

市街地交通ネットワークにおける 歩行者ゾーンの最適設計

村上 颯一郎¹・大山 雄己²

¹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

²正会員 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: oyama@shibaura-it.ac.jp

都市再生の文脈において、街路空間再配分が重要視されている。バルセロナの Super Block Project では約 400m グリッドブロック内の街路を歩行者優先空間化するまちづくりが行われ、環境負荷低減や歩行者の安全性や快適性への効果が見込まれている。しかし、ブロックの形状や配置に関して最適化は行われていない。本研究では、自動車渋滞への影響を明示的に考慮した交通量予測を下敷きに、複数の歩行者ゾーンをどのように配置すべきかを決定する二段階最適化問題として定式化する。その中で、ゾーン内の自動車速度を制御することで創出される歩行者空間を決定変数として設定する。この問題は、歩行者空間創出による自動車への影響を考慮できる市街地ネットワークを対象として想定していることから組み合わせ数が膨大であり、近年、大規模で複雑な組み合わせ最適化問題で用いられる Adaptive Large Neighborhood Search(ALNS) にて求解を行う。目的関数では、歩行者の回遊性や自動車・歩行者の錯綜量により快適性・安全性の評価を行う。数値計算によりアルゴリズムやゾーン生成について検証を行う。

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

1. はじめに

(1) 背景と目的

近年、街路を人間中心の魅力ある空間として再生するという観点から道路整備の見直しや街路空間再配分の動きがみられ、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いる。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道拡幅による歩行者空間の創出を目的として四条通りを対象に、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。このように実際の事例では、予め選定された1つの通りを対象に街路空間再配分の政策が実施されることが多い¹⁾。

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。ブロック内の街路では、自動車は制限速度 (10km/h) や一方通行などの規制を設けることで歩行者優先空間を創出している。この計画は、エネルギー消費を減らしていくとともに、人々の活動が活発に行われる状況が都市の持続可能性を実現するために重要であると考え、スー

パーブロックの設置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・平均寿命の増加等の予測が算出されている (Mueller et al. 2020)²⁾。

歩行者を主体とした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、市街地における自動車渋滞を引き起こし自動車交通の利便性を低下させる可能性がある。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空間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ゾーン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、歩行者ゾーン化すべき街路空間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、市街地規模のネットワークを対象にした簡易的ネットワークに適用し、アルゴリズムやゾーン生成について検証を行うこととする。

(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、歩行者優先化を行うブロックの形状や配置に関して最適化は行われていない。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)³⁾ 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⁴⁾ や AMWs (accelerating moving walkways) を対象にした研究⁵⁾ 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)⁶⁾ 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ゾーンを対象にした MMNDP を提示し、市街地単位での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、歩行者ゾーン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。ネットワークの改変は、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

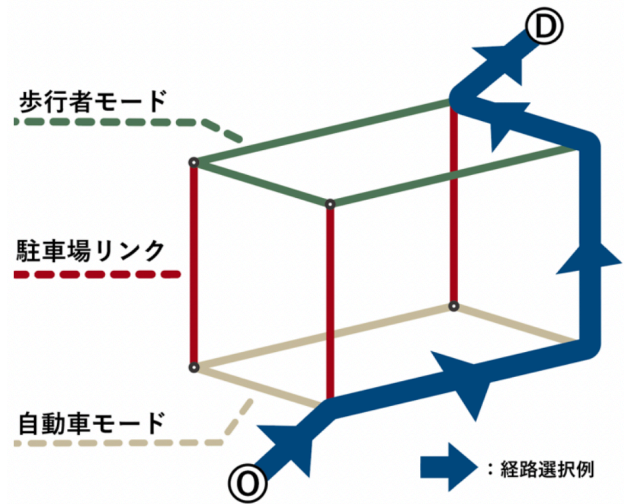


図-1 マルチモードでの経路選択例

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、駐車場リンクを通過し、2 つの歩行者リンクを通り目的地に到着することになる。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 (1) 式にて算出される所要時間とする。

