特殊車両を対象とした 粒子群最適化法による道路網の最適化

池宮　大智 [1]・山田　忠史 [2]・Qureshi Ali Gul [3]・村上　裕樹 [4]

[1] 学生員　京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1）
E-mail: ikemiya.daichi.33c@st.kyoto-u.ac.jp

[2] 正会員　京都大学経営管理大学院教授（工学研究科併任）（同上）
E-mail: yamada.tadashi.2x@kyoto-u.ac.jp

3 正会員　京都大学大学院工学研究科准教授（同上）
E-mail: qureshi.aligul.4c@kyoto-u.ac.jp

[4] 学生員　京都大学大学院工学研究科（同上）
E-mail: murakami.yuuki.67r@st.kyoto-u.ac.jp

海上コンテナ車をはじめとする特殊車両（特車）の走行円滑化ためには，特車に焦点を当てた道路網の改良や最適設計が有用である．本研究では，右左折の回避や車道幅員の制限などにより，特車の交通行動が一般車両とは異なることに着目し，特車の経路選択特性を考慮して，道路網を最適化する手法を提案する．下位レベルには既存の重複率最大化モデルを組み込み，上位レベルでは，リンクや交差点の改良に関する組み合わせが最適化される．組合せ最適化の解法には，修正型の粒子群最適化法を提案する．提案した手法を用いて，大阪府を対象とした仮想的なケーススタディを行い，費用対効果の観点から，優先的に改良すべきリンクや交差点について基礎的な知見を得た．

Key Words: *Over-size/over-weight vehicles, Road network optimization, Particle swarm optimization*

1. はじめに

わが国の物流は貨物車に大きく依存しており，貨物の輸送量は増加傾向にある．一方，少子高齢化や物流業界における賃金の低さから，物流の担い手不足が深刻化している．それゆえ，物流業界には，生産性の向上や省人化が求められてきており，海上コンテナ輸送をはじめとする特殊車両（特車）についても例外ではない．特車とは，道路交通法第 47 条 1 項車両制限令第 3 条によって設定されている一般的制限値，すなわち，長さ 12m，高さ 3.8m，総重量 20t 以下という制限を超過している車両のことを指す．40ft 背高コンテナなどの海上コンテナを輸送する車両は，制限値を超過していることから，特車に分類されており，道路を通行する際には，事前に通行許可が必要となっている．特車の輸送円滑化のために，通行許可不要区間の設定などの施策も講じられてきたが，大幅に迂回している事例が存在するなど，特車の走行経路は，十分に効率化されていない．さらに，近年，道路の老朽化が進行しており，特車に対応した迂回路の設定・整備なども必要であり，特車指向の道路網の設計が有用であると考えられる．

道路網の設計については多くの研究がなされている．例えば，リンク整備に関する離散的な組み合わせ最適化問題については，LeBlanc[1]や Drezner and Wesolowsly[2]などの研究があり，リンク容量などの連続値を決定する研究については，Abdulaal and LeBlanc[3]などがある．本研究のように物流を対象とした道路網設計については，サプライチェーンを考慮した Yamada et al.[4]の研究や，物流業者の経路選択特性を組み込んだ Meng and Wang[5]の研究などがある．しかし，物流を対象とした道路網の最適設計研究は少なく，特車の行動特性を加味した研究はなされていない．

本研究では，特車の走行経路の改善・円滑化を目指し，特車の経路選択特性を考慮したうえで，道路網を最適化する手法を提案する．図- **1** に示すように，道路網の離散型最適設計に，特車の経路選択モデルが内包される．

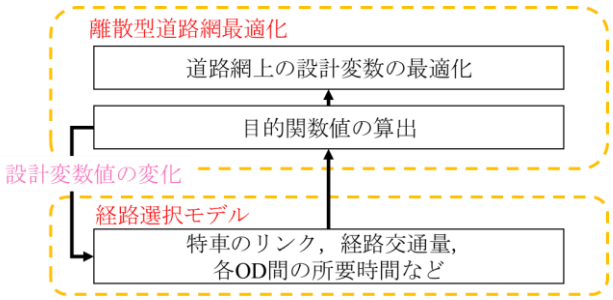


図-1　手法の概要

さらに，その手法を用いた数値計算を通じて，特車指向の道路網設計に関して基礎的知見を得ることとする．

内包する経路選択モデルについては，関谷ら [6]の重複率最大化モデルを採用する．重複率最大化モデルは，兵藤ら [6]によって開発されたものであり，第 4 回東京都市圏物資流動調査の大型車走行経路の結果を用いて，各リンクの時間や費用に，道路規格などの要素を加えた認識一般化費用を定義して，認識一般化費用最小経路と実経路の重複が最大となるようにパラメータ推定が行われる．萩野ら [8]は，折進条件のあるリンクか否かを説明変数に加え，関谷ら [6]は，特車のドライバーが経路を選択する際に特に重要な要素であると考えられる，交差点の構造規格と車線数を説明変数に採用している．

