

デマンドバス配車配送計画の実用的解法*

A Practical Approach to Demand Bus Routing Problem *

松本修一**・國府方久史***・清水洋一郎***・川嶋弘尚***

By Shuichi MATSUMOTO**・Hisafumi KOKUBUKATA***・Yoichiro SHIMIZU***・Hironao KAWASHIMA***

1. はじめに

わが国では高齢社会の進展による様々な影響が各分野においてみられるようになってきている。交通の分野においても、地方都市においては、モータリゼーションに端を発した自動車中心の生活の中で、公共交通を用いた安定したモビリティの確保が必要となっている。また、平成14年に施行された改正道路運送法によりバス事業者の赤字路線からの撤退が自由化されたことで、地方の過疎地を中心に不採算路線からの撤退を申請する事業者が続出している。しかし、バスは高齢者や学生など車を持たない人々にとっては欠かすことのできない交通手段であるため、自治体などを中心に事業を継続するために経営の再編を図る動きも見られる。

その中でもデマンドバスは、路線バスとタクシーとの良い面を活かした乗り物であり、従来の路線バスの特徴である定時・定路線の運行方法から、利用者の需要に応じて時間と路線を柔軟に対応したサービスを提供することが可能であるため注目されている。

デマンドバスは路線やダイヤ、バス停の設定に自由度があるため、それらの組合せによって多様な運行形態が存在する。林・湯沢¹⁾の研究では、デマンドバスの運行形態は大きく以下の3つに分類される。

① 時刻固定・路線迂回型

主要なバス路線と時刻表が予め決められており、利用者からの予約がある場合のみバスルートを経由する

② 時刻固定・路線非固定型

始発と終点のバス停および時刻表が決められており、利用者からの予約に応じてバスルートを決定する

③ 時刻非固定・路線非固定型

決められた時刻と路線がなく、利用者の予約に応じてバスの運行を行う

デマンドバスについては、山口等²⁾が、IT機能を用いた高額かつ高ランニングコストのシステム導入が必要な場合、自治体経営を圧迫する可能性を指摘している。また、前述の林・湯沢によると、時刻固定・路線非固定型や時刻非固定・路線非固定型のデマンドバスに関しては、コンピュータやGPSなどを活用したシステムが必要のため、初期投資コストや通信費用がかかることが指摘されている。一方、元田等の研究³⁾では、時刻固定・路線迂回型に関しては、タクシー会社のノウハウや機材を活用出来るため初期投資コストや運用コストを抑えることが可能であることを示唆している。

デマンドバス事業も他の交通事業同様、車両や乗員を固定的に確保しておく必要があり、上記の指摘もあわせれば、デマンドバスの導入・運営費用は、必ずしも低いわけではない。こうした状況を踏まえれば、地域の足の確保など様々な理由により、デマンドバスを実際に導入することになった場合、コスト削減と利便性の確保を併せて検討し、効率的な運営がなされなければならない。

デマンドバスは需要に応じて運行するため、場合によっては、一部の利用者の予約を拒否せざるをえなくなることもある。このような問題点は、デマンドバスを効率的に運行させることで解決できる場合もある。また、運行を効率的にすることは、経費節減に繋がるため、デマンドバス事業の維持には不可欠である。本稿では、デマンドバス運行の効率性を高める一手法として、運用計画作成の新たな手法を提案し、その手法を用いて行った計算機実験を行う。

*キーワード：計画手法論、経路選択、情報処理

**正員、博（工）、高知工科大学 総合研究所
(高知県香美市土佐山田町宮の口、
TEL0887-57-2760、FAX0887-57-2777)

***非員、工修、慶應義塾女子高等学校

***非員、工修、野村総合研究所

***正員、工博、慶應義塾大学 理工学部

2. 本研究の位置付け

運行問題の効率化の観点から研究した先行事例としては、巡回セールスマン問題を中心とした最適化手法を応用したものが多く、利用者に提供するサービスとデマンドバスの運行時間の加重和を最小化する配車配送方法

