公共交通計画のための計算アルゴリズムの提案と低密度分散化する被災地におけるバス路線再編への適用

吉野　大介[1]・羽藤　英二[2]

[1]正会員　復建調査設計株式会社（〒101-0032 東京都千代田区岩本町3-8-15）
E-mail:yoshino@bin.t.u-tokyo.ac.jp

[2]正会員　東京大学大学院工学系研究科（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）
E-mail:hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

東日本大震災は都市縮退時代の災害として位置づけられる．被災地では今後，仮設住宅から集団移転先等への入居が進む一方，自主再建住宅が分散立地することにより，現在の集落はそれぞれ縮退することになり，需要の低密度分散化が進む．一方で，地域公共交通を取り巻く財政状況は引き続き厳しい状況に置かれ，市民の移動手段の確保及び外出の促進と公共サービスのスリムアップ化の両立の視点が今後ますます重要になる．このような問題は被災地特有のものではなく，進行速度の違いはあれど全国の自治体において今後顕在化する課題であろう．本研究では，このような社会的背景を鑑み，二段階最適化手法を用いて被災地域の復興事業の進捗に伴う交通需要分布の変化と行政・交通事業者の制約を踏まえた公共交通のサービス設計問題を構築する．また，その計算アルゴリズムとしてCross-entropy法を提案する．

Key Words : *bi-level optimization, cross-entropy method, bus network design, low-density city*

1. はじめに

世界に先駆けて超高齢社会を迎える日本において，特に地方部での高齢化・過疎化は深刻である．近年，過疎地域における限界集落の問題が表面化し，消滅へと向かう集落も散見されている．人口動態予測の観点からは，遠くない将来に日本の地方全域に共通の問題となることは容易に予想され，離散的に存在する集落がそれぞれ縮退するなかで，いかに集落を維持していくかという視点が今後全国的に重要となる．

わが国における未曽有の災害である東日本大震災の被災地域においてもこのような縮退局面での持続可能な都市構造の構築が復興を考える上での重要課題となっている．例えば，東日本大震災により甚大な津波被害を受けた岩手県陸前高田市では，被災した公共施設・商業施設等は中心部のかさ上げ地区へ，住宅は集団移転先等へコンパクトに集積する計画である一方，自主再建住宅が分散立地することで震災前よりも低密度分散化する可能性があると言われている[1]．これらの需要変動は，通常は中長期（5年～10年程度）のタイムスパンで進行することが多いが，被災地においては復興期間内という比較的短期間のうちに進行することになる．

需要の縮小と財政面での制約等により，住民の生活を維持するための公共サービスについても縮小せざるを得ないという判断を下す自治体は全国でも数多く見受けられる．しかし，そのような中でも持続的な都市構造を構築し，生活の利便性を保ちながら生活できる環境を整えることは，社会基盤の使命であり，公共交通サービスがその一端を担う位置づけであることは言うまでもない．持続可能な都市構造を構築するためには，基幹的交通と支線の設定を網形成計画の中で明確化しつつ，病院・学校等の主要な都市機能の立地等について検討を行うことが重要である．その際には，交通網と拠点施設のどちらか一方を固定して検討するのではなく，両方の視点からその検討を行う必要がある．特に被災地のように今後の立地の変化に伴う需要変動と公共交通網を同時に計画する必要があるような場面ではその必要性が高いと言えよう．交通と都市構造を両輪で検討することで地域の移動の効率化や公共交通網の持続可能性を高めることができることから，都市が低密度分散化する局面においては，その考え方を整理し都市構造の誘導に活用することが都市の持続可能性を高める上で有効であると考えられる．

このような社会的背景を踏まえ，本研究は需要変動下において行政・交通事業者の各種制約を踏まえた最適サービス決定問題を構築し，その計算アルゴリズムを提案するとともに，観測データを用いた実装を行うことを目的としている．

2. 公共交通の最適サービス決定問題

筆者が構築した二段階最適化問題による公共交通最適サービス決定モデル[2]をベースに，低密度分散化が進む過疎地の共通課題である運行経費の確保，人員・車両の確保の重要性を鑑み，上位問題の定式化を見直した．

