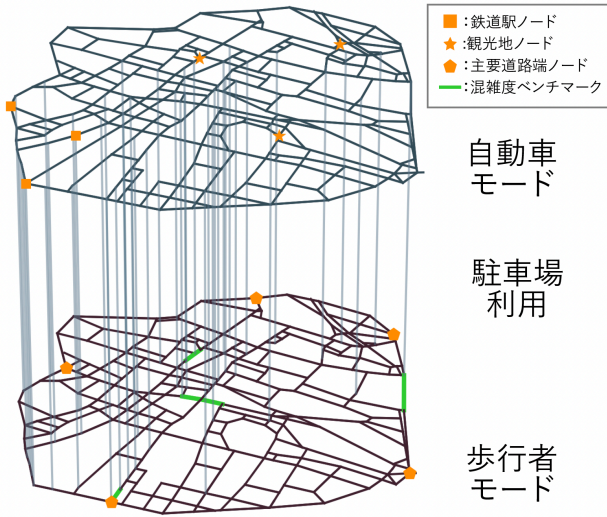


図-5 川越市中心市街地ネットワーク

め、歩行者専用空間の創出を目的とする本研究の対象スケールに相応しいと考えられる。北部に位置するくらぶりの街並みは観光動線となっており、歩行者観光客と自動車の錯綜が以前から指摘されている。

**(1) 一般化費用の設定**

一般化費用  $c_a^m$  は、自動車・歩行者モード及び2モード間を繋ぐ駐車場リンクごとに算出する。

**a) 自動車モード**

自動車モード上のリンク  $a$  の一般化費用  $c_a^{auto}$  は、交通容量が考慮される BPR 関数を用いて次の (6) 式にて算出される所要時間とする。

$$c_a^{auto} = t_a^{auto}(1 + \alpha_1(x_a^{auto}/C_a^{auto})^{\beta_1}) \quad (6)$$

$t_a^{auto}$  : 自動車モード上リンク  $a$  の自由所要時間

$x_a^{auto}$  : 自動車モード上リンク  $a$  の交通量

$C_a^{auto}$  : 自動車モード上リンク  $a$  の交通容量

パラメータ  $\alpha_1, \beta_1$  はそれぞれ、 $(\alpha_1, \beta_1) = (0.96, 1.2)$  と設定した。自由所要時間は、リンク長を速度 40[km/h] で除した値としている。

**b) 歩行者モード**

歩行者モード上のリンク  $a$  の一般化費用  $c_a^{walk}$  は、自由所用時間とする。

$$c_a^{walk} = t_a^{walk} \quad (7)$$

$t_a^{walk}$  : 歩行者モード上リンク  $a$  の自由所要時間

リンク長を速度 4.0[km/h] で除した値としている。

表-1 OD 交通量と再現性

	国道 254 号線	県道 12 号線
交通センサス <sup>12)</sup>	1.11	1.49
本研究	1.06	1.25

	県道 39 号線	観光道線
交通センサス <sup>12)</sup>	0.98	1.80
本研究	0.89	1.79

O	D	交通量
鉄道駅	→ 観光地	$1.7 \times 10^3$
主要道路端	→ 観光地	$1.5 \times 10^3$
観光地	→ 鉄道駅	$1.7 \times 10^3$
観光地	→ 主要街路端	$1.5 \times 10^3$
主要道路端	→ 主要道路端	$7.65 \times 10^5$

**c) 駐車場リンク**

2モード間をつなぐリンクを駐車場リンクとし、次の (8) 式<sup>13)</sup> を用いて算出する。

$$c_a^{park} = t_a^{park}(1 + \alpha_2(x_a^{park}/C_a^{park})^{\beta_2}) + F/f \quad (8)$$