を求めるDARP問題の解法を提案したAmaldi, et al⁴⁾、利用者のサービス時間帯を早着、遅刻を禁止する hard time windowだけでなく、時間的制約を若干緩くした soft time windowを用いて配車配送システムの近似解を求めるアルゴリズムを提案した山内他⁵⁾、リアルタイム処理により経路や時刻を完全に非固定にしたスケジューリングアルゴリズムを開発した大和他⁶⁾ など理論や実用化を視野にした実務的なものなど様々な研究が行われている。

一方、DARP (Dial A Ride Problem) では、各乗客が指定した乗車・降車の時間帯制約と場所の要求を満たしながら、同じ乗車定員をもつ複数の車両を用いて、運行コストが最小になる運行計画を作成する。DARPはNP (Non-deterministic Polynomial) 困難な組合せ最適化問題であり、厳密解法では解くことがきわめて難しいため、メタヒューリスティクス(汎用近似解法)を用いて解を探索することが多い。代表的なメタヒューリスティクスには、染色体の遺伝子配列をモデル化し、配列の変形による進化のメカニズムを確率的探索 (Stochastic Search) に適用したGA法 (Genetic Algorithm)、探索において同じ解に戻ることを避ける工夫として一度行なった解の変形をある繰返し回数の間禁止するTS法 (Tabu Search)、および本研究で用いるSA法 (Simulated Annealing) などがあ

る。Cubillos et al⁷⁾は、GA法をDARPに応用した。また、Cordeau and Laporte⁸⁾はTS法を用いて、以前に他の配送計画問題を解く際に有効性が示されている手法⁹⁾をDARPに応用し、車両の乗車定員および各乗客の乗車または降車の時間帯制約に加えて、車両の最大稼働時間、各乗客の最大乗車時間の制約を満たしながら、総走行コストを最小にするアルゴリズムを提案した。

本研究では、SA法を用いてDARPを解く新たなアルゴリズムを提案する。本研究は、デマンドバス運行の基礎的研究に位置づけられ、デマンドバスの経路削減に資するため、DARPの新たな手法を提案するものである。

3. DARPの新たな解法の提案

(1) 本研究で用いるアルゴリズム

本研究では、SA法を用いて、Cordeau and Laporte⁸⁾が提示した例題を解くアルゴリズムを考案し、その性能を比較した。SA法は、熱した固体を徐々に冷却すると、完全格子をもつ構造に再結晶できるという、金属工学における原理を取り入れた確率的探索手法である。SA法では、繰返し計算における現在の解の近傍解のうちの1つをランダムに選んで次の解の候補とするが、評価関数の値が改善する場合だけでなく、温度に対応する変数を

用い、その値に従う確率で、評価関数が一時的に改悪する場合も次の解として受理する。解探索の初期では、温度変数の値を大きく設定し、解の改悪を実行する確率を高くして局所最適解に陥らないようにし、徐々に温度変数の値を低くしていった探索の後期には、改悪の確率を減らし大域的な最適解への収束を促す。

本手法では、Cordeau and Laporteの研究と同様に、以下の評価関数によって解を評価して最小化を図る。

$$f(s) = c(s) + \{\alpha q(s) + \beta d(s) + \gamma w(s) + \delta t(s) + \varepsilon k(s)\} \quad (1)$$

