

広域過疎地域に向けた SAVS の デマンド受率に関するモデル化

岩田 聖¹ 鈴木 恵二¹

概要：広域過疎地域における、地域交通の確保は大きな課題となっている。特に、高齢化が進んだ地域では、住民の移動頻度が減少し、路線バスなどの公共交通機関を十分に運行できない問題がある。本研究では、広域過疎地域におけるフルデマンド型交通サービス SAVS を適用した地域交通を考える。先行研究での課題を解決するために、デマンド距離に着目した運行方法とデマンド受率に着目した車両移動のモデルを提案し、先行研究で行った SAVS 運行シミュレーションの結果と比較した。

Modeling of demand acceptance rate in SAVS for large depopulated area

1. はじめに

本稿では、広域過疎地域における SAVS 導入について述べる。

過疎地域での地域交通の衰退に加え、高齢化は地域住民の自由な移動を困難にしている。このような地域ではデマンド型の交通を導入し、地域交通の立て直しを図る地域が増加している。

檜山南部地方は北海道道南地方に位置する広域過疎地域であり、地域全体で効率的な移動の確保が求められている。本研究の目的は、檜山南部地方の地域交通改善のために、完全自動フルデマンド型交通サービス SAVS を導入することを想定し、運行シミュレーションから分析を行うことである。複数の運行シミュレーションより複数の課題が挙げられた。この課題点をさらに分析するために、デマンド距離に着目した配車計算方法とデマンド受率に着目した単純なモデルを提案し、地域特性に関する問題点を明らかにした。

2. 背景

地域住民が少ない過疎地域では、地域交通の利用者の減少により、公共交通事業者が利用者に対し十分な利便性を保つことが出来ず、地域住民の日常の移動が保証できないといった状況にある。さらに、高齢化が進んだ地域において

は、移動頻度が少なく、自ら自動車等を運転し、移動を行う事が困難な交通弱者の割合が高いことから、高齢化が進んだ過疎地域での住民の移手段の確保は大きな課題である。近年、公共交通の利便性と採算性の面から運行が困難な地域では、代替案としてデマンド型交通を導入する地域が増加している。平成 21 年度時点で、全国 160 を超える地域でデマンド型の公共交通の運行が行われている。しかし、これらの運行には課題が残されており、あらかじめ乗降場所が限られていること（最寄りのバス停やお店等）、運行時間が限られており、事前の予約が必要とする運行であること、人手による配車計画が中心であり運行計画に時間が掛かることが挙げられ、既存のデマンド型交通システムには課題が残されていると言える。日本では 2000 年頃から、デマンド型交通に関する研究が盛んに行われ、シミュレーションによるデマンドバスの有用性の検証 [1]、オンデマンドバス割り当て方法、および運行方法の検証 [2][3] が挙げられる。

3. Smart Access Vehicle Service(SAVS)

3.1 SAVS の概要

SAVS は、デマンド応答型交通（DRT）の一種である。フルデマンド型の交通サービスとされており、2013 年から研究開発が盛んに行われている。先行研究には、シミュレーションによる SAVS 運行方法の研究 [4]、函館市をはじめとする実証実験が全国各地で行われており、本格的な運用に向けて開発が進められている [5][6][7]。特徴として、固定路

¹ 公立はこだて未来大学

線を持たず任意の場所で乗り降りが可能であること、乗客の呼び出し(デマンド)に応じてリアルタイムに配車を行うこと、制約条件を満たせば乗り合いを行いながら効率的に送迎を行うといった点が挙げられる。タクシーとSAVSの違いは、車両割り当て計算を配車計算システムが自動で計算し、最適な車両(乗り合い、経路順番など)を割り当て最適化することである。