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

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 α_1, β_1 は、 $(\alpha_1, \beta_1) = (0.96, 1.2)$ と設定した。自由所要時間 t_a^{auto} 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、自由所要時間とする。

$$c_a^{walk} = t_a^{walk} \quad (2)$$

t_a^{walk} : 歩行者モード上リンク a の自由所要時間

自由所要時間 t_a^{auto} は、リンク長を速度 $4.0[km/h]$ で除した値としている。

c) 駐車場リンク

2 モード間をつなぐ駐車場リンクでは、駐車場の入庫所要時間と容量制約による駐車待ち時間を表現するために、BPR 関数と駐車場料金を用いた (3) 式にて算出を行う。

$$c_a^{park} = t_a^{park}(1 + \alpha_2(x_a^{park}/C_a^{park})^{\beta_2}) + F/f \quad (3)$$

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 α_2, β_2 はそれぞれ、劉ら (1993)⁷⁾ から、 $10.2[分/100 円]$, $(\alpha_2, \beta_2) = (2.62, 5.0)$ と設定した。

d) 定式化と解法

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, 1998⁸⁾) 。

$$\text{minimize} \quad \sum_a \int_0^{x_a} c_a(\omega) d\omega \quad (4)$$

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. 一次元探索

$x_a^{(n+1)} = \alpha y_a + (1-\alpha)x_a^{(n)}$ 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。 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ の一次元探索によって $Z(\alpha)$ を最小にするステップサイズ α 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 ϵ 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、 $n=n+1$ とおいて 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

ネットワーク改変のための設計変数 φ_n を自動車モード内のノードに設定する。設計変数 φ_n は次式で定義する。

$$\varphi_n = \begin{cases} 1 & \text{歩行者ゾーン化を行う} \\ 0 & \text{歩行者ゾーン化を行わない} \end{cases}$$

Zhang and Yang(2004)⁹⁾ や Chen, Z. et al(2017)¹⁰⁾ でのゾーン定義を用いて、自動車モード内のノード n に接続する道路を対象に歩行者ゾーンにする ($= 1$)、しない ($= 0$) の値を割り当てる。つまり、あるノード n に設計変数 $\varphi_n=1$ が割り当てられた場合、そのノードに接続する道路はすべて歩行者優先道路になることを意味する。ここでの歩行者優先道路は、Super Block Project²⁾ と同様に自動車の速度制限を $10km/h$ に規制することにより創出する。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。例えば、図-2 のようなネットワークにて中心のノードに設計変数 $\varphi_n=1$ が与えられたとすると、中心ノードに接続する 4 つの

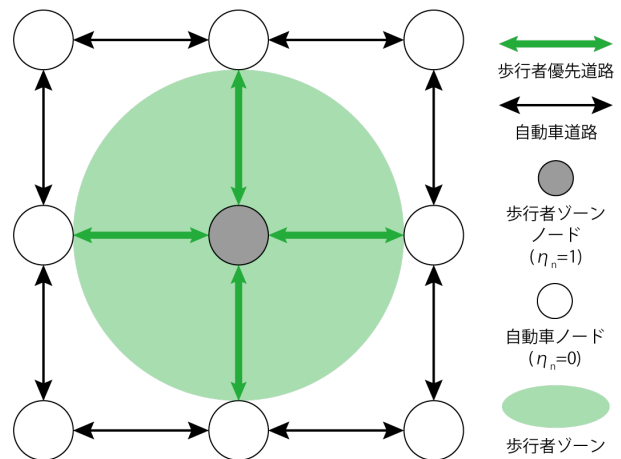


図-2 設計変数の割り当て

道路が自動車の速度規制により歩行者優先道路化され 1 つの歩行者ゾーンが創出される。

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)。

$$\begin{aligned} \max. Z &= \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \gamma_3 Z_3 & (5) \\ \gamma &: \text{重みづけパラメータ} \end{aligned}$$

