

送迎活動の定量的評価手法の提案

広島大学大学院工学研究科 学生員 ○山下和哉
広島大学大学院工学研究科 正会員 塚井誠人
広島大学大学院工学研究科 正会員 桑野将司

1. はじめに

過疎化と高齢化の進行が顕著な中山間地域では、主な交通手段として自動車が利用される一方で、自動車を運転できない高齢者の多くは、世帯内送迎によって外出している。しかし、送迎活動により送迎者、被送迎者双方の活動は、時間的・空間的に大きく制限される。さらに将来は送迎者も高齢化すると予想されることから、世帯内送迎の持続可能性は低い。また、コミュニティバスやデマンドバス、相乗りタクシーといった新たな交通サービスの導入についても、運行コストに見合った利用者や採算性の確保が難しいという理由により、継続が困難な例が多い。すなわち、中山間地域における高齢者の移動交通手段を確保するためには、世帯内および世帯間の送迎を中心とした、地域内での共助的交通サービスの検討が必要である。

本研究は、インタビュー調査とアクティビティダイアリー調査（以下 AD 調査）から得た被送迎者、送迎者それぞれの外出活動の時空間特性を明らかにする。さらに、時空間上で各個人の時間軸に沿った移動と滞在を表現した活動ダイヤグラムを作成し、その活動ダイヤグラム上で、被送迎者が世帯内および世帯間の送迎と路線バスを利用して外出する場合の外出成功率と、そのときの待ち時間を評価指標として、送迎活動の定量的評価手法を示す。これらの指標を用いて送迎と路線バスを組み合わせたフィーダー型送迎の実現可能性を検討する。

2. 使用データについて

平成 21 年 11 月 19 日～12 月 4 日まで、広島県廿日市市玖島の大町辺地（49 世帯）を対象に、インタビュー調査と AD 調査を行った。インタビュー調査では、訪問時に送迎活動と生活活動の実態についての質問と、世帯間送迎の利用意向についての仮想質問を行った。AD 調査は、インタビュー調査による訪問時に調査票を配布し、その後連続した 3 日間の

活動を記録してもらい、後日訪問回収した。大町辺地内全 49 世帯を訪問し、回収世帯数は 18 世帯（回収率 36.7%）であった。有効サンプル数はインタビュー調査では被送迎者 12 人、送迎者 17 人、AD 調査では被送迎者 12 人、送迎者 18 人であった。図-1 に、調査対象地域周辺の地図と、本研究で想定するフィーダー型送迎の適用範囲を示す。

集計分析を行った結果、被送迎者の交通手段は世帯内送迎に依存していること、被送迎者送迎者ともに幹線道路沿いの玖島分れ、廿日市中心部への外出が多いことがわかった。玖島分れは、生活関連施設が立地している大町辺地から約 6km で最も近い地区であり、幹線と支線の結節点である。対象地域周辺では、玖島分れ—廿日市間の路線バスの運行本数は 1 時間に 2 本程度と多いが、大町辺地—玖島分れ間で利用できる路線バスの運行本数は 1 日 3 本程度とかなり少ないため、被送迎者は世帯内送迎を利用して外出していると考えられる。よって以下の分析では、大町辺地—玖島分れ間を世帯内、または世帯間の送迎を利用して外出し、玖島分れ—廿日市間を既存の路線バスを利用して外出するフィーダー型送迎を検討する。すなわち、大町辺地から出発して玖島分れを経由し、廿日市へ至る経路がフィーダー型送迎の適用範囲となる。