3.2 SAVS 配車計算アルゴリズム

以下にSAVSの配車計算アルゴリズムである、逐次最適挿入法について説明する(図.1)。配車システムが新デマンドを受け付けると、そのデマンドを走行中の各車両に提示する。各車両エージェントは、デマンドの乗車地点および降車地点をそれぞれ、現在ある経路地点リストの任意の箇所に挿入し、挿入による全デマンドの達成予定時刻の遅延時間を挿入前の達成予定時刻と比較して差を求める。さらに新デマンドの達成予定時刻を求め、この達成予定時刻と遅延の総和をコストとする。これらは乗車地点、降車地点の挿入可能なパターンをすべて計算し、コストが最小となる経路パターンをもって、その車両エージェントの最小コストとする。この時、新デマンドの挿入によって、既存デマンドあるいは新デマンドの締め切り時刻を過ぎてしまう場合は除外される。すべての車両エージェントの中から、最小のコストの車両エージェントを求め、新デマンドを割り当て、経路地点を変更し、デマンドの成立となる。条件を満たす車両エージェントが見つからなかった場合はデマンド不成立となり、割り当ては行われない。

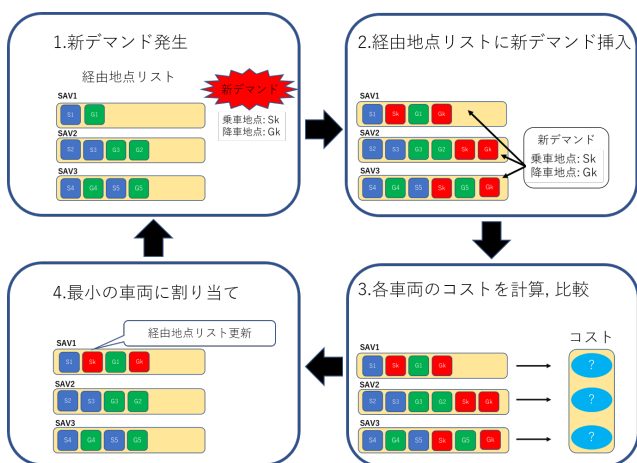


図 1 逐次最適挿入法

3.3 SAVSApp

SAVSにはユーザーがSAVを呼び出すためのアプリケーションとSAVドライバーが送迎するために使用する2つのアプリケーションがある。

- ユーザー App

乗客が使用するアプリ画面を図2に示す。乗客は、画面に表示されたマップから乗車ポイントと降車ポイントをマーカーで選択し、デマンドを発行する。デマンドは配車計算システムに送られ、最適な車両の選択が行われ、デマンドが受理されると、アプリ画面に割り当てられた車両の情報や何分後に迎えに来るか、目的地には何時に到着する予定かなどの情報が表示される。



図 2 ユーザー App

- ドライバー App

SAVドライバーが使用するアプリ画面を図3に示す。画面には、マップと現在位置、その車両に割り当てられたデマンドの乗車、降車位置情報、乗客の情報が表示され、新たに追加されるとリアルタイムで経路変更等が行われドライバーに通知される。



図 3 App

3.4 広域過疎地域におけるSAVS

北海道の道南地方に位置する厚沢部町、江差町、乙部町、上ノ国町を含む4つの町(図4)からなる檜山南部地方は、総人口21,312人、総面積1278km²、人口密度16.67人の過疎地域である。平均高齢化率が38.25%と高い割合であり、高齢化が進んだ地域であると言える。また、住民の移動頻度の減少によって、公共交通の衰退から自由に移動が出来ず、移動の確保が求められている。現状では、地域住民の補

助交通として、各町がスーパー、病院、学校といった施設や店が独自で送迎バスを運行し、利用者の送り迎えを行うといった方法がとられている。そのため、地域全体での効率的な移動と利便性の向上が求められている。このような広域過疎地域での SAVS 運行が期待されるが、過去の運行地域を調べると最大で、おおよそ 12km 四方程度の範囲での運行である(表 1)。従って、広域過疎地域での運行は未知数であるため、SAVS 運行の有効性を検証するとともに課題点を調べ、対策を考える必要がある。