$t_a^{park}$  : 駐車場リンク  $a$  の入庫所要時間

$C_a^{auto}$  : 駐車場リンク  $a$  の駐車可能台数

$F$  : 駐車場料金と地区内の最低駐車料金の料金差

$f$  : 駐車場料金に対する時間価値

駐車場料金に対する時間価値  $d$  及びパラメータ  $\alpha_2, \beta_2$  はそれぞれ、劉ら (1993)<sup>13)</sup> から、10.2[分/100 円]、 $(\alpha_2, \beta_2) = (2.62, 5.0)$  と設定した。

**(2) 川越市の中心市街地ネットワーク**

埼玉県川越市の中心市街地ネットワーク (図-5) を対象とし、歩行者専用道路の最適配置を考える。ネットワークデータは Open Street Map から取得した。道路幅員を川越市道路台帳から取得し、道路交通センサス (2015)<sup>12)</sup> の交通容量の算出方法に従い計算を行なった。交通容量算出のための、実際の交通量データを必要とする 2 車線道路と 4 車線道路の交通容量の補正率は、道路交通センサスデータ (2015)<sup>12)</sup> にて観測データが存在する国道 254 号線 (4 車線)、県道 12・39 号線 (2 車線) の補正率で計算を行った。

OD データは、表-1 のように設定した。観光地が起点・終点となる OD 交通量は、川越市観光アンケート<sup>14)</sup> による交通手段の回答データを割合を観光統計資料<sup>15)</sup> から取得した観光地ごと入込観光客数に適用して算出を行った。自動車交通量の再現性については、現状のネットワークにてマルチモーダル交通量配分を行い、図-5

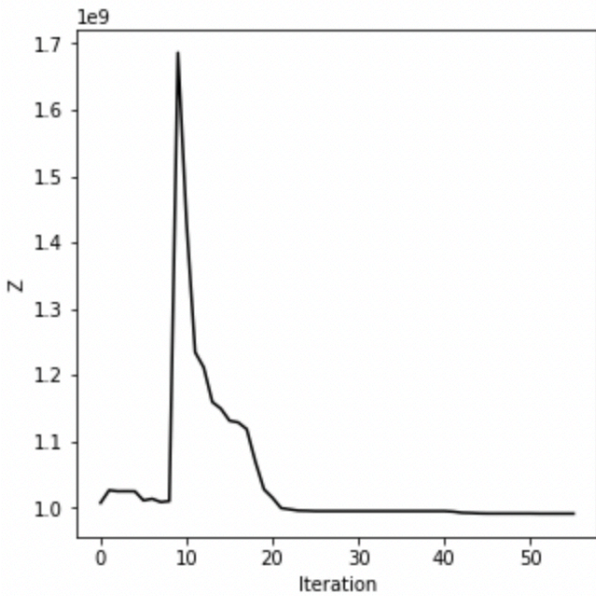


図-6 SA の収束過程

表-2 SA のパラメータ設定

	パラメータ値
初期温度 $T_0$	$5.0 \times 10^6$
近傍の大きさの平均 $\bar{N}$	420
<i>SIZEFACTOR</i>	0.5
<i>CUTOFF</i>	0.1
<i>FREEZELIM</i>	5

に示した混雑度ベンチマークとした道路の混雑度 (=交通量/交通容量) が道路交通センサデータ<sup>12)</sup> に近似させるように OD 交通量を設定した。道路交通センサデータと各ベンチマーク道路での混雑度の比較は表-1 の通りである。

### (3) 計算結果

以上の方法とネットワーク、OD 交通量に基づいてケーススタディを行った。SA のパラメータは表-3 の通りに設定した。本ケーススタディでは、目的関数の重みづけパラメータ  $\gamma = (1.0, 1.0, 15.0)$  に設定し自動車と歩行者の錯綜量に関する目的関数  $Z_3$  に重みづけを行う。

アルゴリズムの収束過程を図-6 に示す。SA の特徴である改悪な解を確率的な受容判定が行われながら収束へ向かっていることが示されている。

歩行者専用道路の最適配置結果を図-7 に示す。観光動線を含む通りが歩行者専用道路化された。観光エリア周辺が歩行者専用道路化される傾向があることがわかる。目的関数の比較を表-3 に示す。最適解ネットワークでは、自動車と歩行者の錯綜量が大きく減少した。こ