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。

$$Z_1 = \sum_a x_a \cdot t_a \cdot (x_b / C_b) \nu \quad (6)$$

- 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
- ν : 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。

$$Z_2 = \nu \sum_a x_a \cdot t_a \quad (7)$$

ν : 時間価値

δ は、国土交通省 (2018)¹¹⁾ 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。

$$Z_3 = \sum_a L_a \cdot x_a \cdot I_{CO_2} \cdot E_{CO_2} \quad (8)$$

- L_a : リンク a のリンク長
- I_{CO_2} : CO₂ 排出係数原単位
- E_{CO_2} : 自動車の CO₂ 排出量

I_{CO_2} は土肥ら (2012)¹²⁾ から、126.3[kg/m]、 E_{CO_2} は国土交通省 (2007)¹³⁾ 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である適応的の巨大近傍探索 (Adaptive Large Neighborhood Search 以下: ALNS)¹⁴⁾ を用いて解く。ALNS は、解の更新時に用いられる近傍構造に選択確率を付与し、解の改善度に応じて変動させる手法である。更新された近傍構造の選択確率を用いることにより、有効な近傍構造ほど高確率で選択される。このア

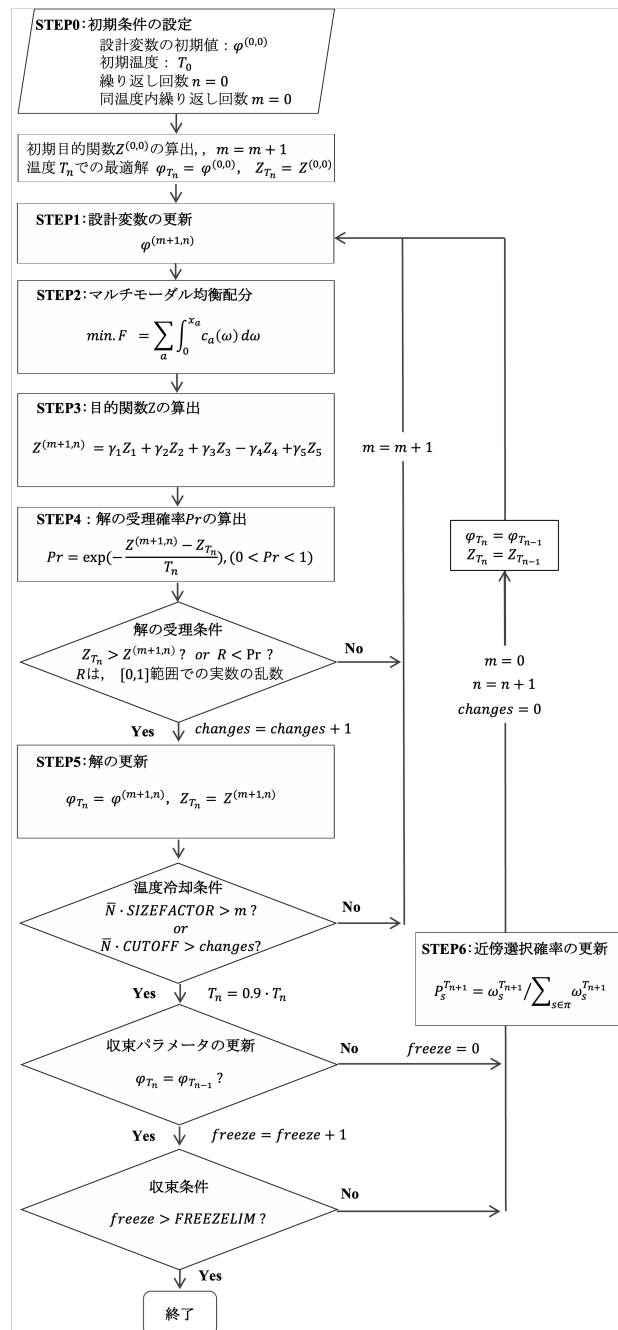


図-3 ALNS のフロー

ルゴリズムは Simulated Annealing と同様に、改悪解を確率的に受理 (図-3:STEP3) することで局所的最適解からの脱出を試みる。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。ALNS のフローを図-3 に示す。以下、ALNS の特徴である (1) 解の更新、及びパラメータ設定を行なった (2) 温度冷却・(3) 収束条件について具体的に説明する。