図 4 檜山南部地方

表 1 SAVS の運行地域と規模

| 運行地域 | 運行規模 | 車両台数 |
|------------|---------------------|------|
| 東京臨海副都心エリア | 4.42km ² | 10 台 |
| 横浜みなとみらい | 8km ² | 15 台 |
| 愛知県長久手市 | 21.5km ² | 3 台 |
| 熊本県荒尾市 | 25km ² | 5 台 |
| 長野県上諏訪町 | 49km ² | 9 台 |
| 函館市 | 144km ² | 30 台 |
| 檜山南部地方 | 1278km ² | ?台 |

4. 課題と提案手法

先行研究によって挙げられた課題を解決するために、提案手法を説明する。以下に、先行研究で挙げられた課題、それを解決するための提案を示す。

4.1 先行研究での課題

檜山南部地方を対象とし、SAVS を想定した運行シミュレーションを行った結果、いくつかの課題が見つかった [8]。中でも、広範囲での運行によって、必要な車両台数が確保されていても、長距離の移動を必要とするデマンドが不成立となり受理されない点が挙げられる。デマンドの 2 地点間の距離(乗車地点と降車地点)が 20km を超えると、制限時

間に間に合わず受理されないことが多く、実運用においては、この長距離デマンドへの対策が必要であると考えられる。従って、長距離デマンドに対応する解決策が重要な課題であると判断した。

4.2 課題解決のための提案手法

● デマンド距離別配車計算

この課題を解決するために、従来の運行方法にデマンド距離に応じて配車する車両を分ける方法を提案する。従来の配車計算アルゴリズムは、全車両の中から最適な車両を見つけ出す方法であった。運行地域が最大でも 12km 四方程度の範囲内での運行であり、移動距離に応じた配車を行う必要が無かった。しかし、広域過疎地域においては、長距離の移動を必要とするデマンドの場合、移動に時間が掛かるため、そもそもデマンドを受理できない、または一度割り当てられると、その車両は他のデマンドを受け入れられないような状態が発生することが考えられる。従って、長距離移動にも対応可能な運行方法を考える必要がある。

従来の運行方法に変更を加え、発生したデマンドの距離に応じて、配車する車両を分ける方法をとる。長距離移動用の車両を用意し、デマンド距離に応じて車両を差別化し、それぞれには、ある閾値を境にして配車を行う。ここでは、短・中距離移動用車両を GSAV、長距離移動用車両を LSAV と定義する。デマンド距離別の配車計算は以下のように行われる(図 5)。

新デマンドが発生すると、デマンドの乗降 2 地点間の距離を取得する。閾値を設け、この値以上であれば LSAV、以下であれば GSAV の車両リストへデマンドが送られ、逐次最適挿入法により、配車計算を行う。

