

広域過疎地域に向けた SAVS 配車計算方法の検討  
Examination of allocation methods in SAVS for large depopulated area

岩田 聖<sup>1)</sup> 鈴木 恵二<sup>2)</sup>  
Sho Iwata Keiji Suzuki

## 1 はじめに

本稿では、檜山南部地方における SAVS 導入について述べる。過疎地域において地域交通の衰退、高齢化は地域住民の自由な移動を困難にしており、このような地域ではデマンド型の交通を導入す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システム SAVS の導入にあたり、運行シミュレーションから分析を行うことである。そして、課題点を抽出し解決方法を提案する。デマンド発生件数と車両台数を定めた複数の運行シミュレーションより、デマンド発生件数に対する運行に必要な車両台数の関係を求めた。また、ある一定以上のデマンド発生件数では、乗り合いを行いながら効率的な運行が可能であるが、発生件数が少ない場合は乗り合いがほとんど起こらないことが分かった。さらに、制限時間の制約から、長距離の移動を必要とするデマンドに対しては、ほとんどが不成立となり、送迎が行われない事が分かり、地域特性に関係する運行範囲の課題も明らかとなった。

## 2 背景と目的

### 2.1 過疎地域におけるデマンド型交通

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に、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動手段の確保は大きな課題である。公共交通の利便性と採算性の確保が困難な地域では、代替案としてデマンド型交通を導入し、運行を行っている地域が増加している。現在、全国160を超える地域(平成21年時点)でデマンド型の公共交通の運行が行われている。しかし、これらの運行はあらかじめ乗降場所が限られている(最寄りのバス停やお店等)、運行時間が限られており、1時間前までの予約が必要といった事前の予約による運行、人手による配車計画が中心であり、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。

### 2.2 檜山南部地方について

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つの町からなる檜山南部地方(図1)は、総人口21,312人、総面積1278km<sup>2</sup>、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、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。



図1 檜山南部地方

## 3 Smart Access Vehicle Service

### 3.1 SAVS とは

SAVS は、デマンド応答型公共交通 (Demand Responsive Transport, オンデマンドバス) の一種である。2013年より研究開発が行われ、全国各地で実用化に向けた実証実験が行われている。特徴として、固定路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、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サービスである。

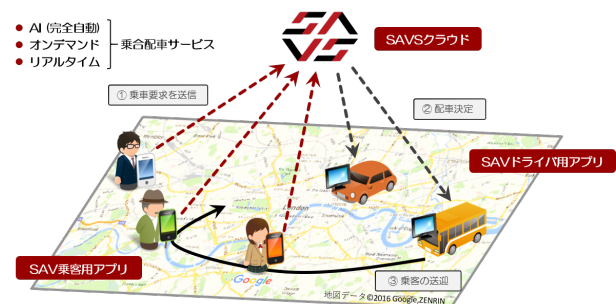


図2 SAVS イメージ

1) 公立はこだて未来大学  
1) <https://www.fun.ac.jp/>  
2) 公立はこだて未来大学  
2) <https://www.fun.ac.jp/>