2.　問題構造と解法

図- **2** に示すように，下位レベルで特車の経路選択特性を考慮した交通状態を記述し，上位レベルではリンクを改良する・しないという[0,1]の組み合わせ最適化問題を求解する．下位レベルでは，[0,1]の設計変数の組合せに応じて，各リンクの認識一般化費用が推定され，認識一般化費用最小経路がダイクストラ法によって算定され，目的関数が計算される．本研究の場合，ダイクストラ法は，以下の式**(1)**~式(5)で表される．

$$\min \sum_{a\in A_0} M_{a,t} e_{p,a}^t \quad ,\forall p \in N_F^t \tag{1}$$

s.t.

$$M_{a,t} = \begin{cases} H_a + \omega t_a\left(1+\alpha_L(1-x_a^t)\right)\ a \in A_{x,t}^l \\ H_a + \omega t_a\ a \in A_{d,t}^l \\ H_a + \omega t_a(1+\alpha_L)\ a \in A_{s,t}^l \\ \omega\alpha_N(1-x_a^t)\ a \in A_{x,t}^i \\ \omega\alpha_N\ a \in A_{o,t}^i \\ 0\ a \in A_{f,t}^i \end{cases} \tag{2}$$

$$\sum_{j\in A_0} e_{p,a_{ij}}^t = \sum_{j\in A_0} e_{p,a_{ji}}^t \ ,\forall i \in A_0, p \in N_F^t \tag{3}$$

$$\sum_{j\in A_0} e_{p,a_{p_O j}}^t = 1\ ,p \in N_F^t \tag{4}$$

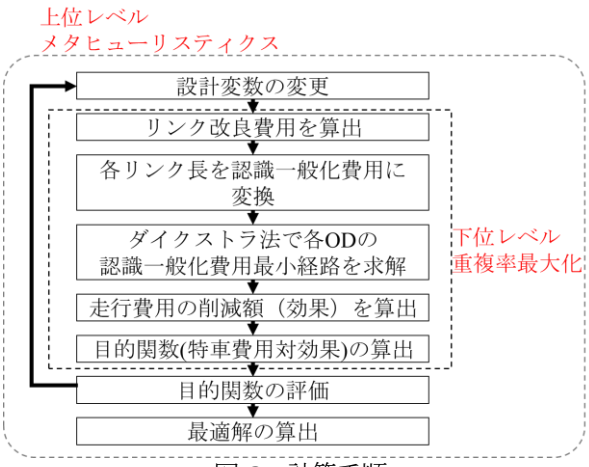


図-2　計算手順

$$\sum_{i\in A_0} e_{p,a_{ip_D}}^t = 1\ ,p \in N_F^t \tag{5}$$

a	リンク番号
a_{ij}	ノードij間のリンク
p	OD の番号
p_O	p番目の OD の出発地
p_D	p番目の OD の到着地
t	期間
$M_{a,t}$	リンクaの認識一般化費用（円）
$e_{p,a}^t$	期間tにおけるp番目の OD の認識一般化費用が最小となる経路がリンクaを含む場合は 1，含まない場合は 0 となる[0,1]変数
A_0	リンク集合（ノード相当のダミーリンクを含む）
$A_{x,t}^l$	期間tにおけるリンク改良候補の集合，$A_{x,t}^l \subset A_0$
$A_{d,t}^l$	期間tにおける車線数が 2 車線以上のリンク集合，$A_{d,t}^l \subset A_0$
$A_{s,t}^l$	期間tにおける車線数が 1 車線のリンク集合，$A_{s,t}^l \subset A_0$
$A_{x,t}^i$	期間tにおける交差点改良候補の集合，$A_{x,t}^i \subset A_0$
$A_{o,t}^i$	期間tにおける折進条件のある交差点の集合，$A_{o,t}^i \subset A_0$
$A_{f,t}^i$	期間tにおける折進条件のない交差点の集合，$A_{f,t}^i \subset A_0$
x_a^t	期間tにおいてリンクaを改良する場合は 1，そうでない場合は 0 の[0,1]行列
N_F^t	期間tにおける OD ペアの集合
t_a	リンクa所要時間（改良されたリンクについては，改良されたときの所要時間）
ω	トレーラーの時間価値（円/分）
H_a	リンクaが高速道路の場合の利用料金

式(2)は，関谷ら [6]の重複率最大化モデルを，経路ベースの式からリンクベースの式に変換したものである．図- **3** に示すように，交差点をダミーリンクで記載しているため，リンク（改良候補，未改良，改良済）と交差点（改良候補，未改良，改良済）のそれぞれに対して，認