ここで、 $c(s)$ は解 s の総走行コスト、 $q(s)$ は車両定員違反量の合計、 $d(s)$ は車両の稼働時間違反量の合計、 $w(s)$ は乗客の時間帯制約違反量の合計、 $t(s)$ は乗客の最大所要時間違反量の合計、 $k(s)$ は違反項目数の合計、 α 、 β 、 γ 、 δ 、 ε は各項の重み係数である。コスト項である $c(s)$ は走行距離や走行時間といった最小化の目的であり、また、 $c(s)$ 以外のペナルティ項は問題の制約条件を満たさない違反量を測るもので、これを加算し最小化することで制約条件を満たす最適解を求めようとする。ペナルティ項の和が0でない解は実行不可能解であるが、ペナルティ項の重みが大きければ、 $f(s)$ を最小化することにより、実行可能解を得られる。目的関数における重み係数は、予備計算実験における計算時間と得られる解の質を勘案して、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = \gamma = \delta = 0.1$ 、 $\varepsilon = 5$ から始め、各制約条件を個別にチェックし、満たしているものにはその重み係数を $1/(1+\lambda)$ 倍、満たしていないものには $1+\lambda$ 倍する。ただし、違反回数項は他の制約条件の状態に依存するため、4つの制約の全てを満たしていれば、 $1/(1+4\lambda)$ 倍、1つでも満たしていないものがあれば、 $1+\lambda$ 倍するものとした。ここで、 α 、 β 、 γ 、 δ に対する λ は0.01、 ε に対する λ は0.04とした。

本提案手法に適用したSA法のアルゴリズムは、Johnson et al¹⁰⁾によるパラメータ表記(大文字斜体のもの)を用いて、以下のように表示できる。他の手法のように、いくつかの凝った部分アルゴリズムを統合して大域的最適化を図ることがないため本手法はきわめて単純な構成になっている点が特徴である。

- 1 初期解 x を生成
- 2 評価関数の値 f を最良値 f^* として記録
- 3 同一温度での平均探索近傍数 N を指定
- 4 温度変数 T を $INITTEMP$ に設定
- 5 試行回数 $trials := 0$,
解変形実施回数 $changes := 0$ に設定
- 6 近傍解のランダムな生成 $trials := trials + 1$
- 7 評価関数を改良するときは必ず、改悪するときも T の値に従う確率で解変形を受理し、

- $changes := changes + 1$, 状態 x の更新,
- 従来の最良値よりも良い解であるとき、最良値 f^* の保存, 最良解 x^* の保存
- 8 $trials < SIZEFACTOR \cdot N$ かつ
- $changes < CUTOFF \cdot N$ なら step 6へ
- 9 $T := T \cdot TEMPFACTOR$
- 10 $T > INITTEMP / FINDIVISOR$ なら step 5へ
- 11 最良解 x^* の出力

(2) スtringモデルによる解の表現と最適解探索のための解の変形方法

本研究で提案する手法では、Kokubugata et al¹¹⁾によって、積載制約のある複数の車両が倉庫から出発してデマンドのある顧客へ荷物を配達して倉庫に戻る配送計画問題 (VRP) のために考案されたString形式のデータモデルを応用して、複数の車両が利用者を訪問する順番 (DARPの解) を表す。一般にVRPの解は各車両のルートが車両の出発地かつ最終到着地 (以下「デポ」と記す) を中心に結びついた形をしている。利用者の利用地点を示す記号“a~h”とデポを示す記号“0”から成る各車両のルートをつなぐ紐状に展開し、図1のように横1列の1次元配列で表現したものがStringモデルである。