(1) 上位問題の定式化

a) ネットワーク形状の記述

制約条件内のネットワーク形状の記述は以下の通りである．まず，全てのルート$r \in R$は起点停留所ノードセットUから出発し，終点停留所ノードセットVに帰着する制約について，接続状態を示唆する0-1ダミー変数X_{ijr}を用いて設定する．ここで，i,jはノード番号を示す．

$$\sum_{j \in U \cup \{0\}} X_{0jr} = 1 \quad for \quad r = 1\ to\ R_{\max} \tag{1}$$

$$\sum_{i \in V \cup \{0\}} X_{i0r} = 1 \quad for \quad r = 1\ to\ R_{\max} \tag{2}$$

また，起終点以外の停留所ノードについては必ず前後ノードを設置するとともに，各停留所ノードはいずれかのルートで一度以上選択される．ここで，Z_Uは全ノードセットを示す．

$$\sum_{\substack{i \in Z_U \cup \{0\} \\ i \neq j}} X_{ijr} - \sum_{\substack{i \in Z_U \cup \{0\} \\ i \neq j}} X_{jir} = 0\ for\ j \in Z_U,\ r = 1 to R_{\max} \tag{3}$$

$$\sum_{\substack{i \in Z_U \cup \{0\} \\ i \neq j}} X_{ijr} \leq 1 \quad for \quad j \in Z_U,\ r = 1\ to\ R_{\max} \tag{4}$$

$$\sum_{\substack{i \in Z_U \cup \{0\} \\ j \neq i}} X_{ijr} \leq 1 \quad for \quad j \in Z_U,\ r = 1\ to\ R_{\max} \tag{5}$$

$$X_{jjr} = 0 \quad for \quad j \in Z_U,\ r = 1\ to\ R_{\max} \tag{6}$$

目的地ノード$e \in G_d$は終点停留所ノード$e' \in H_e$と接続する．なお，δ_r^eはルートrがセントロイドeに繋がるターミナルと接続している場合1，そうでない場合0を取るダミー変数である．

$$\delta_r^e = \sum_{i \cup Z_U / V} \sum_{e' \in H_e} X_{ie'r} \quad for \quad e \in G_d \tag{7}$$

セントロイドノードm（$\in G_s$）については式(8)により必ずどこか1つの停留所ノードに接続される．

$$\sum_{r=1}^{R_{\max}} \sum_{i \in H_m} \sum_{j \in Z_U \cup \{0\}, j \neq i} X_{ijr} \geq 1 \quad for \quad m \in G_s \tag{8}$$

部分巡回路（全ての停留所ノードを通らず停留所ノードの部分集合を巡回する閉路）を除くための制約を式(9)の通り設定する．q_{ir}は部分巡回路排除のためのルートrノードiにおけるポテンシャル指標，pは巨大数である．

$$q_{ir} - q_{jr} + pX_{ijr} \leq p - 1\ for\ i, j \in Z_U,\ i \neq j,\ r = 1\ to\ R_{\max} \tag{9}$$

b) 所要時間の定義

ルートrの所要時間T_rは，停留所における平均停車時間s_tとリンクの最短乗車時間c_{ij}の和により式(10)の通り表現される．

$$T_r = \sum_{i \in Z_U} \sum_{j \in Z_U, j \neq i} X_{ijr} \left(c_{ij} + s_t\right) - s_t\ for\ r = 1\ to\ R_{\max} \tag{10}$$

c) サービス提供に係る制約

ネットワーク全体での運用車両台数W，各ルートの最小運行頻度$f_r > f_{min}$，停留所ノード最大数S_{max}，移動時間$T_r < T_{max}$に係る制約は以下(11)-(14)の通りである．

$$\sum_{r=1}^{R_{\max}} 2 f_r T_r \left(1 - X_{00r}\right) \leq W \tag{11}$$

$$f_{\min}\left(1 - X_{00r}\right) \leq f_r \quad for \quad r = 1\ to\ R_{\max} \tag{12}$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in C, j \neq i} X_{ijr} \leq S_{\max} \quad for \quad r = 1\ to\ R_{\max} \tag{13}$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in C, j \neq i} X_{ijr} \left(c_{ij} + s_t\right) - s_t \leq T_{\max}\ for\ r = 1\ to\ R_{\max} \tag{14}$$