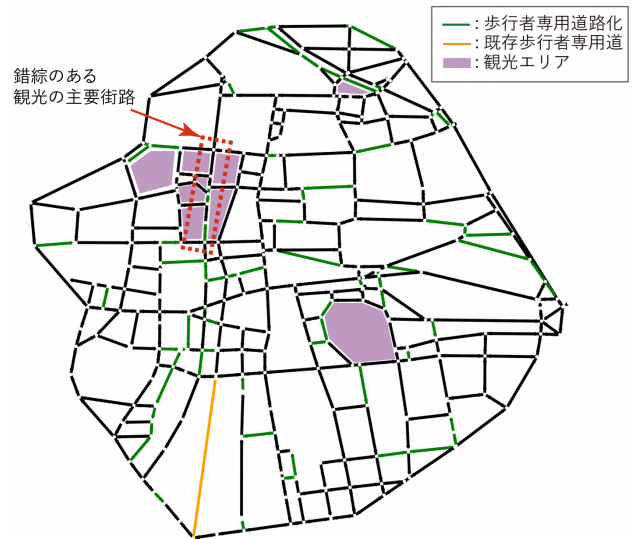


図-7 最適解ネットワーク

れは、歩行者交通量が多く歩車分離がされていない観光エリア周辺の街路が歩行者専用道路化されることにより錯綜量が大きく減少したことが要因であると考えられる。

また、通過交通量の需要が高い主要な観光動線が歩行者専用道路化されたことにより、主要観光動線が負担していた交通量が他の道路へ分散することにより容量制限により渋滞が発生し、結果として総所用時間の増加につながった。また、自動車の走行距離に基づく  $CO_2$  排出量は減少している。考えられる要因は、2つある。1つ目は、現状のネットワークでの最短経路が交通容量に大きく依存していたことが挙げられる。特に、観光動線は交通容量の約 1.8 倍の自動車が行っており渋滞の発生により自動車モードの一般化費用において所要時間を大きく増加させていた。しかし、最適解ネットワークでは、渋滞の発生により所要時間は現状ネットワークよりも要するが距離だけで比較した時に最短経路となる経路に交通量が多く流れたことが考えられる。2つ目は、自動車モードの一般化費用の増加により目的地に近い駐車場を選択する経路よりも徒歩のイグレス距離を長くする経路の方が一般化費用が小さくなったことが考えられるが、図-8 の歩行者モードの配分を結果から歩行者交通量が減少していることが明らかであるため今回の結果とは結びつかない。むしろ、観光主要動線が目的地となる交通では観光動線内にある駐車場を選択する経路が最もコストが優れた経路であり、主要観光動線の線的な歩行者空間の創出がされなかったことが均衡配分結果から考察することができる。このように、設定した指標において政策の効果が定量化されている。