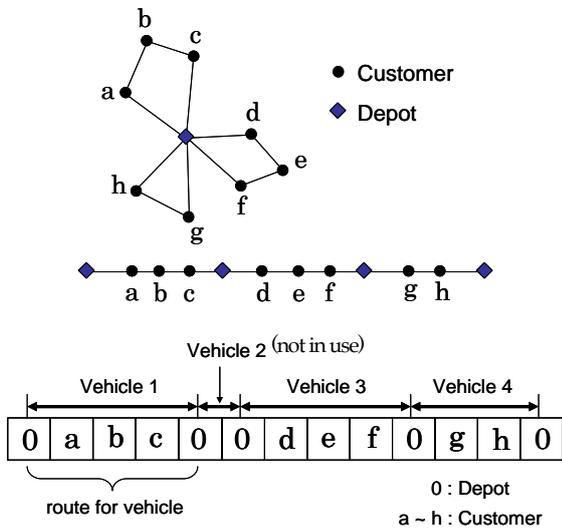


図-1 VRPのためのStringモデル

また、Kokubugata and Kawashima¹²⁾が指摘するように、Stringモデルは基本的なVRPだけでなく、車両の回転利用が可能なケース、時間帯制約付きの問題などに対しても応用可能であることが示されており、拡張性、発展性の高い解の表現方法である。Stringモデルに対して、両端以外の“0”を他の文字と同等に扱う文字列の変形を行うことで、利用者の車両への割り当て (クラスタリング) と巡回順の決定 (ルーティング) を

同一の手順内で行うことができる。

次に、デマンドバスの運行計画をStringモデルで表現する方法と、その解表現に確率的に適用する変形方法である、削除・挿入と1対1交換について説明を行う。デマンドバスの運行計画をStringモデルで表現するには、利用者一人につき乗車と降車の2つの項目を用意し、各利用者の乗車と降車のペアが必ず同じ車両内に属するように、また乗車が降車より先に現れるように作成しなければならない。最適解の探索における近傍解の作成 (解の変形) 手順においては、代表的な近傍解作成の手法でありそれぞれの変形効果が期待される削除・挿入 (図2) と1対1交換 (図3) の2種類の試行変形方法のうちどちらか1つを1:1の確率でランダムに適用する。

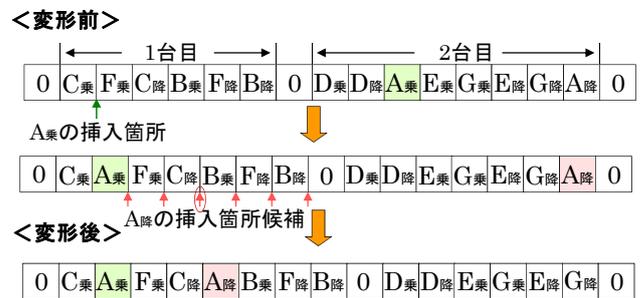


図-2 DARPのためのStringモデルと試行変形 (削除・挿入)

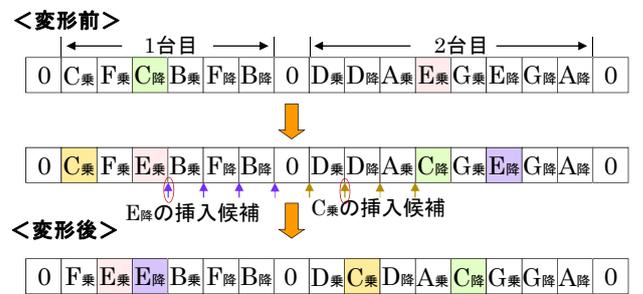


図-3 DARPのためのStringモデルと試行変形 (1対1交換)

削除・挿入では、まずStringモデルの中からデポを示す“0”以外から項目をランダムに選択する (図2: A_乗)。そして、その項目を現在の位置から取り除き、Stringモデル中のランダムに選ばれた箇所へ挿入する (図2: C_乗とF_乗の間)。しかし、このままではDARPにおける「各利用者の乗車と降車のペアが必ず同じ車両内に属する」、「乗車が降車より先に現れる」という制約が保証されないため、移動した項目の対となる項目 (図2: A_降) を同車両内の先行関係を壊さない位置のどこか (図2: C_降とB_乗の間) をランダムに選び、そこへ移動することで可能な変形が完了する。

また、1対1交換については、まずストリングモデルの中からデポを示す“0”以外から項目を2つランダムに選択し（図3：C_降とE_乗）、その位置を交換する。しかし、このままではペアリングと先行関係が保証されないため、交換した項目のそれぞれの対となる項目（図3：C_乗とE_降）を同車両内の先行関係を壊さない位置のうちどこか（図3：C_乗とD_乗とD_降の間、E_降とE_乗とB_乗の間）をランダムに選び、そこへ移動することでDAR Pでの変形が完了する。