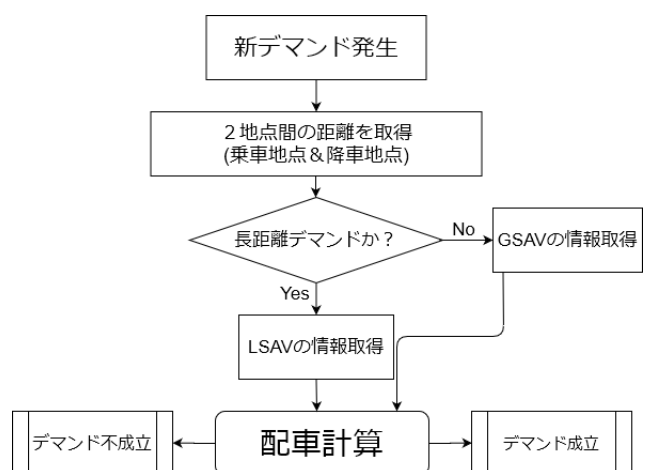


図 5 デマンド距離別配車計算フロー

● デマンド受容率に着目した移動モデル

制限時間付きの運行であるため、受理できないデマンドが必ず発生する。従って、計算上どの程度受理でき

ないデマンドが発生してしまうのかを調べる必要があると考え、単純化した車両の移動モデルを構築し、計算を行った。

5. 実験と考察

提案手法に関して行った実験を以下に示す。

5.1 デマンド距離別配車計算の運行シミュレーション

5.1.1 実験

4.2で定義したデマンド距離別配車計算を適用したSAVS運行シミュレーションを行い、従来運行方法と達成デマンド数と乗車待ち時間に関する比較を行った。

5.1.2 シミュレーション環境の構築

実験には、SUMO(Simulation of Urban Mobility)を使用し、シミュレーション環境の構築を行った。準備として、檜山南部地方の道路網作成と配車計算アルゴリズムのSUMOとの連携を行った。道路網作成はOpenstreetmapから、檜山南部地方の範囲をエクスポートし、SUMOのツールを利用し変換を行った。ここから、SAVの運行に必要なない林道や農道といった道路を削除し、修正した道路網(図6)を使用した。配車計算時に使用する、運行中のSAV位置情報取得と経路変更はSUMOが提供するAPIを使用し行った。

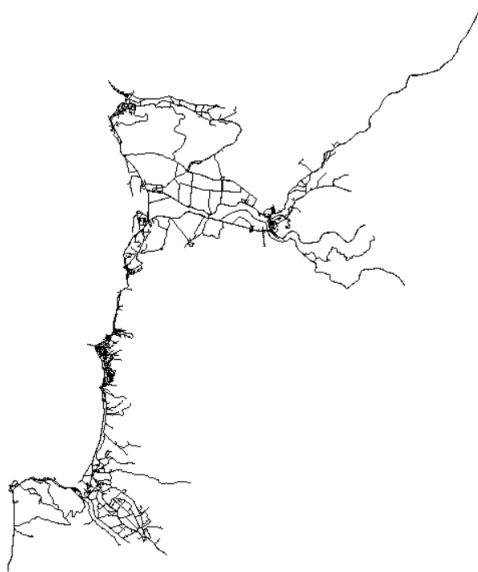


図6 実験に使用した道路網

5.1.3 シミュレーション設定

シミュレーション設定を示す。共通の設定項目を表2に示す。制限時間に関しては、LSAVは長距離の移動を考慮し、GSAVの倍の時間とした。各町に車両待機地点を設定し、すべてのデマンドを処理し終えたSAVは車両待機地点に戻るよう設定を行った。デマンド発生件数は500件とし、地域全体から220箇所をデマンド発生地点に設定し、そこからランダムで乗降地点が選ばれるようにした。

表2 共通の設定項目

| 設定項目 | 設定値 |
|------------|------------------------|
| シミュレーション時間 | 43200秒(12時間) |
| 車両の最高速度 | 50km/h |
| 最大乗車可能人数 | 4人 |
| 一般車両台数 | 常時300~400台 |
| 制限時間 | GSAV:1800秒, LSAV:3600秒 |

実験パターンを表3に示す。パターンは車両台数と長距離デマンドの閾値を表している。デマンド発生件数は500件、車両台数はGSAVを5台、10台の2種類とし、LSAVは各町に1台ずつ合計4台配置した。なお、従来通りの運行との比較をするため、従来の配車計算パターンでの運行実験も行った。長距離デマンドの閾値は15kmと20km以上の2種類で行った。合計6パターンのシミュレーションを行い、比較を行う。

表3 実験パターン

| パターン | GSAV | LSAV |
|---------------|------|------|
| 500件_5台 | | |
| 500件_9台_15km | 5台 | 4台 |
| 500件_9台_20km | 5台 | 4台 |
| 500件_10台 | | |
| 500件_14台_15km | 10台 | 4台 |
| 500件_14台_20km | 10台 | 4台 |

5.1.4 実験結果と考察

実験結果を以下に示す。

● デマンド処理結果

デマンド処理数の結果(図7)から、GSAV5台の場合の処理結果を見ると、約300件程度処理出来ている。さらに、LSAVで従来の運行方法では受理出来なかった長距離デマンドを処理できていることが分かる。また、LSAVの処理数が9台、14台のどちらも同じ程度であることから、このシミュレーションでは、ほぼすべての長距離デマンドを処理できているといえる。よって、LSAV、GSAVの台数を最適化することで、長距離デマンドにも対応可能であると考えられる。