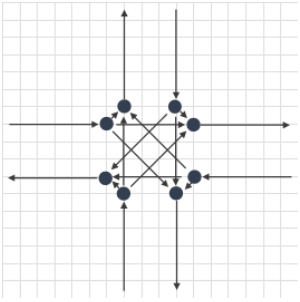


図-3　交差点の表現方法

識一般化費用が算定される．なお，認識一般化費用と区別するために，経路を走行する際に生じる費用（式(10)）を走行費用と称する．目的関数は，特車に着目した費用対効果（以下，特車費用対効果と称する）である（式(6)）．その分子は，走行費用の削減額（式(7)）であり，分母は，リンクや交差点の改良に要する費用（式(9)）である．

$$\max \frac{\sum_{t=1}^{T}\{B^t/(1+r)^{t-1}\}}{\sum_{t=1}^{T}\{C^t/(1+r)^{t-1}\}} \tag{6}$$

s.t.

$$B^t = B_0^t - \sum_{p\in N_F^t}\sum_{a\in A_0} L_{a,t} f_p^t e_{p,a}^t \tag{7}$$

$$B_0^t = \sum_{p\in N_F^t}\sum_{a\in A_0} L'_{a,t} f_p^t e_{p,a}^{\prime t} \tag{8}$$

$$C^t = \sum_{a\in A_x} I_a^t x_a^t \tag{9}$$

$$L_{a,t} = H_a + \omega t_a \tag{10}$$

$$L'_{a,t} = H_a + \omega t'_a \tag{11}$$

$L_{a,t}$	リンクaの走行費用（円）
$L'_{a,t}$	リンクや交差点を改良しない場合の，リンクaの走行費用（円）
B^t	総走行費用の削減額
B_0^t	リンクや交差点を改良しない場合の総走行費用
C^t	リンクや交差点の改良に要する総費用
I_a^t	期間tにおけるリンクaの改良に要する費用
$e_{p,a}^{\prime t}$	リンクや交差点を改良しない場合，期間tにおけるp番目の OD の認識一般化費用が最小となる経路がリンクaを含む場合は 1，含まない場合は 0 となる[0,1]変数
f_p^t	期間tにおけるp番目の OD の交通量
T	計画期間
r	割引率

上位レベルの組み合わせ最適化問題の解法については，関数の非線形性から，有効な厳密解法が存在しない．それゆえ，本研究では，厳密解法ではなく，近似解法の一種であるメタヒューリスティクスを使用する．具体的なメタヒューリスティクスの選定に際しては，本研究と類似の問題構造を有している既存研究[9),10)]を参考にして，遺伝的アルゴリズム(GA)，遺伝的局所探索法(genetic local search: GLS)，離散型二値粒子群最適化法(discrete binary particle swarm optimization: DBPSO)や確率的二値粒子群最適化法(probability binary particle swarm optimization : PBPSO)などの他の有力な手法よりも優れた性能を有している，修正確率的二値粒子群最適化法(modified probability-based discrete binary particle swarm optimization: MPBPSO)を採用した．粒子群最適化法（PSO）は，Kennedy et al[11)]によって提案されたメタヒューリスティクスであり，粒子群の中で最も優れた目的関数値を記録した座標（gbest）と，各粒子において最も優れた目的関数値を記録した座標（pbest）を考慮した速度ベクトルを生成・更新することにより求解する．MPBPSO は，Yamada and Febri[10)]によって開発され，線形の伝達関数に粒子の座標を入力して離散化を実施する PBPSO と，集中化と多様化のバランスが優れている修正二値粒子群最適化法(modified binary particle swarm optimization: MBPSO)を組み合わせたものである．

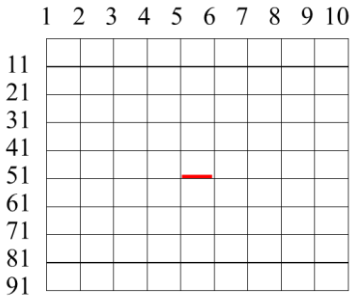


図-4　仮想道路網と最適解

表-1　パラメータ推定の範囲

pop×iter	10×10000，50×2000，100×1000，200×500，500×200，1000×100，2000×50
$prob_{max}$	10，20，30，40，50，60
ω	0.4，0.5，0.6，0.7，0.8，0.9，1.0
θ_1，θ_2	1.0，1.5，2.0，2.5，3.0
τ_1，τ_2	0.2，0.3，0.4，0.5，0.6，0.7，0.8

表-2　問題設定

OD 交通量	ランダムに生成した 30 の OD ペアについて，100，200，300 台
経路選択	ダイクストラ法
リンク改良費用	各リンクあたり 1
輸送費用	各リンクあたり 1
リンク改良効果	輸送費用の 20%削減
目的関数	費用対効果の最大化