(1) 解の更新

ALNS では、解の更新において、近傍構造を解の改善度によって算出される選択確率により選択する。こ

		ゾーン選択方法			ノード選択方法				
		ランダム	ゾーン内ノード数		ランダム	接続リンクの合計交通容量		ゾーン内ノードとの接続数	
			max	min		max	min	max	min
拡大オペレータ π_{add}	近傍1 s_1	○			○				
	近傍2 s_2	○					○		
	近傍3 s_3	○							○
	近傍4 s_4			○	○				
	近傍5 s_5			○			○		
	近傍6 s_6			○					○
縮小オペレータ π_{remove}	近傍7 s_7	○			○				
	近傍8 s_8	○					○		
	近傍9 s_9	○							○
	近傍10 s_{10}			○	○				
	近傍11 s_{11}			○			○		
	近傍12 s_{12}			○					○
新規ゾーン生成オペレータ $\pi_{generate}$	近傍13 s_{13}				○				
	近傍14 s_{14}						○		

図-4 オペレータと近傍構造の設定

れにより有効な近傍構造ほど高確率で選択され効率的に最適解へと導く。近傍構造は、解の更新戦略によってそれぞれのオペレータ（近傍集合）に分類される。そのため、近傍構造は2段階に分けて確率的に選択される。まず、1段階目ではオペレータ集合 Π から使用するオペレータ π を選択する。いずれのオペレータも同確率で選択される。次に、前段階で選択されたオペレータ内の近傍構造を選択確率によって選択する。近傍構造 s の選択確率 P_s は、(6) 式で算出する。

$$p_s = w_s^j / \sum_{s \in \pi} w_s^j \quad (9)$$

w_s^j は近傍構造 s の解の改善度であり、各温度内での探索が終了した際に (7) 式によって更新される。

$$w_s^{j+1} = (1 - \xi)w_s^j + \xi(\varrho_s / \eta_s) \quad (10)$$

ξ : 反応係数 ($0 \leq \xi \leq 1$)

ϱ_s : 近傍構造 s による目的関数の改善度

η_s : 近傍構造 s の使用回数

本研究では、現状の解に存在するゾーンを拡大・縮小させるオペレータ (π_{add}, π_{remove})、また、新しくゾーンを生成するオペレータ ($\pi_{generate}$) の3つを設定する。ゾーンを拡大・縮小させるオペレータ (π_{add}, π_{remove}) に属する近傍構造は、二段階に分けて設計変数更新ノードを選択する。一段階目は、存在するどのゾーンを対象にするかの選択である。二段階目では、一段階目で選択されたゾーンに対してどのノードを対象にするかを選択する。ゾーン拡大オペレータの近傍構造は、選択されたゾーンに接続するノードを1つ選択し設計変数を1に更新する。ゾーン縮小オペレータの近傍構造は、選択されたゾーン内のノードを1つ選択し設計変数を0に更新する。新規ゾーンを生成するオペレータ ($\pi_{generate}$) の近傍構造は、既存ゾーンに接続していないノードを1つ選択し設計変数を1に更新する。本研究では、3つのオペレータとそれぞれのオペレータに属する14種類の近傍構造を用いる (図-4)。