(3) 解の質向上に関する工夫

本研究では、解の質の向上のために、乗車と降車のペアデマンド挿入箇所を制限する工夫と、解探索の途中におけるマルチ探索を行った。本節では上記2つの手法に関して説明を行う。

a) ペアデマンド挿入箇所の制限

2節で説明した削除・挿入と1対1交換のいずれの場合でも、乗車項目を動かした際はペアとなる降車項目を、降車項目を動かした際はペアとなる乗車項目を続けて移動させるが、この乗車と降車の両項目の位置がストリグモデル内で離れすぎていると所要時間が長くなりすぎて最大所要時間制約を大きく壊してしまうことになる。そこで、ペアとなる項目を移動する際には、所要時間が長くなり過ぎない範囲内でランダムに挿入箇所を選択することとする。具体的には、利用者の所要時間が最大所要時間 L に任意定数 τ を加えた時間を越えない範囲を挿入箇所の候補とし、越える範囲は対象から外す。

例として挿入箇所制限のイメージを図4として示す。この場合、A_降の挿入箇所はAの所要時間が $L + \tau$ を超えない範囲（A_乗の後からD_乗の前まで）の中から挿入箇所をランダムに選択することになる。

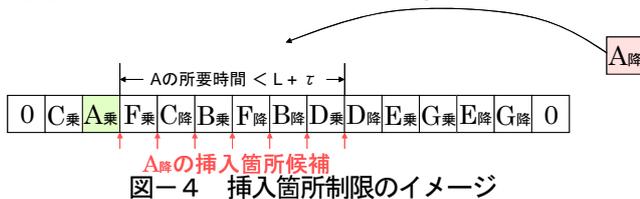


図4 挿入箇所制限のイメージ

この取り組みには、SA法のアルゴリズムにて遷移を棄却されるような制約条件を大きく破る近傍解の生成を未然に防ぐ働きがある。そのため、限られた計算時間の中で状態遷移の回数を増やすことができ、得られる解の質の向上が期待できる。

b) 解探索途中におけるマルチ探索

試行変形やSA法の受理判定は確率論的方法であるので、発生した乱数によって探索の動きは大きく異なる。そこで、解探索の過程において、得られる解の質に大き

な影響を与えると考えられる温度帯で探索を k 個に分岐させ、その中で最も良かった実行可能解から探索を再開するという方法を取り入れる。これにより、良い解に行き着きそうな領域を積極的に探索することになる。

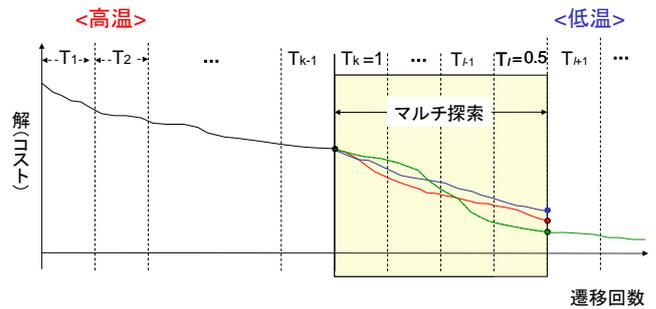


図5 アルゴリズム途中のマルチ探索のイメージ

4. 提案手法の評価

(1) 先行手法との性能比較実験

本研究では前節で提案した手法の性能を評価するため、他のメタヒューリスティックであるTS法を用いたDAR Pとして代表的なCordeau and Laporteが提示した例題の計算結果との比較実験を行う。Cordeau and Laporteは、モントリオール市におけるデータをもとにDAR Pの例題20問(R1a~R10b)を作成し、Web上に掲載している¹³⁾。その概要を表1に示す。