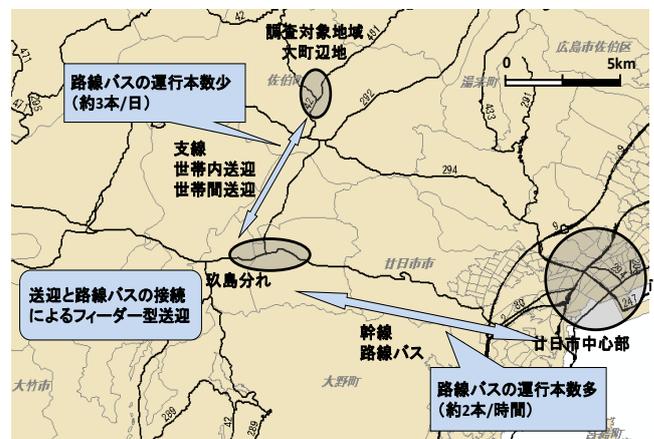


図-1 対象地域におけるフィーダー型送迎の適用

3. 分析手順

本研究では送迎者の外出活動を時空間活動ダイアグラムとして表現し、被送迎者の外出は、送迎者のダイアグラム集合上を移動することによって成立すると考えて、モンテカルロシミュレーションによって、送迎活動の成立可能性を定量的に評価する。なお、以下の手順では、被送迎者は外出の間中同一の送迎者によって送迎されるのではなく、複数の送迎者によって送迎される場合もあると仮定する。

3-1. 活動ダイアグラム作成手順

以下に活動ダイアグラムの作成手順を示す。まず、AD 調査から、個人の1日の活動における各時間帯の所在地と活動時間、および滞在時間の情報を取得する。時間帯は、5:00 から 21:15 までを1日のデータとして、15分間隔で65区間に区切る。AD データから各時間帯の所在地を読み取って、コード化する。なお、15分間内で場所の移動がある場合については、15分間内で一番長く滞在していた場所をその時間帯の所在地とする。所在地の分類に関しては、対象地域周辺の買い物、医療施設の分布を考慮して、所在地ゾーンを設定した。対象地域周辺の所在地区分を図-2に示す。活動ダイアグラムを作成する際の入力データは、送迎者データのみを用い、送迎者1人の1日分のADデータを1サンプルとする。

以上の手順でコーディングした入力データを用いて、実際の活動パス、および活動ダイアグラムを次の手順で作成した。各時間帯の所在地をノード、時間の経過と時刻別の所在地を結んでリンクとして、各個人の活動パスのノードとリンクを設定する。なお、ノード番号の連なりが、同一地点への滞在か異なる地点間の移動かの識別を容易にするため、場所別別に時間帯軸に沿って昇順の番号となるように各ノードに付番した。

一方、被送迎者は、送迎者の活動ダイアグラムに沿って目的地に移動し、一定時間滞在した後に再び送迎者の活動ダイアグラムに沿って帰宅する。すなわち、目的地で利用可能な帰宅側の活動ダイアグラムが現れるまで、待ち時間が発生する場合がある。このことを表現するために、送迎者の活動ダイアグラムにおいて、所在地別の最早到着時刻と最遅出発時刻の間の全時間帯にノードを設定して、これらを