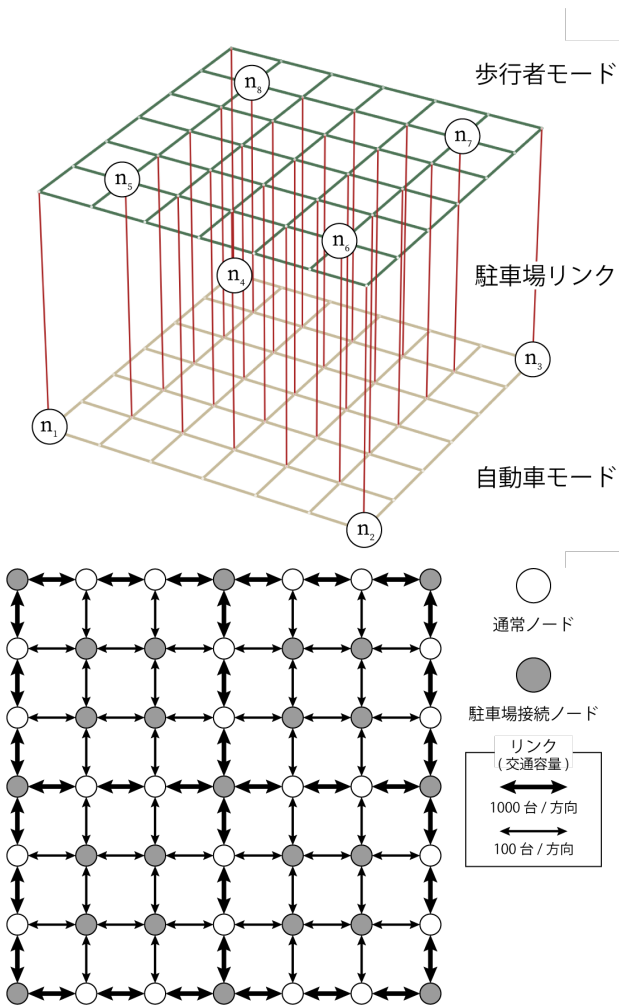


図-5 グリッドネットワーク

表-1 ネットワーク情報

	自動車 モード	歩行者 モード	駐車場 リンク
ノード数	48	48	-
リンク数	168	168	50
街路数	28	28	-

表-2 OD 交通量

O	D	交通量
n_1	$\rightarrow n_3$	2000
n_3	$\rightarrow n_1$	2000
n_2	$\rightarrow n_4$	2000
n_4	$\rightarrow n_2$	2000
n_1	$\rightarrow n_7$	500
n_2	$\rightarrow n_8$	500
n_3	$\rightarrow n_5$	500
n_4	$\rightarrow n_6$	500

表-3 SA のパラメータ設定

	パラメータ値
初期温度 T_0	1.0×10^4
近傍の大きさの平均 \bar{N}	48
SIZEFACTOR	1.0
CUTOFF	0.5
FREEZELIM	10

(2) 温度冷却

温度内での計算回数はパラメータ *SIZEFACTOR*, *CUTOFF* によって制御される。*SIZEFACTOR*・*CUTOFF* はそれぞれ同温度内の繰り返し回数・解の変更回数の上限を決定するためのパラメータである。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} を超えた時に均衡状態に達したと判断し、温度を冷却する。なお、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。

(3) 収束条件

同温度内での計算が終了時に、現在の温度内での解と 1 ステップ前の温度での解が同じであれば収束に向かっていているものとして、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. 数値計算例

(1) 対象ネットワーク

図-5、表-1 に示すグリッドネットワークを対象に歩行者ゾーンの最適配置を考える。設定した OD 交通量を表-2 に示す。また、自動車交通容量が 100 台/方向のリンクでは、歩行者の回遊行動が行われていると仮定し、歩行者交通量 (=500) をそれぞれのリンクに所与している。また、本研究ではコスト制約として歩行者ゾーンが 5 つ以上もしくは歩行者優先道路が 49 本以上創出される解は実行不可能解として判断している。

(2) 計算結果

以上の方法とネットワーク、OD 交通量に基づいて検証を行なった。ALNS で使用したパラメータは表-3 の通りである。本ケーススタディでは、目的関数の重みづけパラメータ $\gamma = (10^3, 1.0, 1.0)$ に設定し自動車と歩