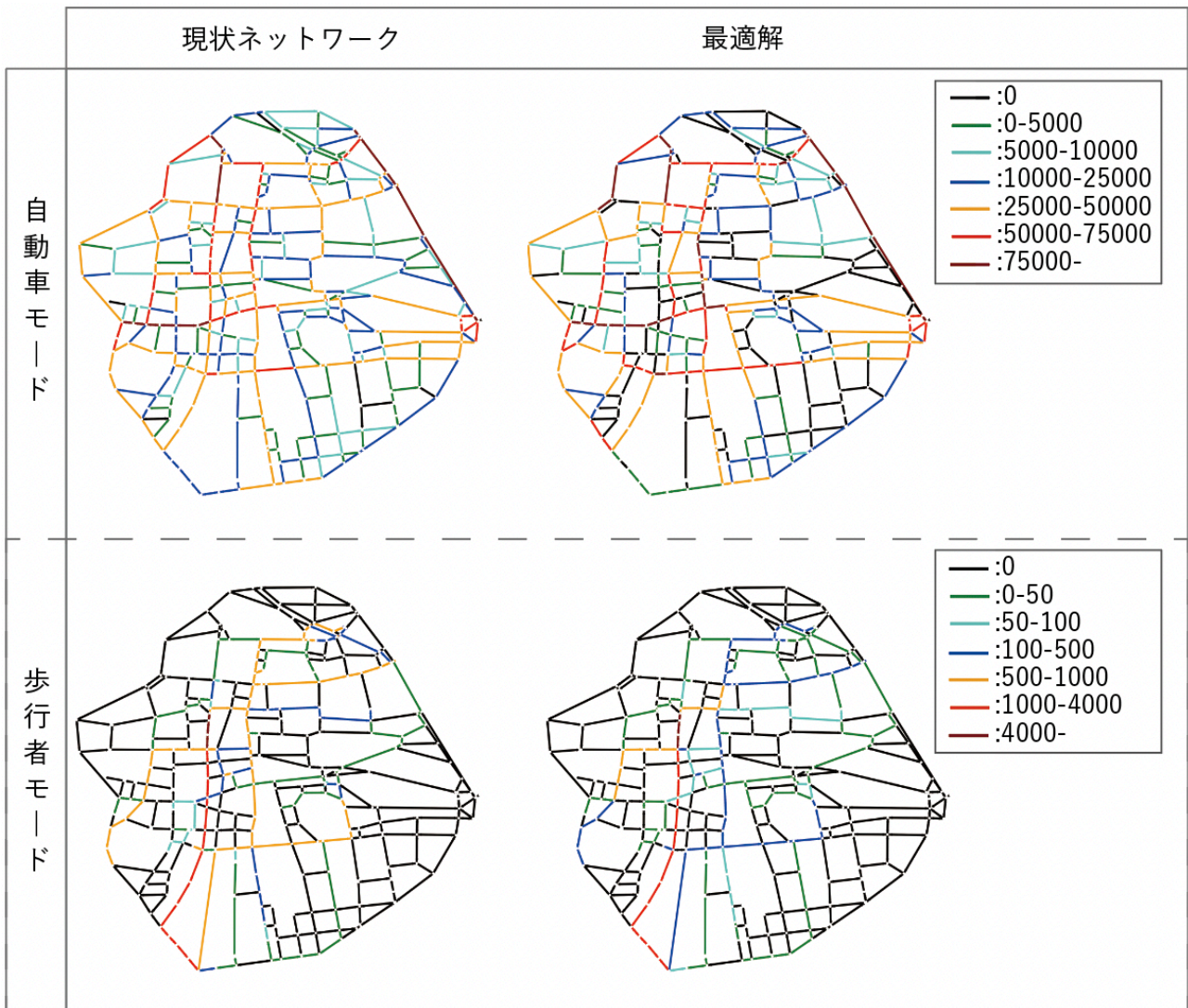


図-8 均衡配分結果

表-3 目的関数の比較

	現況ネットワーク	最適解
$Z_1$	$2.62 \times 10^8$	$2.88 \times 10^8$
$Z_2$	$7.09 \times 10^8$	$7.03 \times 10^8$
$Z_3$	$3.63 \times 10^7$	$3.19 \times 10^6$
( $Z_1$ の内訳)	現況ネットワーク	最適解
自動車	$2.54 \times 10^8$	$2.80 \times 10^8$
歩行者	$3.31 \times 10^6$	$3.30 \times 10^6$
駐車場	$4.82 \times 10^6$	$4.91 \times 10^6$

## 5. おわりに

本研究は歩行者を対象にした街路空間再配分の計画として、自動車渋滞への影響を明示的に考慮したうえで歩行者専用化すべき道路の組み合わせを求める最適

化問題を提示した。具体的には、歩行者・自動車のマルチモーダルネットワーク均衡配分モデルに基づくネットワークデザイン問題 (MMNDP) として定式化した。膨大な組み合わせパターンを持つ市街地スケールの最適化問題に対応するため、焼きなまし法 (SA) を用いて求解を行なった。