車両については小型車両（ジャンボタクシー・マイクロバス等）および大型車両（バス）に分類し，ノードmから目的地eへの需要d_m^eと各車両容量（つまり定員）k_{caps}，k_{capl}を踏まえ各ルートへの割り付けを行う．

$$\sum_{r=1}^{R_n} f_r k_{caps} \delta_r^e + \sum_{r=R_{n+1}}^{R_{\max}} f_r k_{capl} \delta_r^e \geq \sum_{m \in G_s} d_m^e\ for\ e \in G_d \tag{15}$$

また，小型・大型車両それぞれの時間当たり輸送単価p_s，p_lをもとに，対象地域における公共交通関連の予算制約p_{lim}下で運行する制約を式(16)により設定する．

$$p_s \sum_{r=1}^{R_n} f_r \delta_r^e T_r + p_l \sum_{r=R_{n+1}}^{R_{\max}} f_r \delta_r^e T_r = p_{\lim} \tag{16}$$

e) 事業者の損失額最小化（行政の赤字補填額最小化）

目的関数については，主にわが国の過疎地域におけるバス事業の現況を鑑み，事業者の損失額最小化（多くの自治体においては行政の赤字補填額最小化と同義となる）とした．具体的には，式(17)の通り，運行経費単価p_{out}と1乗車あたり運賃p_{in}をもとに全ルートに係る運行経費・運賃収入の総額を算出し，両者の差分を最小化する

定式化としている．

$$\min_{\mathbf{x},\mathbf{f}} z_1 = \sum_{r=1}^{R_{\max}} \left[p_{out} f_r T_r \left(1 - X_{00r}\right) \cdot T_r - p_{in} \sum_{t \in T^R} \sum_{e \in G_d} T_r v_a^e \right] \quad (17)$$

(2)　下位問題の定式化

下位問題は上位問題によって決定したルートに基づき，以下の定式化により需要配分を行う．配分にあたっては，期待乗車時間$c_a v_a^e$及び期待待ち時間w_i^eの合計で表現される総期待所要時間（一般化時間化したもの）を最小化するルートを選択する．

$$\min_{\mathbf{v},\mathbf{w}} z_2 = t_1 \left(\sum_{a \in A} \sum_{e \in G_d} c_a v_a^e \right) + t_2 \left(\sum_{i \in Z_L} \sum_{e \in G_d} w_i^e \right) \quad (18)$$

ここで，$a \in A$，$i \in Z_L$は下位問題のリンク及びノード，t_1は乗車時間を一般化時間化するための係数，t_2は待ち時間を一般化時間化するための係数である．

期待待ち時間w_i^eと乗客数v_a^e，運行頻度f_aの関係は以下の通りである．

$$v_a^e \le f_a w_i^e \quad for \quad a \in A_i^+, i \in Z_L, e \in G_d \quad (19)$$

また，リンクフロー保存及び容量k_{cap}に関する制約を式(20)-(21)により設定する．ここで，A_i^+はノードiから出発するリンク集合，A_i^-はノードiに侵入するリンク集合を意味する．

$$\sum_{a \in A_i^+} v_a^e = \sum_{a \in A_i^-} v_a^e + d_i^e \quad for \quad i \in Z_L, e \in G_d \quad (20)$$

$$\sum_{e \in G_d} v_a^e \le f_a k_{cap} \quad for \quad a \in A \quad (21)$$

乗客数v_a^e及び期待待ち時間w_i^eについては式(22)-(23)の通り非負制約を課す．

$$v_a^e \ge 0 \quad for \quad a \in A, e \in G_d \quad (22)$$

$$w_i^e \ge 0 \quad for \quad i \in Z_L, e \in G_d \quad (23)$$

(3)　計算アルゴリズム

下位問題は各ODペアごとに割り当てられたルートに対し需要配分を行うことから，単純に一般化時間に基づく最短経路探索により計算が可能である．一方，上位問題については，全停留所ノードの中からどのノードを選択してルートを構成するかという組み合わせ最適化問題となり，膨大な組み合わせがあり全ての解を列挙することはできないため，何らかのヒューリスティクス手法を用いる必要がある．Ibarra-Rojas et al.(2015)[3]のレビューによると，ルート最適化問題については，数ノードで構成されるサンプルネットワークであれば厳密解法で解くことができるが，実ネットワーク等の複雑なネットワーク