表1 Cordeau and Laporteによる例題(20問)の概要

利用方法	事前予約
利用者数	24~144人
車両数	3~13台
目的関数	走行コスト最小化
制約条件	車両定員・各乗客の乗車または降車の希望時間帯・乗客の最大乗車時間・車両の最大稼働時間
ネットワーク	ユークリッド平面上の完全グラフ

この例題では、 n 人の利用者の乗車地点と降車地点はユークリッド平面 $[-10,10]^2$ 上にランダムに発生されており、デポの位置は全ノードの重心となっている。2地点間の走行コスト c_{ij} および移動時間はユークリッド距離に等しくしている。本例題の目的は全ての車両の走行コストの合計を最小化することであり、その際に各乗客の乗車または降車の時間帯、最大乗車時間、車両最大稼働時間、乗車定員が制約条件となる。

なお、提案手法のSAパラメタ値は、Johnson et al¹⁰⁾の研究において有効とされている値を参考にして設定した。提案手法ではTS法と異なり確率的探索を行うので

毎回計算結果が異なるため、各問題に対して5回ずつ計算を行なって、平均と最良の場合の性能を調べた。

Cordeau and Laporte による最良解は、TS法の解の更新回数が 10^5 回の場合で得られていたため、本研究でも計算時間（問題により計算時間が1000～60000秒）が概ね等しくなるようにSAのパラメータを設定して実験（以下「計算時間大」と記す）を行った。Cordeau and Laporte が最良解として報告した解のコストに対する、本手法を用いて算出した平均解と最良解のコストの比を図3に示す。本手法による平均解と最良解のコスト比の差の例題50問における平均値は、それぞれ+0.84%と+0.14%である。なお、本研究の計算実験は core 2 duo 4300 (1.8GHz) の Windows PC 上、Cordeau and Laporte の手法は Pentium 4 (2.0GHz) の Windows PC 上で実行されているため単純に比較することはできないが、本手法の平均計算時間は 20,329 秒、Cordeau and Laporte では 26,817 秒であった。

図3に示すように、提案手法の方が良い結果を出した問題、逆に先行手法の方が良い結果を出していた問題の双方が見られるが、全体として両手法の解の質はほぼ同等と捉えることができる。また、提案手法では全20問中7問で先行手法で報告されている最良解を更新し、2問で報告されている最良解と一致する結果を得た。

次に、実用面を考慮に入れ、計算時間が約1/10となる計算実験（以下「計算時間中」と記す）、そしてさらに計算時間が約1/100となる計算実験（以下「計算時間小」と記す）を行い、本手法で得られた計算時間大の最良解の値に対するコストの比の増加を計算した（表-2）。その結果、計算時間を1/10にしても、平均解のコストは、計算時間大の場合の最良解と比較して約8%増加するだけであることがわかった。

表-2 計算時間を短縮した場合のコスト比の増加
(全20問の平均値)

	最良解	平均解	平均計算時間 (秒)
計算時間大	0.00%	+0.76%	26817
計算時間中	+2.02%	+3.21%	2855
計算時間小	+6.07%	+8.22%	275

以上のように、計算時間を十分にとれば提案手法は今までに報告されている最良解を更新し、また全体的にも先行研究の結果に匹敵する結果が得られた。また、計算時間を数分とするような計算実験においても、計算時間大の場合の最良解よりコストが約8%増加する解を平均的に得られることわかった。したがって、本提案手法はDARPの近似解法として実用上十分な性能を有しているものと考えられる。

(2) 運用データをモデルとした実験

本手法の現実問題への適応可能性を検討するために、実際に運営されているデマンドバスの運行データをモデルに計算実験を行った。対象としたデマンドバス事業は高知県“中村まちバス”である。