図 3 乗客用アプリ画面

3.2 配車計算システム

SAVS は配車計算システムとして逐次最適挿入法により、制約を満たす最適な車両の探索と割り当てを行っている。

以下に配車計算の流れを示す(図 4)。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。

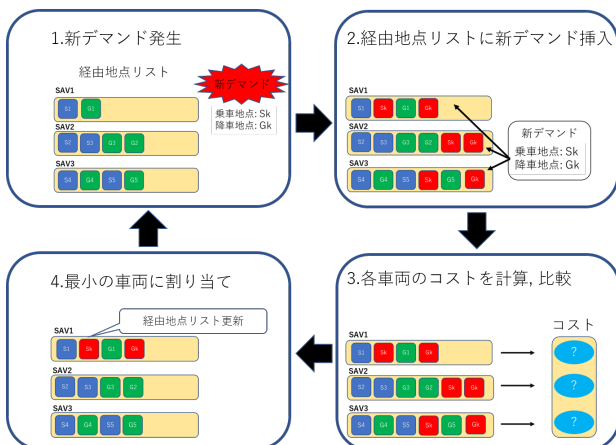


図 4 逐次最適挿入法

3.3 広域過疎地域における SAVS の位置づけ

2.1 で述べた通り、既存のデマンド型交通にはいくつかの課題が残されている。また、檜山南部地方は高齢化が進んだ地域であるため、SAVS の特徴である、

Door-to-Door での運行は有効に働くと考えられる。しかし、過去の運行地域(表 1)を調べると最大でも、おおよそ 12km 四方程度での運行であり、今回導入の検討を行っている広域過疎地域での運行は未知数であり、SAVS 運行の有効性を検証するとともに課題点を調べる必要がある。

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 <sup>2</sup>	10 台
横浜みなとみらい	8km <sup>2</sup>	15 台
愛知県長久手市	21.5km <sup>2</sup>	3 台
熊本県荒尾市	25km <sup>2</sup>	5 台
長野県上諏訪町	49km <sup>2</sup>	9 台
函館市	144km <sup>2</sup>	30 台
檜山南部地方	1278km <sup>2</sup>	?台

4 実験と評価

分析を行うに当たり、複数の運行シミュレーションを行った。複数のデマンド発生件数と車両台数によるシミュレーションを行う事で、それらが運行に及ぼす影響を調べる。また、車両待機地点の設定数の違いが、デマンド処理結果に優位に働くかを調べた。

4.1 実験準備

本研究では、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逐次最適挿入法の 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 の運行に必要な林道や農道といった道路を削除し、修正した道路網(図 7)を使用した。配車計算時に使用する、運行中の SAV の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。

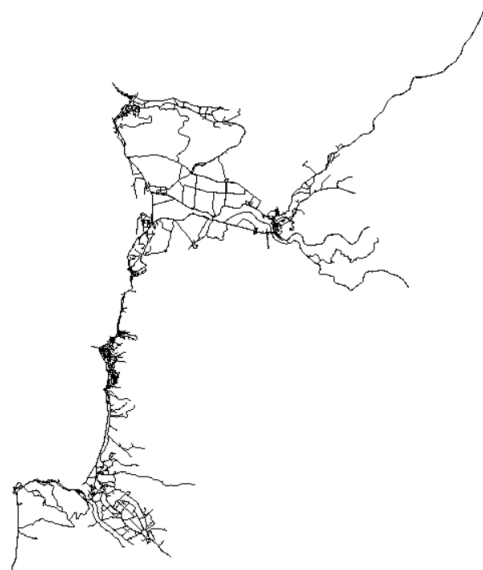


図 5 シミュレーションに使用した道路網

4.2 実験設定

4.2.1 共通の設定項目

各シミュレーションにおける共通の設定項目は(表 2)のように定めた。制限時刻に関しては、広範囲での運行を考慮し、デマンド発生時刻から 1800 秒以内とした。

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	60km/h
最大乗車可能人数	4 人
一般車両台数	常時 300~400 台
制限時刻	1800 秒

4.2.2 車両台数と発生件数

車両台数は 5 台, 10 台の 2 種類に設定を行った。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, 100 件, 250 件, 500 件, 2000 件の 4 種類で行った。

4.2.3 車両待機地点の設定

車両待機地点の数を 1 箇所から複数箇所に増やした場合の, デマンド処理に及ぼす影響を調べるために, 今回は 2 パターンに設定を行う。1 箇所だけの待機地点は江差町に, 複数箇所については, 江差町, 乙部町, 上ノ国町, 厚沢部町のそれぞれに 1 箇所ずつ設定した。

これらの設定項目で, 合計 16 パターンのシミュレーションを行い, 結果から分析を行った。

4.3 実験結果と評価

以下にそれぞれ行った実験の結果を示す。

4.3.1 待機地点数別デマンド処理結果

待機地点数別にデマンド処理数と平均待ち時間の観点から結果を示す。

・デマンド処理数

以下に, 1 箇所と 4 箇所で行ったそれぞれのデマンド処理結果(表 3, 表 4)を示す。

表 3 待機地点 1 箇所

	100 件	250 件	500 件	2000 件
5 台	80 件	206 件	288 件	330 件
10 台	80 件	231 件	448 件	674 件

表 4 待機地点 4 箇所

	100 件	250 件	500 件	2000 件
5 台	100 件	215 件	306 件	387 件
10 台	100 件	248 件	480 件	746 件