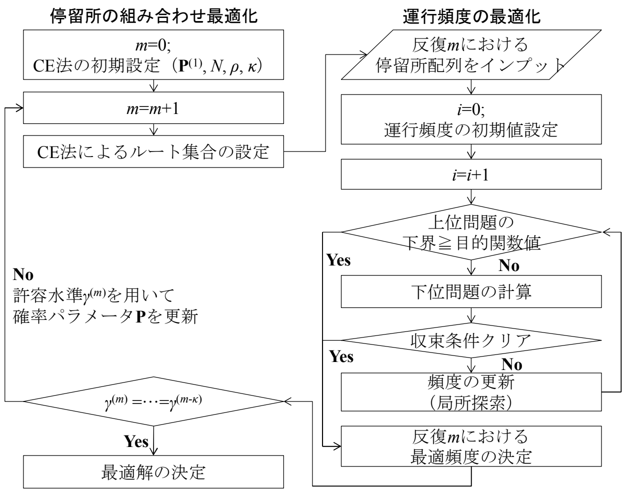


図-1　計算方法

に適用する場合にはヒューリスティクス手法が用いられており，GA，ABCアルゴリズム等が一般的に用いられている．一方で，これらのヒューリスティクス手法は問題に応じた解の改訂ルールの設計，近傍の設定，パラメータチューニング等に対して労力がかかる点が課題であり，本研究ではこれらの負担が必要とせず，アルゴリズム設計において任意性がほとんど介入しないCross-entropy法（CE法）を用いて求解する．CE法は上記の利点のほか，和田ら(2014)[4]は厳密解法とアニーリング法に基づく解法との比較の結果，CE法が高速に最善解へ収束することを明らかにしており，実務利用を念頭に置いた大規模な問題においても適用可能性を有している手法である．

本研究における二段階最適化問題の計算アルゴリズムについては，Szeto and Jiang(2014)[5]を参考にしつつ，CE法を組み込む形で**図-1**の通り設定した．具体的には，上位問題を停留所配置問題と運行頻度決定問題に分割し，前者をCE法で，後者は分枝限定法により下位問題と組み合わせる形で計算する．

a)　CE法の概要

CE法はRubinstein(1999)[6]が稀少事象確率を推定するための手法である分散減少法を更に拡張したものである．組み合わせ最適化問題の解法としてのCE法とは，ある確率分布に従って解候補を生成し，確率密度関数が理想的な重点抽出密度に近づくように（Cross-entropyを最小化するように）確率分布を更新するというものである．

本研究にて構築した上位問題は概念的には以下の最適化問題として定式化される．

$$S\left(\mathbf{z}^*\right) = \gamma^* = \max_{\mathbf{z} \in \mathbf{Z}} S(\mathbf{z}) \quad \left(S(\mathbf{z}) = -z_1(\mathbf{z})\right) \quad (24)$$

ここでは上位問題をルート集合$\mathbf{z}$のみを変数として扱っている．CE法ではこの問題(24)を以下の確率(25)を推定する問題に帰着させる．

$$l = \mathbf{P_u}\{S(\mathbf{Z}) \le \gamma\} = \sum_{\mathbf{z}\in\mathbf{Z}} I_{\{S(\mathbf{z})\ge\gamma\}} f(\mathbf{z};\mathbf{u}) = E_u I_{\{S(\mathbf{Z})\ge\gamma\}} \quad (25)$$