中村まちバスは約5km四方の営業区域に57箇所のバス停を構え、15人乗りバス1台で運行されている。また営業時間は8:30～11:00（時間帯1）、12:00～14:30（時間帯2）、16:00～18:00（時間帯3）と3つのタームが設けられており、利用者は当日の電話予約によりデマンドバスを利用することができる。本実験では、2007年12月14日（金）の運行データを利用する。当日の利用状況は、時間帯1が19人、時間帯2が15人、時間帯3が9人である。計算機実験の結果を表3に示す。

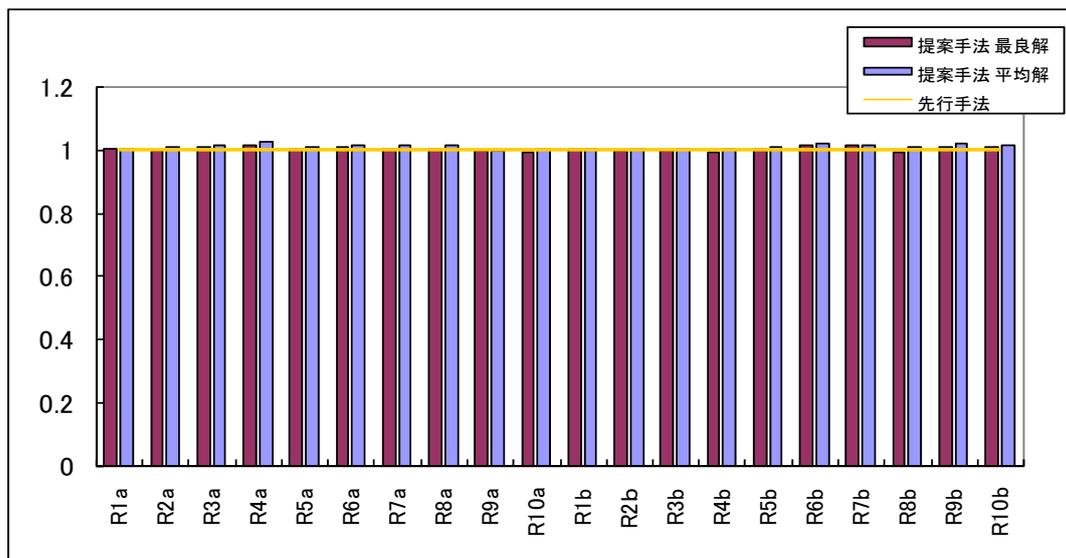


図-3 手法の比較実験（計算時間大）の結果

表-3 応用実験結果

	実測値	実験結果	改善効果
時間帯 1	34493m	30908m	10.4%
時間帯 2	26330m	22274m	15.4%
時間帯 3	10835m	10499m	3.1%

本実験では、交通状況など、現実とまったく同じ条件の下で計算実験が行われたわけではないが、本手法により平均して10%ほど実測値より走行コストの少ないルートを作成することができた。計算時間は、利用者が最も多い時間帯1で平均250秒である。この結果より、提案した手法が現実のデマンドバス運行計画の作成においても経路削減効果を発揮することが示唆された。

5. おわりに

本研究では、DARPを活用しデマンドバスなどに適用可能な新たな手法を開発した。また、本手法を用いて計算機実験を行ったところ、先行研究と同等の結果が得られ、その性能が保証された。また、実際のデマンドバスの運行データをもとに行った実験においても良好な結果が得られ、本手法が現実問題に対しても効果的であることが示唆された。

この手法は、ストリングモデルとSA法を用いた、極めて単純なデータモデルとアルゴリズムにより実現されるものである。

デマンドバスにおいて、このような効率的な運行計画を導くアルゴリズムを活用することで、より良いサービスを提供できる配送計画の作成に寄与できると考えられる。またデマンドバスの導入の可能性を検討する際のツールとしての活用を考えている。