既存研究[10)]と本研究では，決定変数の次元数が大きく異なるので，図-**4** のような 10×10 の格子状の仮想道路網を用いた簡便な問題を対象に，表- 1 や 表- 2 の設定の基，MPBPSO の最適なパラメータ値を同定した．格子状の道路網であること，および，改良効果として設定した値から，迂回が実施されることはなく，1 つのリンクのみを改良するケースが最適であることは明らかである．最適解は，図-4 に赤で示されたリンクの改良であり，その際の目的関数の値は 600.0 である．

既存研究 [10]と同様に，同一パラメータ値について 10 回の計算を行い，それらの最大値，最小値，平均値を参照して，各パラメータの最適値を推定した．その結果，反復回数×粒子数（pop×iter）は 200×500，離散化に関するパラメータ（$prob_{max}$）は 20，慣性項に関するパラメータ（ω）は 0.5，pbest へ向かう速度ベクトルに作用するパラメータ（θ_1）は 2.0，gbest へ向かう速度ベクトルに作用するパラメータ（θ_2）は 2.0，粒子の選択確率に関するパラメータ（τ_1，τ_2）は(0.7,0.3)が，それぞれ最適となった．その際，最大値は 600.0，最小値は 560.0，平均値は 596.0 であり，最大値と最小値が一致していないことから，既存の MPBPSO では，十分な求解性能が保証されない可能性が示唆された．

3. 解法の改良

求解精度の向上を目指して，MPBPSO にさらなる改良を施す．既存研究を参考にすれば，有効な改良方法として，1) 慣性項などの改良，2) 他のメタヒューリスティクスで使用されているオペレータの追加，3) 伝達関数の改良が考えられる．上記 1 については，Xin et al.[12]など，多数の事例があり，離散型の PSO が対象になることが多い．上記 2 については，探索や収束の性能向上が期待できるとされており [13]，上記 3 については，離散型の PSO 特有の改良であり，連続値を離散化する際の伝達関数を改良することで探索や収束の性能を高める方法であり，Mirjalili and Lewis[14]などの研究が存在する．本研究では，上記 1～3 を実験的に試行し，伝達関数の影響が大きいとの結論を得た．伝達関数の改良に際しては，伊原と加藤の研究 [15]によって，決定変数の次元数が大きくなると，最も高い確率で離散化される解（中心解）への離散化確率が低下することが示されていることから，中心解への離散化確率を制御する手法として，改良 1（式(12)~式(14)）と改良 2（式(12)，式(15)）を適用した．

$$u_{mo}^{n} = \begin{cases} 1 & if \quad rand \le prob_m \ (0 \le prob_m \le 1) \\ 0 & else \end{cases} \tag{12}$$

$$prob'_m = \frac{w_{mo}^{n} - prob_{min}}{prob_{max} - prob_{min}} \tag{13}$$

$$prob_m = \begin{cases} A & (prob'_m < A) \\ prob'_m & (A \le prob'_m < 1 - A) \\ 1 - A & (prob'_m \ge 1 - A) \end{cases} \tag{14}$$

$$prob_m = (1 - 2A)\frac{1}{1 + e^{-\frac{w_{mo}^{n}}{B}}} + A \tag{15}$$

改良 1 は，従来の線形伝達関数（図- 5）に閾値を設定したものである（図- 6）．改良 2 は，シグモイド関数に閾値に相当する項を加えたものである（図- 7）．両手法とも，既存の MPBPSO[10]と比較して，離散化における感度が高まるとともに，離散化前の変数が一定の値以上・以下になると離散化確率が一定となる．改良 1 については，閾値 A と $prob_{max}$ の値，改良 2 については，A とシグモイド関数に関するパラメータ B の値を同定する必要がある．それらの結果が，表- 3～表- 6 である．なお，他のパラメータについては，先述の推定値を採用した．改良 1 においては，(A,$prob_{max}$) = (0.005,30)が最適であり，10 回の計算の平均値が 600.0 である．また，改良 2 については， 複数の(A,B) において，10 回の計算の平均値が 600.0 となっているが，計算時間が最小であるのは(A,B) =(0.005,0.15)である．それゆえ，表- 7 より本研究では改良 2 を採用する．改良 1 と改良 2 のいずれも，A=0 の場合が最適解に含まれていないので， 閾値の設定が有効