ここで，lはある確率密度パラメータ$\mathbf{P}\in\mathcal{P}$のもとで，確率密度関数$f(\cdot;\mathbf{P})$に従う確率変数（ルート集合）$\mathbf{Z}$が許容水準γと同じかそれより小さい目的関数を実現する確率である．$\mathcal{P}$は確率パラメータの許容集合である．最適化問題(24)を解くことは，この許容水準を最適化問題(24)の最適値γ^*としたときの推定問題(25)を解くことと等価である．$I_{\{S(\mathbf{z})\ge\gamma\}}$は指示関数であり，$S(\mathbf{z})\ge\gamma$ならば1，そうでなければ0である．

ただし，許容領域を満たすルート集合は膨大であるため，CE法では$I_{\{S(\mathbf{z})\ge\gamma^*\}}$が稀少事象とならないように，重点抽出密度$g(\cdot)$を用いた重点サンプリングに基づく推定法を採用する．そして，最適重点抽出密度g^*（ほとんど1の確率で最適解を生成する確率密度）と確率密度gのKullback-Leiblerダイバージェンスが最小となるようにパラメータ$\mathbf{P}$を設定する．Kullback-Leiblerダイバージェンスを最小化するようなパラメータ$\mathbf{P}^*$は,

$$\mathbf{P}^* = \operatorname*{argmax}_{\mathbf{P}} \sum_{\mathbf{z}\in\mathbf{Z}} I_{\{S(\mathbf{z})\le\gamma\}} f(\mathbf{z};\mathbf{P}) \ln f(\mathbf{z};\mathbf{P}) \quad (26)$$

と与えられるが，全ての$\mathbf{z}$を数え上げるのは不可能であるので，ある確率分布$f(\cdot;\mathbf{P})$に従って生成されたサンプル$Z_1,\ldots,Z_k,Z_N$を用いて$\mathbf{P}^*$を推定する．

$$\hat{\mathbf{P}}^* = \operatorname*{argmax}_{\mathbf{P}} \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} I_{\{S(\mathbf{Z}_k)\le\gamma\}} \ln f(\mathbf{Z}_k;\mathbf{P}) \quad (27)$$

この$\hat{\mathbf{P}}^*$で確率パラメータ$\mathbf{P}$を更新し，その確率密度関数に従って新たなルート集合のサンプルを生成していくことで，より最適解に近い解が得られる．

b) 上位問題への適用方法

本研究で対象とする問題の解である戦略kにおけるルート集合$\mathbf{z}^k$が生成される確率をP^kとすると，確率密度関数$f(\cdot;\mathbf{P})$は以下の通り表される．

$$f(\cdot;\mathbf{P}) = \prod_k P^k \quad (28)$$

更に，起点ノードから終点ノードまでの経路選択についてマルコフ連鎖を考えると，推移確率行列$\mathbf{P}^k$を用いて以下の通り表すことができる．

$$f(\cdot;\mathbf{P}) = \prod_k \sum_{ij} p_{ij}^k RT_{ij\mathbf{z}^k} \quad (29)$$

ここで，P_{ij}^kは戦略kにおけるルート集合の推移確率行列の要素，$RT_{ij\mathbf{z}}^k$はルート集合$\mathbf{z}^k$にリンク(i,j)が含まれていれば1，それ以外は0を取る行列である．推移確率行列は,各列の合計が1になる必要があるため，確率パラメータ$\mathbf{P}$の推定問題は以下の通りとなる．

$$\max_{\mathbf{P}} .\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} I_{\{S(\mathbf{z}_k)\le\gamma\}} \ln \prod_k \sum_{ij} p_{ij}^k RT_{ij\mathbf{z}^k} \quad (30)$$

$$s.t. \quad \sum_j p_{ij}^k = 1 \quad k = 1\ to\ N \quad (31)$$

この問題をラグランジュの未定乗数法で解くと，p_{ij}^kの推定値は式(32)の通り与えられる．

$$\hat{p}_{ij}^r = \frac{\sum_{k=1}^{N} I_{\{S(\mathbf{z}_k)\le\gamma\}} RT_{ij\mathbf{z}^k}}{\sum_{k=1}^{N} I_{\{S(\mathbf{z}_k)\le\gamma\}} NR_{i\mathbf{z}^k}} \quad (32)$$