謝辞

本研究にあたっては、高知県でデマンドバス事業を行っている西南交通株式の皆様に現地の調査協力を頂きました。また論文執筆にあたって帝塚山大学中村先生より様々な有用なご意見を頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 林光伸, 湯沢昭: デマンドバス導入のための需要予測と運行形態の評価に関する一考察, 都市計画論文集, 第24-3号, CD-ROM, 2006.
- 2) 山口善英, 元田良孝, 宇佐美誠史, 古関潤: デマンドバスはITか。雫石あねっこバスの事例研究,

- 土木計画学研究講演集, 第33巻, CD-ROM, 2006.
- 3) 元田良孝, 若林武文, 山口善英: 雫石町フレキシブルバスの運行について, 土木計画学研究講演集, 第29巻, CD-ROM, 2003.
- 4) Amaldi, et. al : A dial-a-ride to be implemented in a suburban area of Milan, 7th World Congress on ITS, CD-ROM, 2000.
- 5) 山内将平, 谷口栄一, 山田忠史, 中村有克: ラベリングアルゴリズムを用いた時間枠制約付き配車配送計画問題の解法に関する研究, 土木計画学研究講演集, 第36巻, CD-ROM, 2007.
- 6) 大和裕幸, 坪内孝太, 稗方和夫: オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価, 運輸政策研究, 第10巻第4号, pp.2-10, 2008.
- 7) Cubillos, C., Rodriguez, N. and Crawford, B. : A Study on Genetic Algorithms for the DARP Problem, IWINAC 2007 Part 1 LNCS 4527 pp.498-507, 2007
- 8) Cordeau, J.F. and Laporte, G. : A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem, Transportation Research, Part B 37, pp.579-594, 2003.
- 9) Cordeau, J.F., Laporte, G. and Mercier, A. : A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows, Journal of the Operational Research Society 52, pp.928-936, 2001
- 10) Johnson, D.S., Aragon, C.R., McGeoch, L.A., Schevon, C. : Optimization by simulated annealing An experimental evaluation, part II, graph coloring and number partitioning, Operations Research, Vol.39, pp.378-406, 1991.
- 11) Kokubugata, H, Itoyama, H and Kawashima, H : Vehicle routing methods for city logistics operations, Preprint for IFAC Symposium on Transportation Systems, pp.727-732, 1997.
- 12) Kokubugata, H. and Kawashima, H : Application of simulated annealing to routing problems in city logistics, in 'Simulated Annealing', Cher Ming Tan (Ed.), I-Tech Education and Publishing, Vienna, pp.131-154, 2008
- 13) CHAIRE DE RECHERCHE DU CANADA EN DISTRIBUTION : <http://neumann.hec.ca/chairedistribution/>

デマンドバス配車配送計画の実用的解法*

松本修一**・國府方久史***・清水洋一郎***・川嶋弘尚***

デマンドバスの運行計画作成にはDARPというルーティング問題の解決手法が適用できる。本研究では、筆者らが考案したストリングモデルとSA法を活用した解法を活用して、既存のDARPの最良解を更新する効率的な運行ルートを策定できる可能性を示唆した。また中村まちバスを対象に本手法の導入効果算定を行った結果、10%程度の運行経路削減効果が観察された。このことから提案手法を活用したデマンドバス運行計画を活用することで効率的な運行計画の作成が期待される。

A Practical Approach to Demand Bus Routing Problem *

By Shuichi MATSUMOTO**・Hisafumi KOKUBUKATA***・Yoichiro SHIMIZU***・Hironao KAWASHIMA***

Solution method for routing problems called "dial-a-ride problems" (DARP) can be applied to the creation of service plans for on-demand buses. This study suggests that it may be possible to formulate more efficient operating routes that improve on the existing best solution for DARP, by using a solution method devised by the authors. The effectiveness of adopting this method was estimated by looking at the Nakamura-machi Bus, and the observed effect was a roughly 10% reduction in operating routes. This result shows that the proposed method is likely to be effective for reducing costs when used for on-demand bus service planning.