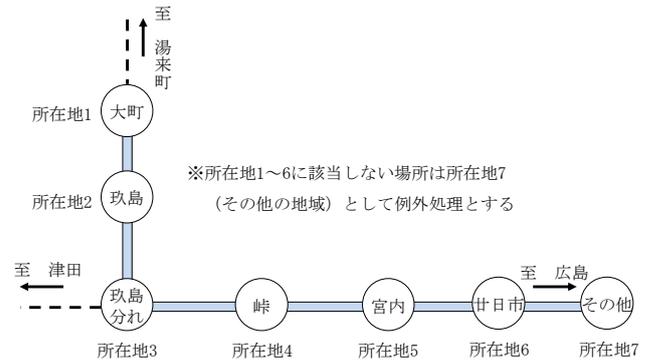


図-2 対象地域周辺の所在地区分

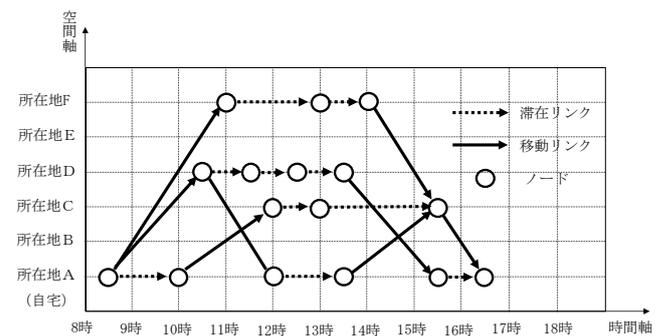


図-3 ノードとリンクの設定

結ぶ滞在リンクを追加した。なお、先述したADデータのコーディングルールより、1リンクの長さは全て15分となる。

以上の手順でノードとリンクを設定し、送迎者集合の活動ダイアグラムを構築する。ノードとリンクの設定について図-3に示す。

3-2. 被送迎者の外出活動パスの算出

送迎者集合の活動ダイアグラム上で、外出開始時刻、目的地とその滞在時刻を所与として、各被送迎者の外出活動パスを算出する。外出活動パスの探索法として、ダイクストラ法を用いる。ダイクストラ法は、出発ノードを所与として、その他全てのノードまでの経路リンクに付加されている所要時間の和が最小となるノード（リンク）経路順を、出発ノードを根、その他全てのノードを葉とする最短経路木を探索するアルゴリズムである。

送迎者の活動ダイアグラムの定義では、各所在地について、送迎者の最早到着—最遅到着時刻間には到着時刻が異なるノードが並んでいる。よって被送迎者にとって、出発時刻以降で最も早く目的地に着くノードが最早目的地到着時刻となる（往路）。その

後、目的地で所定の活動を行った後で、被送迎者は帰宅を開始する。このときの出発ノードは、往路の到着ノードに、活動に必要な時間を加算して設定する。その上で往路と同様の手順で外出活動パスを探索し、最早帰宅時刻を算出する（復路）。

外出活動パスは、全て時間軸に沿って行われなくてはならないため、時空間活動ダイヤグラムは有向グラフである。本研究では簡単のため、リンクの移動コストのうち、時間軸に沿う方向を15、逆方向を ∞ と仮定し、アウトプットに時間軸に逆行する方向のリンクが含まれる場合は、そのノードまでの移動コストは ∞ となるように設定した。すなわち、ある出発ノードからの総移動コストが ∞ となる場合は、時間軸に対する逆行リンクが含まれているため、そのパスは成立しないことをあらわす。

以上の手順で算出した目的地最早到着時刻および、自宅最早到着時刻は、被送迎者の出発時刻が遅い場合や、その目的地まで送迎する者がいない場合には、移動コストが ∞ となり、現在の送迎者集合では外出できないことがわかる。すなわち、往路と目的地滞在時間と復路を接合して得られる被送迎者の外出活動パス最短所要時間 T が ∞ でない場合、送迎による外出が可能と判定できる。

3-3. 場所別・時間帯別期待待ち時間の算出

往路と復路それぞれの出発地、経由地において、被送迎者が送迎者に合わせて出発時刻を遅らせることによる時間帯のずれが待ち時間とする。場所別待ち時間は、各所在地の、また時間帯別待ち時間は、各時間帯の発生した待ち時間である。図-4に待ち時間の発生状況を示す。

観測された各送迎者の活動パスは、特定日の観測値であるが、地区全体の送迎者外出パターンについて、本研究では十分なサンプル数が得られていない。そこで、複数の送迎者の外出パターンの組み合わせから成る活動ダイヤグラムを確率変数とみなす。しかし、その組み合わせ数は膨大である。そこで、乱数によって送迎者集合を変更しつつ、被送迎者の待ち時間と外出成功率を計算する、モンテカルロシミュレーション法を用いる。具体的には、観測された全ての送迎者集合から送迎者の活動パスを乱数によって抽出し、ランダムな送迎者集合によるダイヤ