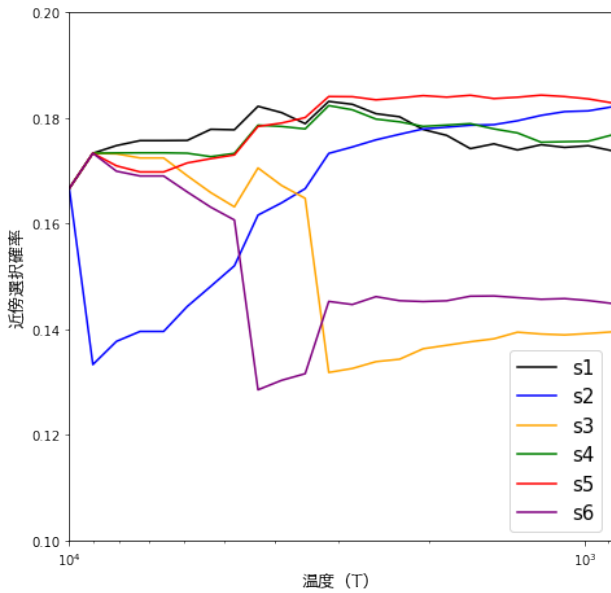


図-6 ゾーン拡大オペレータ (π_{add}) の近傍選択確率推移

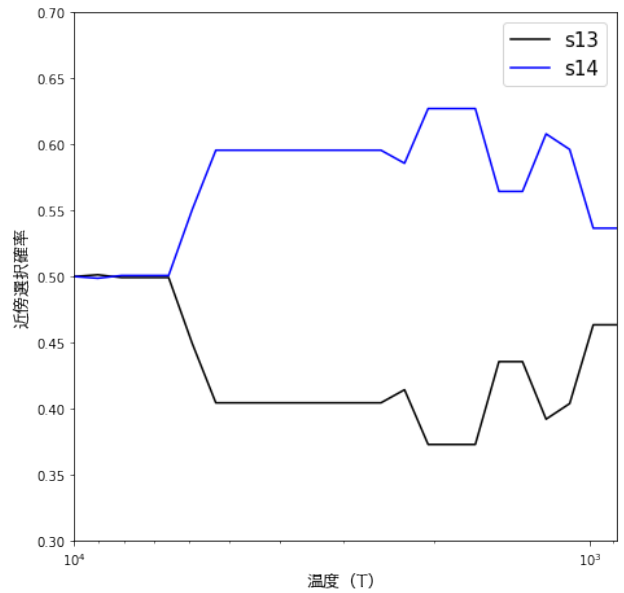


図-8 ゾーン生成オペレータ ($\pi_{generate}$) の近傍選択確率推移

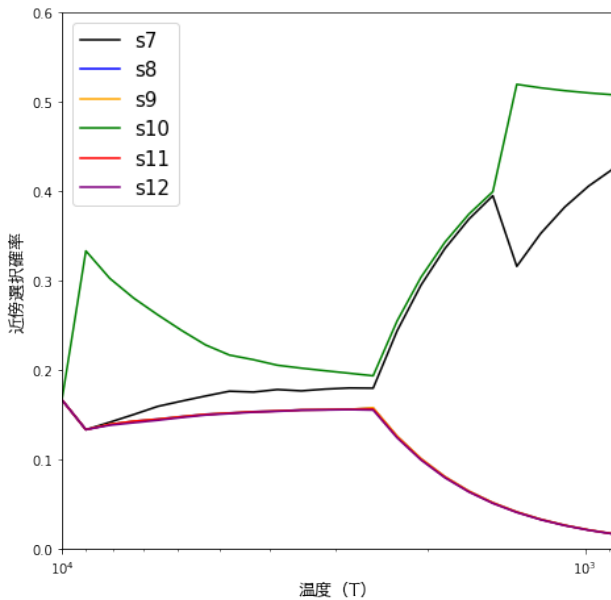


図-7 ゾーン縮小オペレータ (π_{remove}) の近傍選択確率推移

行者の錯綜量に関する目的関数 Z_1 に重みづけを行う。

アルゴリズムの収束過程におけるそれぞれのオペレータでの近傍の選択確率の推移を図-6, 7, 8 に示す。それぞれの温度ごとに有効な近傍構造が異なり選択確率が変化していることがわかる。特に、ゾーン拡大オペレータ (π_{add}) の近傍 2 は、計算初期時は他の近傍と比べ有効性が低いものの収束に近づくにつれて有効性が高くなっていることがわかる。このことから、自動車の交通容量が少ない道路が歩行者ゾーン化されやすい傾向にあることを示している。