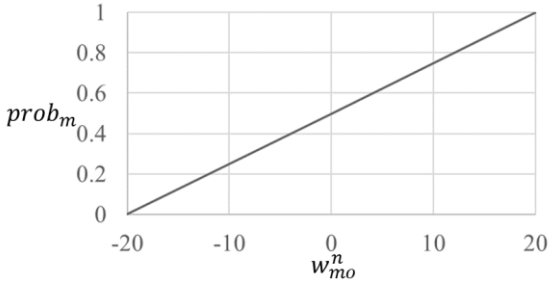


図-5　従来の伝達関数

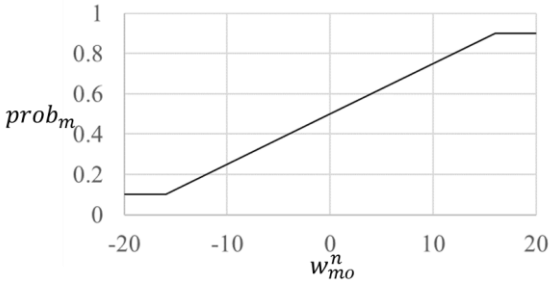


図-6　改良された伝達関数（改良 1）

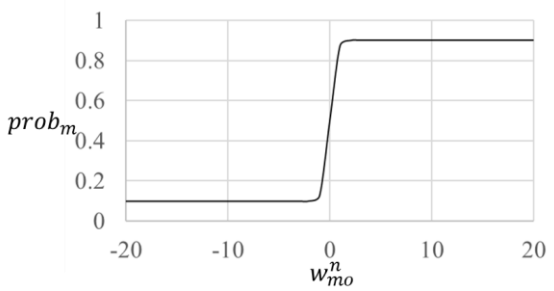


図-7　改良された伝達関数（改良 2）

表-3　目的関数の平均値（改良 1）

$prob_{max}$ \ A	0	0.005	0.01	0.015	0.02
10	580.0	596.0	596.0	588.0	596.0
20	592.0	592.0	596.0	584.0	582.0
30	584.0	600.0	592.0	588.0	584.0
40	588.0	596.0	566.0	584.0	574.0
50	572.0	570.0	588.0	558.0	572.0
60	570.0	564.0	576.0	560.0	564.0

表-4　平均計算時間（改良 1）

$prob_{max}$ \ A	0	0.005	0.01	0.015	0.02
10	292.6	286.4	288.9	300.3	297.8
20	304.5	299.5	301.7	315.4	310.3
30	316.5	317.1	317.4	328.9	322.2
40	329.8	330.4	330.4	342.6	334.6
50	342.1	343.4	344.7	354.1	345.9
60	351.7	351.6	351.6	361.1	352.0

表-5　目的関数の平均値（改良 2）

B \ A	0	0.005	0.01	0.015	0.02
0.05	570.0	600.0	600.0	580.0	592.0
0.10	564.0	596.0	596.0	580.0	592.0
0.15	576.0	600.0	596.0	592.0	600.0
0.20	586.0	588.0	596.0	584.0	592.0
0.25	580.0	600.0	596.0	600.0	584.0
0.30	572.0	596.0	600.0	588.0	588.0

表-6　平均計算時間（改良 2）

B \ A	0	0.005	0.01	0.015	0.02
0.05	286.9	267.6	269.4	284.3	282.6
0.10	287.2	267.6	271.4	284.3	282.8
0.15	287.1	267.4	271.8	285.8	283.6
0.20	285.3	269.0	272.3	285.2	283.8
0.25	287.2	269.4	272.8	286.2	284.3
0.30	286.5	270.0	273.0	287.0	284.3

表-7　計算結果の比較

	MPBPSO	改良 1	改良 2
最大値	600.0	600.0	600.0
最小値	560.0	600.0	600.0
平均値	596.0	600.0	600.0
計算時間 [s]	336.4	317.1	267.4

であると考えられる．この結果には，中心解からの乖離が関係しており，乖離を制御するような操作を包含することが望ましいことが確認された．

4.　ケーススタディ

提案した手法を用いて，大阪府，および，その周辺地域を対象として，数値計算を実施した．当該地域における高速道路と一般国道に焦点を当てて，それらを部分的に簡略化した道路網を計算対象とした（図-**8**）．リンク数は 118，交差点数は 76 である．各リンクの旅行速度については，平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査の結果 [16]を参考に，車線数に応じて表-**8** と表-**9** のように設定した．高速道路利用料金については，100 円/km と設定した．特車の OD については，実際の特車の OD データを入手することが難しいことから，本研究の主な

表-8　旅行速度（一般道，km/h）

1 車線	2 車線	3 車線	4 車線	5 車線
21.5	22.6	27.5	26.2	19.5
6 車線	7 車線	8 車線	9 車線	
28.8	30.6	27.2	32.6	