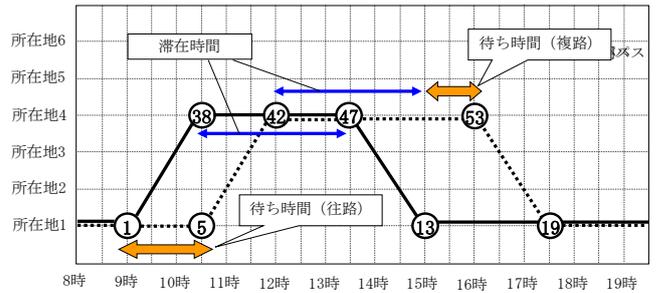


図-4 待ち時間発生状況

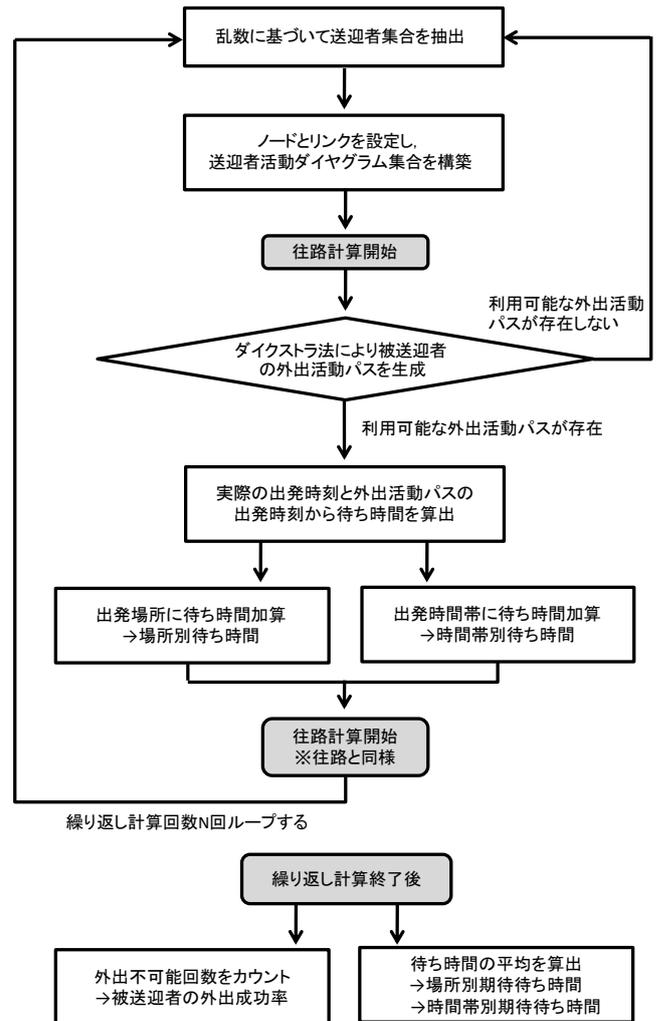


図-5 外出可能性評価アルゴリズムの流れ

ラム上での被送迎者の外出パスを生成する。この手順を膨大な回数で繰り返し行うことによって、被送迎者の外出パスの傾向を再現する。このとき、各繰り返し回数 N について、被送迎者の場所別・時間帯別待ち時間を算出して、それらの平均値として場所別・時間帯別期待待ち時間を求める。また、被送迎者が利用できるパスが送迎者集合上で存在しない場合は、送迎による外出は不可能である。その回数を

カウントすることで、現在の送迎者集合が提供する活動パスに沿った被送迎者集合の外出の成功率を算出する。

図-5 に、ダイクストラ法を適用した被送迎者の外出可能性評価アルゴリズムの流れを示す。

4. モンテカルロシミュレーション結果

ケース 1 を被送迎者が世帯内および世帯間の送迎を利用して外出を行った場合（送迎ダイヤグラム）、ケース 2 を同様の送迎と路線バスを利用して外出を行った場合（送迎+路線バスダイヤグラム）とする。被送迎者の実際の外出活動データを用いて、ケース 1、ケース 2 でのモンテカルロ法によるシミュレーション分析を行った。シミュレーション回数は 20000 回に設定した。

表 1 に、ケース 1、ケース 2 の総待ち時間と外出成功率を示す。同表から、ケース 1 と比較して、ケース 2 は多くのサンプルの総待ち時間が減少しており、9 サンプル中 3 サンプルは 60 分以上待ち時間が減少している。また、外出成功率は、9 サンプル中 7 サンプルが 100% となっている。