● 乗車待ち時間

乗車待ち時間の結果(図8)から、全パターンにおいて、GSAVの乗車待ち時間が短縮できていることが分かる。LSAVの待ち時間が長くなっているが、ある程度許容することで、従来の運行方法での待ち時間と比較すると、短・中距離デマンドの待ち時間を短くすることが可能となっている。

これらの結果から、長距離デマンドの移動を可能とするために、距離に応じて車両を分けて運行することは従来運行方法に比べて、効果的であると考えられる。

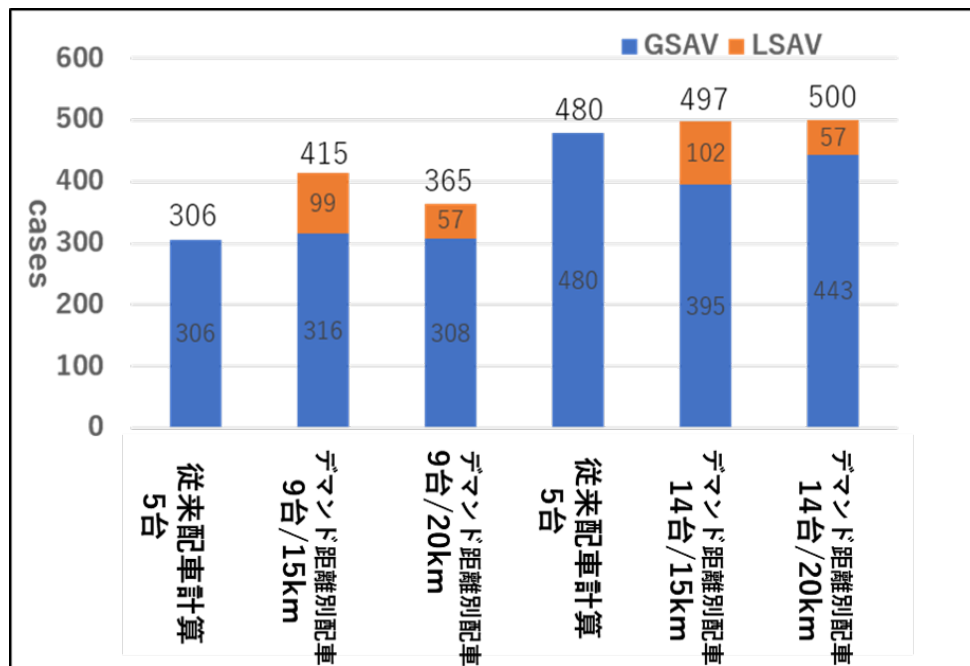


図 7 デマンド処理数

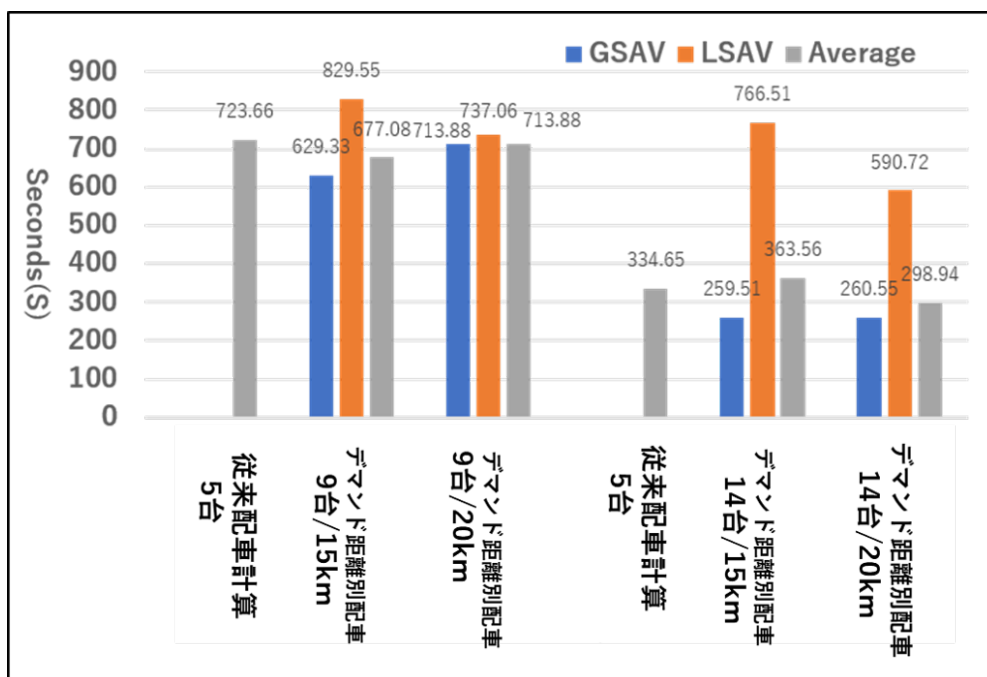


図 8 乗車待ち時間

5.2 デマンド受理率に着目したモデル化

各デマンドに制限時間を設けているため、広範囲の運行では受理できないデマンドが発生してしまう。そこで、単純化したモデルを構築し、地点に対する車両の全配置パターンを求め、計算上の受理できない地点はどの程度発生するかを調べる。

1 タイムステップで1区間の移動を可能とする単純な1次元移動モデルを定義する。以下に、モデルの概要を示す。

SP をデマンド乗車地点、 GP をデマンド降車地点、 VP

を車両現在地点とする。このとき、 $|VP - SP|$ を車両現在位置とデマンド乗車地点との距離、 $|SP - GP|$ をデマンド乗車地点と降車地点の2地点間距離と表すことができる。各地点を $N = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ とし、 P_E を数直線上の端の地点とする。 T_{max} を1デマンドの制限時間つまり、移動可能範囲とする。