表-9　旅行速度（高速道路，km/h）

1 車線	2 車線	3 車線	4 車線	5 車線	6 車線
54.8	54.8	59	65.9	57.3	71.3

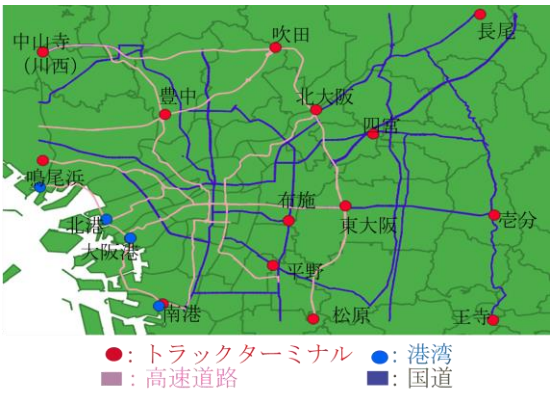


図-8　対象とする道路網

対象である，海上コンテナ車のドレージ輸送を想定し，港湾～トラックターミナル間の OD を生成した．通行許可件数 [17]に大阪港のコンテナ取扱量 [18]を比例配分させることにより，各 OD において 700 台/年とした．

設計変数は，高速道路と一般国道の全リンクを対象とした道路拡幅と，一般国道が交差している交差点を対象とした交差点改良である．目的関数の計算に必要な改良費用については，大阪府の道路整備 [19]を参考にして，上記の全箇所を改良する場合の平均値が，道路拡幅においては 70 億円/km，交差点改良においては 2 億円/箇所となるように，地価 [20]に応じた各箇所の改良費用を設定した．その際，各リンクの地価については，各リンクから半径 300m 以内の公示地価の平均値とし，300m 以内に公示地価の記載されている地点が存在しない場合は，当該リンク最近傍の公示地価を代用した．

最適解は図-**9** のような結果となった（ケース 1）．郊外部の交差点のみを改良した場合が最適であり，特車費用対効果は 0.1337 であった．費用対効果を目的関数にしているので，施工費用が低廉で，かつ，特車交通が比較的集中する交差点の改良が望ましい．

費用対効果を目的関数とする場合，費用が小さければ，効果が小さくても最適解になる可能性があることから，得られる効果の大きさに下限値（ケース 2：3 億円，ケース 3：6 億円）を設けることにより，一定程度の効果を有する最適解を探索した（図-**10**，図-**11**）．効果の下限値が大きくなるにつれて，改良費用の低廉な郊外部の交差点に加えて，主要 OD 間の連結性担保の観点から，郊外部から中心部に向かう東西と南北方向のリンクを改