車両待機地点 1 箇所に対して, 4 箇所に増やした場合の方が, デマンド処理件数が多いことが分かる。

・平均乗車待ち時間

以下に, 1 箇所と 4 箇所で行ったそれぞれの乗車待ち時間の平均(表 5, 表 6)を示す。

表 5 待機地点 1 箇所

	100 件	250 件	500 件	2000 件
5 台	422.23 秒	503.10 秒	651.22 秒	825.12 秒
10 台	422.18 秒	292.30 秒	413.79 秒	756.40 秒

表 6 待機地点 4 箇所

	100 件	250 件	500 件	2000 件
5 台	263.3 秒	530.73 秒	723.36 秒	819.50 秒
10 台	263.3 秒	240.20 秒	334.65 秒	787.63 秒

車両待機地点 4 箇所の場合, 100 件, 250 件において乗車までの待ち時間が短くなっている事が分かる。しかし, 500 件, 2000 件においては待機時間が長くなっている場合も見られた。

4.3.2 車両台数別デマンド処理結果

以下に車両待機地点を 4 箇所とし, デマンド発生件数ごとに, 成立デマンドの平均距離, 不成立デマンドの平均距離, 達成デマンド率, 乗り合い率をそれぞれ表したグラフ(図 5, 図 6)を示す。

成立および不成立デマンドの平均距離は発生した全デマンドのうち, 不成立, 成立となったデマンドの平均距離を表している。達成デマンド率は成立デマンド数を発生した全デマンド数で割った割合を表し, 乗り合い率は乗り合い数を成立となったデマンドの総数で割った割合を表している。ここでの乗り合い数は, その乗客が乗車してから降車するまでの間に, 他に乗客がいたデマンドをカウントした値を表している。それぞれのグラフの縦軸はデマンド距離(乗車地点と降車地点の 2 地点間の距離)と割合, 横軸はそれぞれのデマンド件数を表している。

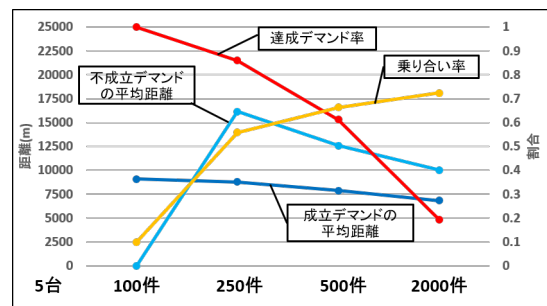


図 6 車両台数別デマンド処理結果 (5 台)

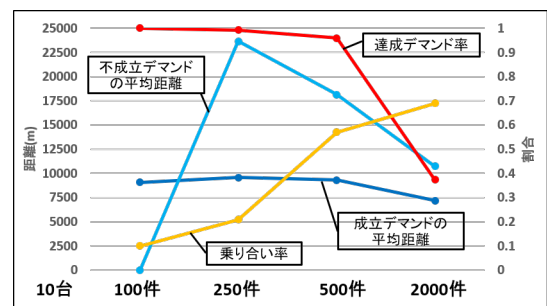


図 7 車両台数別デマンド処理結果 (10 台)

#### 4.4 考察

まず、車両待機地点の増加によるデマンド処理結果に与える影響について述べる。車両待機地点を1箇所から複数箇所に増やす事によって、デマンド発生時に待機地点から近い車両が迎えに行くことが可能となるため、デマンド処理数の増加と乗車待ち時間の短縮に繋がると考えた。車両待機地点を4箇所に設定する事で、全シミュレーションにおいて、デマンド処理件数が増加した。しかし、平均乗車待ち時間を見ると、100件、250件においては待ち時間が短くなっており、500件、2000件では逆に長くなっている場合がある。これは500件、2000件のシミュレーションでは、車両台数が発生デマンド数に対して足りておらず、常に車両に乗車しているデマンドがあるため、待機地点に戻る回数が少なくなっている事が原因と考えられる。100件、250件においては、運行に対して車両台数が足りている運行であり、デマンド処理を終えたSAVが待機地点に戻ってくる回数が多いため、発生したデマンドに対して近い車両が迎えに行くことが可能になっていると考えられる。