ここで，$NR_{i\mathbf{z}}^k$はルート集合$\mathbf{z}^k$にノードiが含まれれば1,それ以外は0をとる接続行列である．

上記の定式化により，確率分布fはマルコフ連鎖での推移確率行列により表すことができた．すなわち，起点から推移確率行列に従って終点に到着するパターンをサンプルとして抽出することになる．このサンプルは上位問題のネットワーク形状の記述に係る制約条件を満たしており，効率的にサンプルを生成することができる．しかしながら，上位問題はネットワーク形状以外にも予算制約，容量制約等が付与された最適化問題であるため,これらの制約への対うとして，Kroese et al. (2006)[7]を参考に，ペナルティ法を用いた目的関数を設定し，制約条件の表現を試みる．ペナルティ関数のアイデアは，制約付きの問題に対して，制約を破ることを表す項を目的関数に重みを付けて加えることにより，本来の問題を制約のない問題に変形することである．具体的には，目的関数を式(33)の通り修正する．

$$\hat{S}(\mathbf{z}) = S(\mathbf{z}) + \sum_{i=1}^{k} H_i \max\{G_i(\mathbf{z}),0\} \quad (33)$$

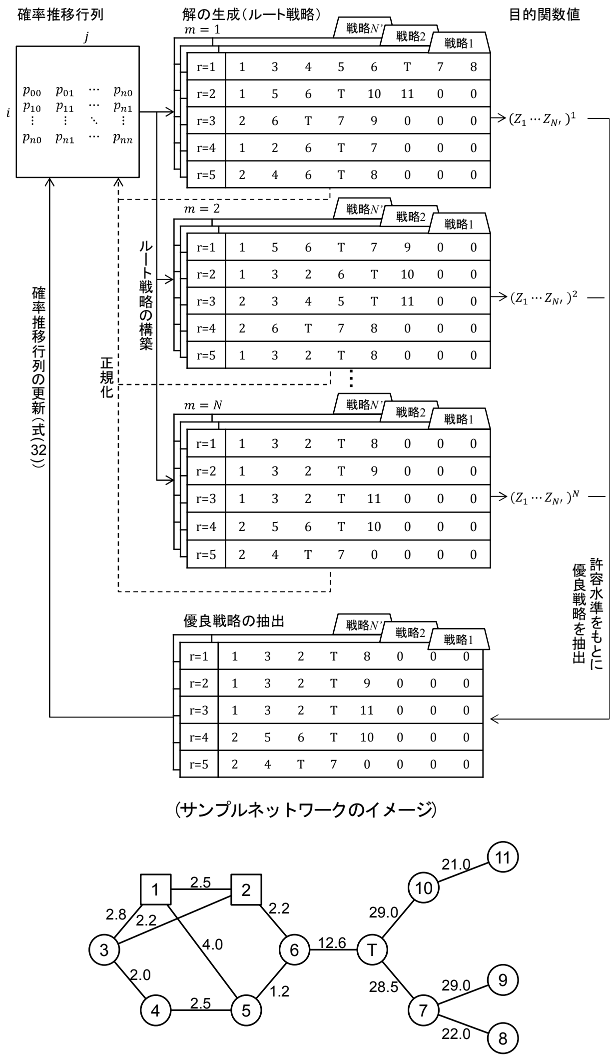
ここで，$H_i<0$は，i番目のペナルティの重要性を評価するものである．なお，制約を考慮せずに生成し，採択・棄却を決定する方法もあるが，実行可能なサンプルが見つかるまでに多数のサンプルが棄却される可能性が高く,効率的ではないため，ペナルティ法を採用した．

以上を踏まえ，本研究におけるCE法の手順は以下の通りまとめられる．具体的な計算手順については**図-2**にイメージを示す．

Step 0（初期設定）適当な初期確率推移行列$\mathbf{P}^{(1)}$，生成サンプル数N，分位点（有料戦略の抽出比率）ρ，収束条件κを与え，繰り返し回数m=1として開始する．