歩行者専用道路の最適配置結果を図-9 に示す。結果

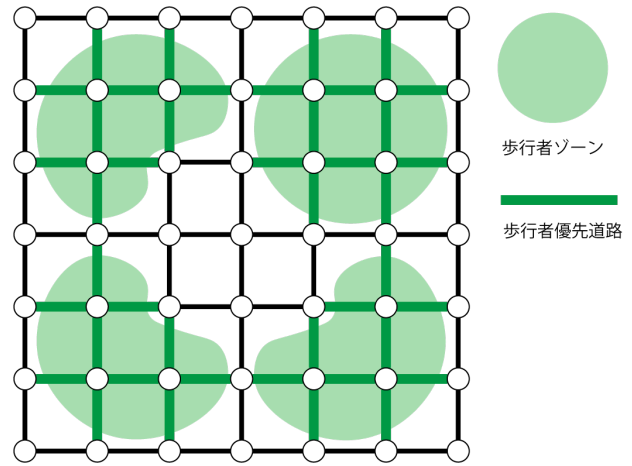


図-9 最適解ネットワーク

として、4つの歩行者ゾーンが創出された。目的関数の比較を表-3 に示す。自動車と歩行者の錯綜量を評価している目的関数 Z_1 が最適解のネットワークでは大きく減少している。また、総旅行時間 Z_2 は増加しているものの自動車総走行距離 Z_3 は減少している。これは図-10 に示す交通量配分結果から、歩行者ゾーン内に自動車で侵入するコストが高くなったことで、歩行者ゾーン外にある目的地から少し離れた駐車場の利用者増加いたことが要因であると考えられる。