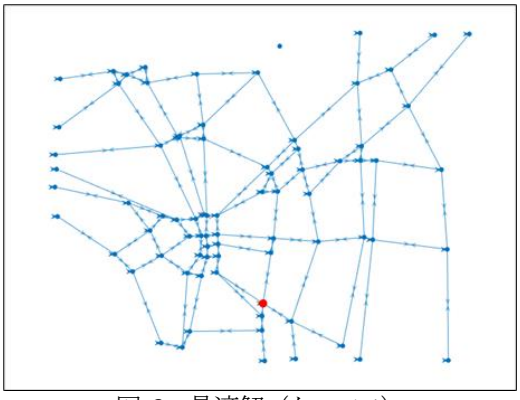


図-9　最適解（ケース 1）

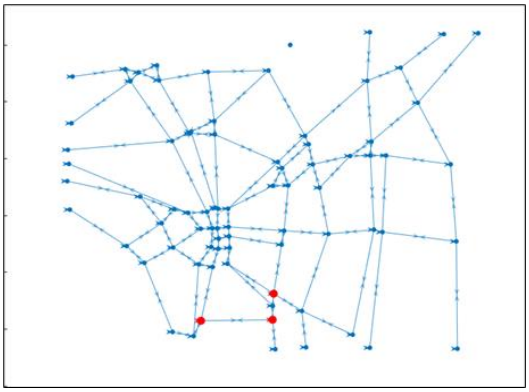


図-12　2 番目の解（ケース 4）

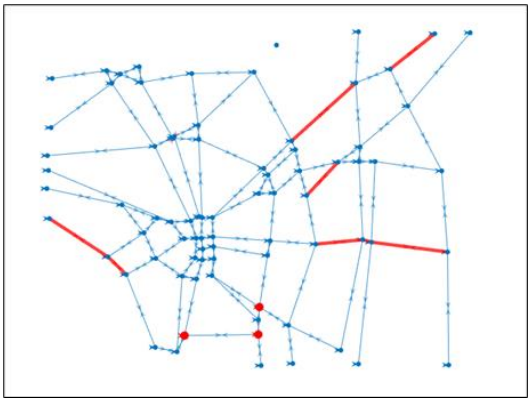


図-10　最適解（ケース 2）

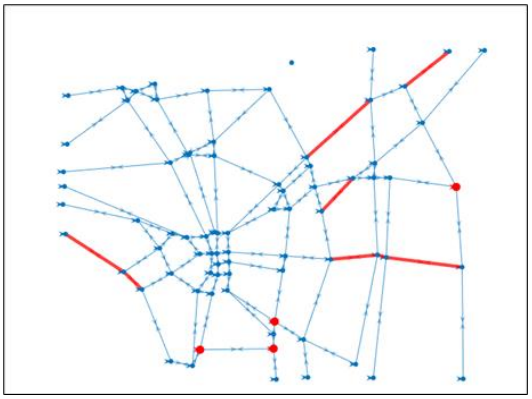


図-13　2 番目の解（ケース 5）

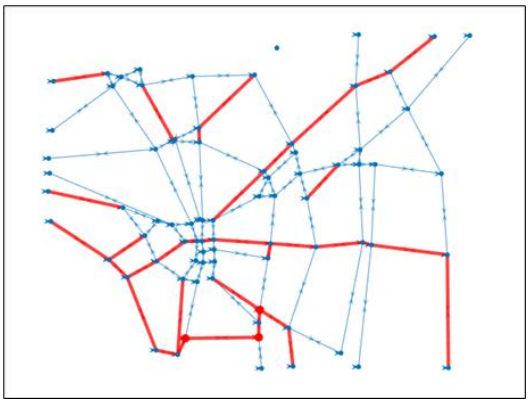


図-11　最適解（ケース 3）

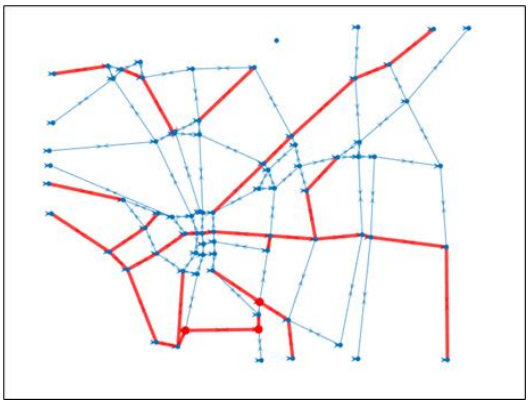


図-14　2 番目の解（ケース 6）

表-10　最適解の設定と効果

ケース	1	2
効果下限値（億円）	0	3
特車費用対効果	0.1337	4.301×10^{-3}
効果（億円）	0.1515	3.044
ケース	3	全箇所
効果下限値（億円）	6	全箇所改良
特車費用対効果	1.187×10^{-3}	2.134×10^{-4}
効果（億円）	6.004	6.382

表-11　2 番目の解の設定と効果

ケース	4	5
効果下限値（億円）	0	3
特車費用対効果	0.1184	4.300×10^{-3}
効果（億円）	0.4362	3.044
ケース	6	
効果下限値（億円）	6	
特車費用対効果	1.185×10^{-3}	
効果（億円）	6.007	

良することが望ましいとの傾向が見られる．なお，特車費用対効果の値については，表-**10** のように，1 を大きく下回る結果となるが，本研究では，特車の走行費用削減のみを効果としており，効果の対象が限定的であるので，1 を下回るので非効率的であるとは言い切れないものと考えられる．

つぎに，最適解に次いで費用対効果が高い解（以降，2 番目の解と称する）について，その傾向を考究した（ケース 4：効果下限なし，ケース 5：効果下限 3 億円，ケース 6：効果下限 6 億円）．算出に際しては，目的関

数の評価時に，最適解の費用対効果の値を 0 にすることで除外するようにした．その結果（図- 12～図- 14，表- 11），解に含まれるいくつかのリンクやノードだけが，最適解とは異なる傾向が見られた．つまり，最適解に見られる傾向は，最適解に固有のものではなく，一般的に有力な傾向であると考えられる．

5. おわりに

本研究では，特車の走行円滑化に資するための道路網改良に焦点を当て，特車の経路選択特性を考慮して，道路網を最適化する手法を提案した．既存の重複率最大化モデルを下位モデルに組み込み，上位レベルを[0,1]の組み合わせ最適化とする問題を定式化し，その解法について検討した．解法については，既存のMPBPSOを基にして，決定変数の次元数が高い場合に中心解への乖離が小さくなるように，伝達関数の改良を試みた．その結果，解精度や計算時間において，性能向上が確認できた．

大阪府の高速道路や一般国道を対象とした道路網を対象として，提案した手法を用いた種々の数値計算（ケーススタディ）を実施した．その結果，改良費用が低廉で，一定の効果のある交差点を優先的に改良すること，および，郊外部と都心部を結ぶ東西・南北方向のリンクを改良することが望ましいことが示された．リンク改良については，主要なOD間の連結性確保に留意することが望ましいということも示唆された．