Step 1（解の生成）確率推移行列$\mathbf{P}^{(m)}$を持つマルコフ連鎖によってルート集合のパターンをNセットずつ生成し，式(33)により各セットのペナルティ項付き目的関数値を計算し，それぞれZ_kとする．次に全てのZ_kを小さい順に並び替え，ρN番目の値を許容水準$\gamma^{(m)}$とする．$\gamma^{(m)}$に基づいて優良戦略集合ε_mを式(34)の通り設定する．

$$\varepsilon_m = \{k : Z_k \le \gamma^{(m)}\} \quad (34)$$



※1・2が起点ノード／7〜11が終点ノード，リンク上の数値は乗車時間

図-2　CE法適用イメージ

Step 2（確率分布の更新）許容水準$\gamma^{(m)}=\ldots=\gamma^{(m+k)}$となれば$\mathbf{P}^{(m)}$を最適確率パラメータとして終了する．そうでなければ$m=m+1$としてStep 1に戻る．

この手順により，確率パラメータ$\mathbf{P}^{(m)}$が最適解のみを極めて高い確率で生起させるようなパラメータ$\mathbf{P}^{*}$に収束する．

3.　バス路線再編計画への適用

東日本大震災沿岸被災自治体のひとつである岩手県陸前高田市のバス路線再編に係る検討において，第2章で構築したモデルとアルゴリズムを援用する．計算結果については研究発表会において報告する予定である．

4.　まとめと今後の課題

本研究では，被災地域の復興事業の進捗に伴う交通需要分布の変化と行政・交通事業者の制約を踏まえた公共交通のサービス設計問題を二段階最適化問題により定式化し，CE法の活用により効率的に求解する方法を提案した．

今後検討すべき課題として，需要が疎な地域の公共交通の実態を踏まえた下位問題の見直しが挙げられる．例えば，赤星ら(2012)[8]は，極めて低頻度の公共交通ネットワークにおいては，停留所での待ち時間が非常に長くなる場合があり，平均待ち時間のみでは適切な評価ができない恐れがあるという問題意識から，Hyperpathを用いた頻度ベースでの分析ではなく，時空間ネットワークを用いた時刻表ベースでの公共交通網と都市構造の関連分析を行っている．今後，需要が疎な地方部における交通利用実態を調査した上で，適切な定式化について検討を進めたい．

参考文献

1) 矢ケ﨑太洋, 吉次翼: 岩手県陸前高田市における東日本大震災後の都市復興と住宅再建, 地理空間, Vol.7, No.2, pp221-232, 2014.
2) 吉野大介, 羽藤英二: 二段階最適化を採用した公共交通の最適サービス決定問題～被災地域の公共交通計画を例に～, 土木計画学研究・講演集, Vol.50, CD-ROM, 2014.
3) Ibarra-Rojas, O.J., Delgado, F., Giesen, R. and Munoz, J.C.: Planning, operation, and control of bus transport systems: Aliterature review, *Transportation Research Part B*, Vol.77, pp.38-75, 2015.
4) 和田健太郎, 柳沼秀樹, 臼井健人: ネットワーク・モデリングに基づく動的交通信号制御問題に対する解法の構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.50, CD-ROM, 2014.
5) Szeto, W.Y. and Jiang, Y.: Transit route and frequency design: Bi-level modeling and hybrid artificial bee colony approach, *Transportation Research Part B,* Vol.67, pp.235-263, 2014.
6) Rubinstein, R.Y.: The cross-entropy method for combinatiorial and continuous optimization, *Methdology and Computing in Applied Probability*, Vol.1, pp.127-190, 1999.
7) Kroese, D.P., Porotsky, S. and Rubinstein, R.Y.: The cross-entropy method for continuous multi-exteremal optimization, *Methdology and Computing in Applied Probability*, Vol.8, pp.383-407, 2006.
8) 赤松健太郎, 高松瑞代, 田口東, 石井儀光, 小坂和義: 低頻度な公共交通網を有する地域の移動利便性の評価手法に関する研究, 都市計画論文集, Vol.47, No.3, pp.847-852, 2012.

(????. ?. ? 受付)

PROPOSAL OF A CALCULATION ALGORITHM FOR PUBLIC TRANSPORTATION PLANNING AND THEIR APPLICATION FOR BUS SERVICE REORGANIZATION OF LOW DENSITY CITY IN DISASTER AREAS

Daisuke YOSHINO and Eiji HATO