観光動線における自動車と歩行者の錯綜が以前より問題視されている埼玉県川越市の中心市街地を対象に、実際の適用を行なった。目的関数としてネットワーク総所要時間の他に CO2 排出量および自動車と歩行者の錯綜量を設定し錯綜量を重要視した政策として目的関数の1つである自動車と歩行者の錯綜量について重みづけをした結果、最適解において観光の主要街路を含む複数の道路が歩行者空間化された。今後の課題として、目的関数の設定による最適ネットワークの変化を詳細に検証していくことが挙げられる。目的関数は、都市政策の達成目標を直接的に表現したものであり、歩行

者の安全性・快適性等の指標をより正確に表現したり、他のモードを重視した関数を、目標に応じて適切に設定することで、政策の最適なあり方とその効果のヴァリエーションを検討することが可能となる。

**謝辞:** 本研究は JSPS 科研費 20K14899 の助成を受けて実施したものです。ここに感謝の意を表します。

- 12) 国土交通省: 平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査, 2015.
- 13) 劉正凱, 河上省吾: 交通量均衡配分モデルによる駐車場選択・駐車場需要予測に関する研究, 都市計画論文集, Vol.28, pp.85-90, 2001.
- 14) 川越市: 観光統計資料 令和元年度観光アンケート調査, 2019.
- 15) 川越市: 観光統計資料 川越市入込観光客数, 2015.

( Received March 6,2022 )

( Accepted ? )

## REFERENCES

- 1) 国土交通省: 資料 2 多様な利用者が共存する道路空間の形成, 社会資本整備審議会道路分科会第 4 0 回基本政策部会配布資料, 2012.
- 2) Mueller, N. et al.: Changing the urban design of cities for health : The superblock model, Environment International, Vol.134, No.105132, 2020.
- 3) 大山雄己, 羽藤英二: 多目的最適化に基づく歩行者の活動ネットワークデザイン, 都市計画論文集, Vol.52(3), pp.810-817, 2017.
- 4) Elshafei, E. H.: Decision-making for roadway lane designation among variable modes, 2006.
- 5) Scarinci, R. et al.: Network design of a transport system based on accelerating moving walkways, Transportation Research Part C, Vol.80, pp.310-328, 2017.
- 6) Wu, Z. X. et al.: Multi-modal network design: Selection of pedestrianisation location, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.2275-2290, 2005.
- 7) 土木学会: 交通ネットワークの均衡配分-最新の理論と解放-, 1998.
- 8) 国土交通省: 費用便益分析マニュアル, 2018.
- 9) 土肥ら: 自動車走行時の CO<sub>2</sub> 排出係数及び燃料消費率の更新, 土木技術資料, Vol.54(4), 2012.
- 10) 国土交通省: CO<sub>2</sub> の貨幣価値原単位について, 2007.
- 11) 久保幹雄, ペドロソ, J. P.: メタヒューリスティクスの数理, 共立出版, 2009.

## Optimal design of street space reallocation for pedestrians based on a multimodal equilibrium assignment model

Soichiro Murakami and Yuki Oyama

In this study, we propose a method to optimally design a pedestrian street network explicitly considering the influence on the vehicular congestion. First, a traffic equilibrium assignment model based on a multimodal network that integrates vehicular and pedestrian networks is constructed. Based on the traffic flow prediction by the multimodal equilibrium assignment model, we formulate an optimization problem that determines which combination of roads should be pedestrianized. This bi-level network design problem is applied to the city center network of Kawagoe City, where the complexity of vehicular and pedestrian flows is observed and considered problematic in the main tourist street. Our model finds the optimum pattern of the pedestrian street network to achieve policy objectives.