このとき、以下の制約条件を満たす場合、デマンドの受理が可能となる。

$$|VP - SP| + |SP - GP| \leq T_{max} \quad (1)$$

$$SP \neq GP \quad (2)$$

また、 $|SP - P_E| \leq T_{max}$ のとき、移動可能範囲が、 P_0 と P_n の範囲外にならないよう計算を行う。

例として、 $N=14$ 、 $T_{max}=3$ とすると図 9 の、赤丸で示した範囲内が車両の移動可能範囲であり、この範囲内において、制約条件を満たせばデマンドの受理が可能であるといえる。

1次元移動モデルを使用し、車両の全配置パターンのうち、到達できない地点を数え上げることで、受理できないデマンドの割合を調べる。シミュレーション実験と同様に、地点数 $N=220$ 、車両台数 5 台、 $T_{max}=30$ で行うことを考えるが、組み合わせの数が n^2 のオーダーで増えるため、数が膨大になる。そのため、地点数 N と T_{max} の比率を保てば、最終的に算出される割合は変化しないと考え、 $N=22$ 、 $T_{max}=3$ とし、車両台数 5 台の場合を計算する。

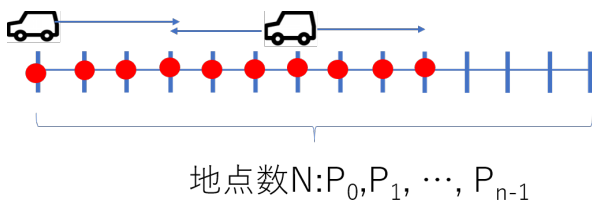


図 9 1次元移動モデル

5.2.1 結果と考察

以下に結果を示す(表 4)。車両総配置パターンは、各車両の区別を行い、同じ地点に車両が重複することを許す状態で各パターンの合計を表す。1パターンの地点合計数は、車両総配置パターン×地点数 N で表される。移動可能地点数は、各パターンにおいて、車両現在地から T_{max} 移動可能な地点を数え上げた値である。移動不可地点数は、1パターンの地点合計数から、移動可能地点数を引いた値である。