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、歩行者ゾーン化すべき道路空間の組み合わせを求

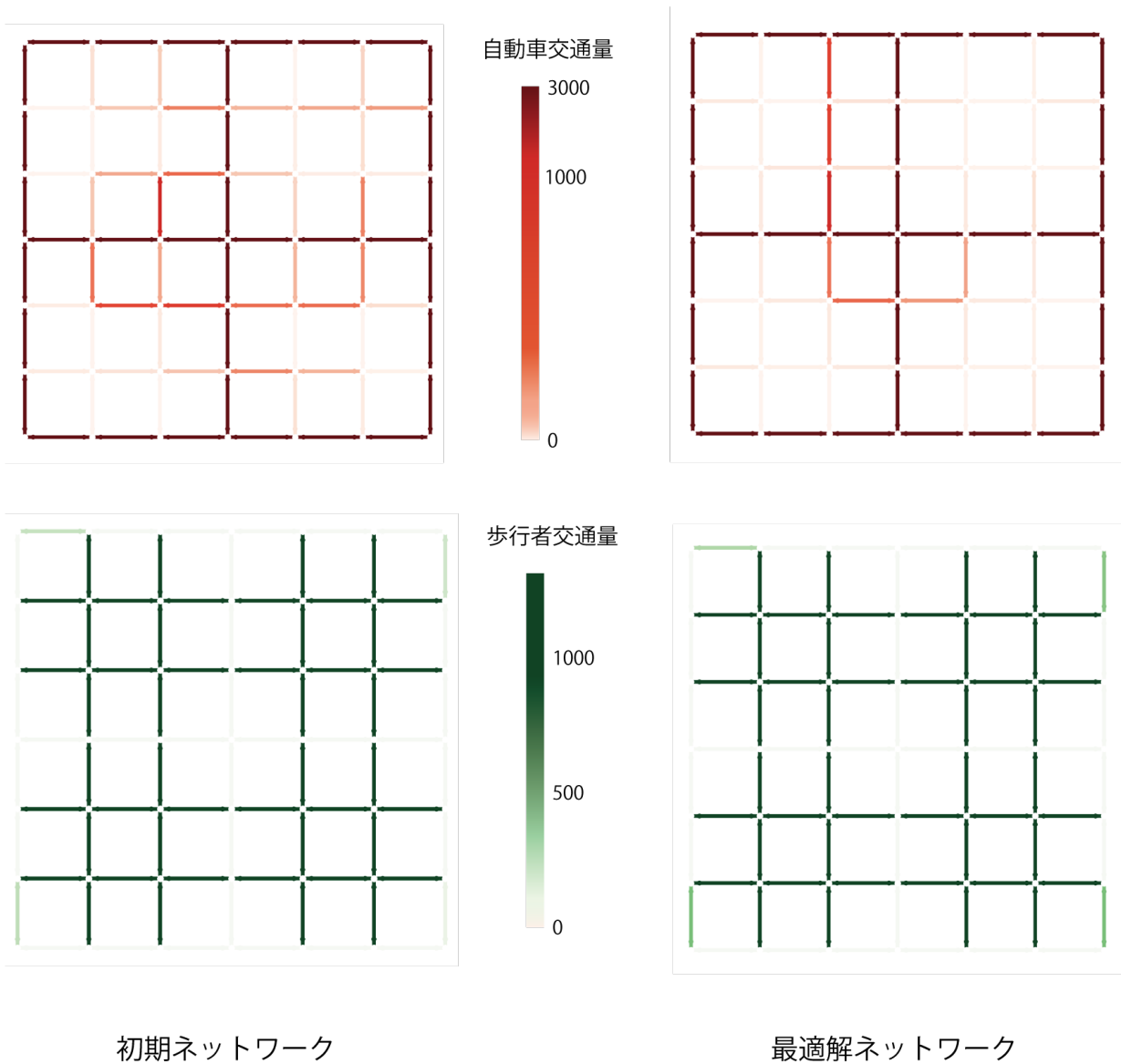


図-10 均衡配分結果

表-4 目的関数の比較

	現況ネットワーク	最適解
Z_1	3.54×10^6	1.88×10^6
Z_2	1.24×10^5	1.31×10^5
Z_3	5.21×10^6	5.09×10^6

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ネットワークでの最適化問題に対応することを想定し、適応的的巨大近傍探索 (ALNS) を用いて、簡易的なグリッドネットワークにて検証を行なった。結果と

して、自動車容量が少ない街路を中心に4つの歩行者ゾーンが創出されたネットワークが最適解となった。今回のネットワークの設定としてネットワーク形状やOD交通量を上下左右対称に設定しているため創出された4つゾーンの形状が皆等しいネットワークが最適解として望ましい。しかし、今回の結果では、3つの歩行者ゾーンは同形状であったが4つすべてのゾーンが同形状になることはなかった。これは、ALNSの探索が局所解に陥ってしまっていることや歩行者ゾーン内に侵入する自動車交通量に対する評価が適切に行えていないことによって生じたことが可能性として考えられる。これらは今後の課題として挙げられ、ALNS内のパラメータやオペレータ・近傍構造について検証を繰り返し原因を追求する必要がある。本大会の発表時には、この課題に対して検証を行い改善した内容を示す。

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 40 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) 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.
- 8) 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.
- 9) Zhang, X. , Yang, H.: The optimal cordon-based network congestion pricing problem, *Transportation Research Part B*, Vol.38, pp.517–537, 2004.
- 10) Chen, Z. et al.: Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks, *Transportation Research Part B*, Vol.99, pp.44–61, 2017.
- 11) 国土交通省: 費用便益分析マニュアル, 2018.
- 12) 土肥ら: 自動車走行時の CO₂ 排出係数及び燃料消費率の更新, *土木技術資料*, Vol.54(4), 2012.
- 13) 国土交通省: CO₂ の貨幣価値原単位について, 2007.
- 14) Ropke, S. , Pisinger, D.: An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows, *Transportation Science*, Vol.40, pp.455–472, 2006.

(Received ?)

(Accepted ?)

Optimal design of pedestrian zone in urban transportation networks

Soichiro Murakami and Yuki Oyama

In the context of urban renewal, the redistribution of street space is gaining importance. In the Super Block Project in Barcelona, streets within a 400-meter grid block have been reallocated to pedestrian priority spaces, which is expected to reduce environmental impact and improve pedestrian safety and comfort. However, the shape and arrangement of the blocks have not been optimized. In this study, the problem is formulated as a two-stage optimization problem to determine how multiple pedestrian zones should be arranged based on traffic volume forecasts that explicitly consider the impact on automobile congestion. The pedestrian space created by controlling vehicle speeds in the zones is set as the decision variable. Since this problem is applicable to urban networks where the impact of pedestrian space creation on automobiles can be taken into account, and the number of combinations is huge, the problem is solved using Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS), which has recently been used for large-scale and complex combinatorial optimization problems. The objective function is to find a pedestrian's path. The objective function evaluates comfort and safety based on pedestrian circulation and the amount of vehicle/pedestrian conflicts. The algorithm and zone generation are verified by numerical simulation.