次に車両台数別デマンド件数のグラフから考察を述べる。乗り合いの観点から、デマンド発生件数100件では、乗り合いがほとんど起こらずタクシーと同じ運行となっていた。これは、デマンドの発生時間間隔が長く、同じ時間帯にデマンドが発生しない事が原因と考えられる。デマンド発生件数が250件以上であれば、乗り合いを行いながらの運行が行われると言える。不成立デマンドの平均距離から、デマンド発生件数に対して車両台数が足りていても、制限時刻の関係から、20kmを超えるデマンドは不成立となる場合が多い。成立デマンドの平均距離からは、車両台数が足りている運行では、成立デマンドの平均距離が9500~10000m付近であると言える。達成デマンド率と成立、不成立デマンドの関係から必要な車両台数の概算(表7)を以下に示す。

表7 必要な車両台数

デマンド発生件数	車両台数
100件	5台
250件	5~10台
500件	10台以上
2000件	30台以上

#### 5 まとめと今後の展望

本研究では、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システムSAVSの導入のために、運行シミュレーションから結果の分析と課題の抽出を行った。シミュレーション結果から、ある一定以上のデマンド発生件数において、乗り合いを行いながら効率的に乗客の送迎を行う事が可能であり、デマンド発生件数が少ない場合には対策が必要であることが分かった。成立、不成立デマンド距離から、1800秒での制限時間

での運行の場合、平均距離はおおよそ10000mである。同時に長距離の移動が必要な距離の長いデマンドは不成立デマンドとなりやすいという結果となった。広範囲での運行では、このようなデマンド距離の長い、長距離の移動を行うデマンドが発生すると考えられるため、これらに対応する配車計算方法を考えていく必要がある。

課題として、デマンド発生件数が確保出来ない場合の対策と運行範囲の対策が挙げられる。デマンド発生件数が確保出来ない場合の対策については、あらかじめ運行時間帯を工夫し、デマンド発生時刻を集中させる方法等が挙げられる。乗客にはある程度の時間の制約が付いてしまうが、運行時間帯を設け、その時間内であれば、自由に利用可能であると方法をとるといった方法である。デマンド距離の長いデマンドの対応については、檜山南部地方の特性上、東西に約20km、南北に35kmと広範囲での運行が必要であり、長距離のデマンドが発生することは十分に考えられる。これらのデマンドに対応するためには、長距離移動専用のSAVを用意し、その車両は長距離のデマンドのみを処理するといった方法が挙げられる。実際の運行において、どの程度長距離のデマンドが発生するかは判断し兼ねるが、広範囲での運行を想定した特有の車両配車方法であり、考えなくてはならない課題である。また、車両待機地点を4箇所に設定し、各町に車両を待機するように設定を行ったが、運行に対して車両台数が足りている場合は有効であるが、頻繁にデマンドが発生する場合は対策が必要である。今回のシミュレーションでは乗客の乗り降りに掛かる時間は一切考慮しておらず、乗り降りに掛かる時間を考慮したシミュレーションを行うことも課題として挙げられる。今後、より実際の運行に近づけたシミュレーションを行うために、より細かな設定と対策案を考慮し行っていく必要がある。

#### 参考文献

- [1] 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, vol.57, No.4 pp.1290-1302(2016).
- [2] 平田圭二, 鈴木恵二, 野田五十樹, 落合純一, 金森亮, 松館渉, 中島秀之, 佐野渉二, 白石陽, 松原仁, 完全自動リアルタイムフルデマンド交通システム SAV 向けプラットフォームの設計と実装, 情報処理学会研究報告, vol.2017-ITS-68, No.1, pp.1-6(2017).
- [3] 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).
- [4] 田柳恵美子, 中島秀之, 松原仁, デマンド応答型公共交通サービスの現状と展望, 第27回人工知能学会全国大会, 2J4-OS-13a-1, 4 ページ (2013).
- [5] 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).