図-6、図-7 に、ケース 1、ケース 2 それぞれの場所別期待待ち時間を示す。ケース 1 とケース 2 を比較すると、ケース 2 では全体的に待ち時間は減少しており、特に自宅と宮内の待ち時間が大きく減少している。図-8 に、被送迎者の出発時刻が午前、午後の場合、送迎のみの場合と、フィーダー型送迎場合の平均場所別期待待ち時間の変化を示す。同図から、被送迎者がフィーダー型送迎によって午後に出発する場合の待ち時間が、大きく減少する傾向が見られる。特に、自宅、宮内での待ち時間は 60 分以上減少している。午前の外出は、15 分程度の減少が多い。

5. おわりに

本研究では、送迎者の AD データと路線バスデータから作成した活動ダイヤグラム上で、被送迎者が外出活動を行った場合の場所別・時間帯別待ち時間、外出成功率を算出した。

その結果、世帯間送迎のみと、フィーダー型送迎を比較すると、外出成功率と発生する待ち時間の長さが大きく異なり、フィーダー型送迎では最大で 1 時間程度の待ち時間の短縮が期待できることが明らかとなった。

表-1 総待ち時間と外出成功率

出発時刻	目的地	滞在時間(分)	総待ち時間(分)		外出成功率	
			ケース1	ケース2	ケース1	ケース2
6:00	廿日市	525	90	75	98.37%	99.88%
7:30	玖島分れ	150	105	45	100.00%	100.00%
7:45	玖島分れ	105	75	75	100.00%	100.00%
8:30	玖島分れ	195	105	75	100.00%	100.00%
8:45	玖島	15	150	60	99.83%	100.00%
8:45	玖島分れ	90	30	30	100.00%	100.00%
10:15	宮内	105	330	45	93.45%	100.00%
13:45	宮内	75	15	0	68.16%	100.00%
15:30	玖島分れ	15	165	165	23.80%	88.57%

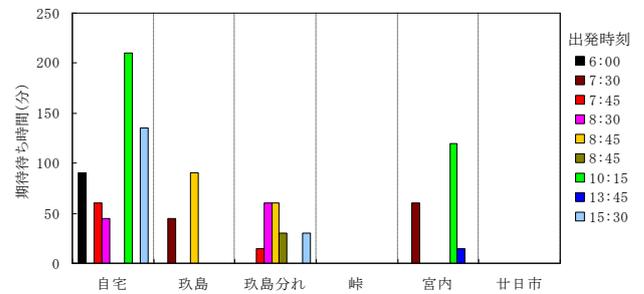


図-6 場所別期待待ち時間（ケース 1）

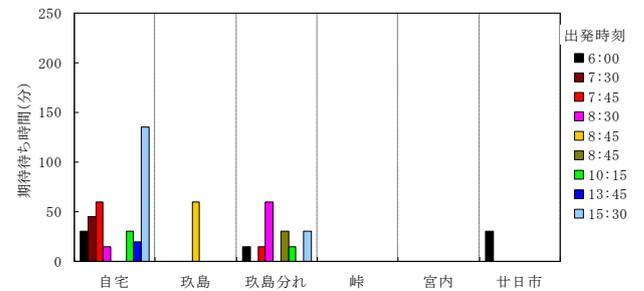


図-7 場所別期待待ち時間（ケース 2）

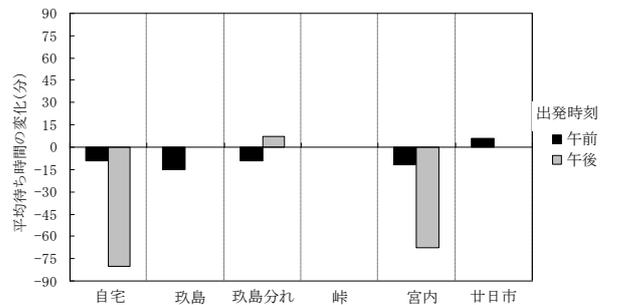


図-8 ケース 1 に対するケース 2 の平均待ち時間の変化