謝辞：本研究は国土交通省道路局の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」制度により実施されたものである．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) LeBlanc, L.J.: An algorithm for the discrete network design problem. Transportatin Science, Vol. 9 (3), pp. 183-199, 1975.
2) Drezner, Z., Wesolowsky, G.O.: Network design: selection and design of links and facility location, Transportation Research Part A, Vol. 37 (3), pp. 241-256, 2003.
3) Abdulaal, M., LeBlanc, L.J.: Continuous equilibrium network design models, Transportation Research Part B, Vol. 13 (1), pp. 19-32, 1979.
4) Yamada, T., Imai, K., Nakamura, T., Taniguchi, E.: A supply chain-transport supernetwork equilibrium model with the behaviour of freight carriers, Transportation Research Part E, Vol. 47, pp.887-907, 2011.
5) Memg, Q., Wang, X.: Intermodal hub-and-spoke network design: Incorporating multiple stakeholders and multi-type containers, Transportation Research Part B, Vol. 45 (4), pp. 724-742, 2011.
6) 関谷浩孝, 萩野保克, 剣持健, 前田雅人, 田名部淳：道路構造に着目した一般道における大型貨物車の経路選択モデル，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 73 (5), I_527-I_536, 2017.
7) 兵藤哲朗，シジニィ・シュライナー，高橋洋二：東京都市圏物資流動調査を用いた大型貨物車走行経路のモデル分析，土木計画学研究・論文集，Vol. 24, No. 3, pp. 405-412, 2007.
8) 萩野保克，兵藤哲朗，宮原ゆい：特車申請電子データおよび道路情報便覧データを用いた海上コンテナ車の経路選択特性，土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67, No. 5, pp. 599-609, 2012.
9) Yamada, T., Russ, B.F., Castro, J., Taniguchi, E.: Designing multimodal freight transport network: a heuristic approach and applications, Transportation Science, vol. 43, no. 2, pp.129-143,2009.
10) Yamada, T., Febri, Z.: Freight transport network design using particle swarm optimisation in supply chain–transport supernetwork equilibrium, Transportation Research Part E, Vol. 75, pp.164-187, 2015.
11) Kennedy, J. , Eberhart, R.C.: Particle swarm optimization, IEEE International Conference on Neural Networks - Conference- Proceedings, Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
12) Xin, J., Chen, G., Hai, Y.: A particle swarm optimizer with multi-stage linearly-decreasing inertia weight, International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, Vol. 1, pp.505-508, 2009.
13) Robinson, J., Sinton, S., Rahmat-Samii, Y.: Particle swarm and genetic algorithm, and their hybrids: Optimization of profiled corrugated horn antenna, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 1, pp. 314-317, 2002.
14) Mirjalili, S., Lewis, A.: S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary particle swarm optimization, Swarm and Evolutionary Computation, Vol. 9, pp.1-14, 2013.
15) 伊原 滉也, 加藤 昇平：確率分布に基づく離散粒子群最適化法における Lévy flight の導入，知能と情報 Vol. 34 (1), pp. 511-521, 2022.
16) 国土交通省：平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査集計表，https://www.mlit.go.jp/road/census/h27，2023 年 9 月 28 日閲覧.
17) 国土交通省：重用物流道路制度における国際海上コンテナ車の運用について，https://www.mlit.go.jp/ common/001248484.pdf，2023 年 9 月 28 日閲覧.
18) 国土交通省：コンテナ取扱量上位 20 港ランキング, https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001515316.pdf，2023 年 9 月 28 日閲覧.
19) 大阪府：道路の整備に関するプログラム，https://www.pref.osaka.lg.jp/doroseibi/program/index.html，2023 年 9 月 28 日閲覧.
20) 国土交通省：地価公示データ，https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L01-v3_1.html, 2023 年 9 月 28 日閲覧.

ROAD NETWORK OPTIMIZATION FOR OVER-SIZE/OVER-WEIGHT VEHICLES USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Daichi IKEMIYA, Tadashi YAMADA, Qureshi Ali Gul and Yuki MURAKAMI

Over-size/over-weight vehicles, such as container trailer trucks, have a very different traffic behavior as compared to other vehicles. For example, their path choice model may consider the road restrictions due to weight/size limits, and the impedance of the intersections with tight turning radii. Usually, the road network design doesn't consider such a traffic behavior of over-size/over-weight vehicles due to their low traffic volume. However, these play important roles in economies which have higher share of road-based logistics, such as in Japan. Therefore a road network design problem is proposed that includes the route selection characteristics of over-size/over-weight vehicles at the lower level. An improved particle swam heuristic is also proposed for the higher level combinatorial optimization problem, which selects the links/intersections to be improved. In a case study based on the road network of Osaka, it was found how to improve links and intersection in improving traffic conditions for these special-purpose vehicles.