表 4 数え上げ結果

| 設定項目 | 設定値 |
|-------------|----------------|
| 車両総配置パターン | 5,153,632 パターン |
| 1パターンの地点合計数 | 113,379,904 地点 |
| 移動可能地点数 | 84,851,161 地点 |
| 移動不可地点数 | 28,528,743 地点 |

結果から、移動不可地点数を 1 パターンの地点合計数で割ると、

$$\frac{28,528,743}{113,379,904} \approx 0.25$$

となる。つまり、考えられる全配置パターンの組み合わせで約 25%程度はデマンドが発生しても受理できない範囲に存在しているといえる。これは、たとえ車両が多くても、地域全体をカバー出来るような配置出なければ、意味が無く、

1箇所にとまるような配置になっている場合、その範囲でのみしか移動できないことを表している。よって、地域全体をカバー出来る車両配置と長距離デマンドを処理可能な配車計算アルゴリズムが必要であることが分かる。

6. まとめと今後の展望

本稿では、広域過疎地域における SAVS の導入について述べた。先行研究で得られた課題を解決するために、デマンド距離に応じた配車計算を行い、長距離のデマンドにも対応できる方法を考案した。シミュレーション結果より、従来通りの方法に比べ、長距離の移動にも対応可能な方法であると分かった。また、単純な移動モデルを構築し、全配置パターンを考えると、必ず偏った車両配置が発生するため、全デマンドをカバーできない場合が発生することを示した。

今後の展望を述べる。実生活において、デマンドの発生地点はランダムに発生せず、ある程度規則性を持った発生の仕方になると考えられる。従って、現状のシミュレーションではランダムにデマンドが発生するが、規則性を考慮した車両配置や配車計算を考案する必要があると考えている。また、過疎地域特有のデマンド発生数の少ないことによる、乗り合いの少なさにも対応する必要がある。

参考文献

- [1] 野田五十樹, 篠田孝祐, 太田正幸, 中島秀之: シミュレーションによるデマンドバスの利便性の評価, 情報処理学会論文誌, vol.49, No.1, pp.242-252(2008).
- [2] 坪内 孝太, 大和 裕幸, 稗方 和夫: 過疎地における時間指定のできるオンデマンドバスシステムの効果, 日本ロボット学会誌, vol.27, No.1, pp.115-121(2009).
- [3] 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, vol.10, No.4, pp.002-010(2008).
- [4] 小柴等, 野田 五十樹, 山下 倫央, 中島 秀之: 実環境を考慮したバスシミュレータ SAVSQUID による実運用に向けたデマンドバスの評価, 日本ソフトウェア科学会コンピュータソフトウェア, vol.31, No.3, pp.3-141-3-155(2014).
- [5] 中島 秀之, 野田 五十樹, 松原 仁, 平田 圭二, 田柳 恵美子, 白石 陽, 佐野 渉二, 小柴 等, 金森 亮: バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.71, No.5, pp.I.875-I.888(2015).
- [6] 中島秀之, 小柴等, 佐野渉二, 落合純一, 白石陽, 平田圭二, 野田五十樹, 松原仁: Smart Access Vehicle System: フルデマンド型公共交通配車システムの実装と評価, 情報処理学会研究報告, vol57, No.4, pp.1290-1302(2016).
- [7] 中島秀之, 松原仁, 平田圭二, 鈴木恵二, 田柳恵美子, 金森亮, 野田五十樹, 佐野渉二, 落合純一, 松館渉: 地域交通の未来像としてのスマートアクセスビークルサービス, 第 32 回人工知能学会全国大会, 4F2-OS-11d-04, 4 ページ (2018).
- [8] 岩田 聖, 鈴木恵二: 広域過疎地域に向けた SAVS 配車計算方法の検討, 第 18 回情報科学技術フォーラム (2019).