土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (土木計画学研究･論文集第28巻), I_947-I_955, 2011.

活動ダイヤグラムを考慮した送迎交通サービスの定量的評価手法の提案

山下　和哉[1]・塚井　誠人[2]・桑野　将司[3]・奥村　誠[4]

[1]学生会員　広島大学大学院　工学研究科社会基盤環境工学専攻（〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1）
E-mail: m106835@hiroshima-u.ac.jp

[2]正会員　広島大学大学院准教授　工学研究院社会環境空間部門（〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1）
E-mail: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

[3]正会員　神戸大学大学院助教　工学研究科市民工学専攻（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台1-1）
E-mail: kuwano@port.kobe-u.ac.jp

[4]正会員　東北大学教授　東北アジア研究センター地域計画科学研究分野
（〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内41）
E-mail: mokmr@cneas.tohoku.ac.jp

過疎化と高齢化が進行する中山間地域において，高齢者の移動手段を確保するために，送迎を中心とした共助的交通サービスを検討する必要がある．本研究では，インタビュー調査とAD調査から，中山間地域住民の外出活動特性を把握した．さらに，地域特性と住民の外出活動特性を踏まえたフィーダー型送迎サービスを検討し，シミュレーション分析を行った．シミュレーション分析では，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，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，送迎活動を定量的に評価する手法を提案した．

Key Words : *middle mountainous areas, pick-up and feeding transportation, activity diagram, Monte-Calro simulation*

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，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関して，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．そのため，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，世帯内の他の構成員による送迎によって外出している．

しかし，送迎活動によって送迎者は自身の活動の一部が阻害される．また被送迎者も，必ずしも希望する時間帯に外出できないなどの可能性があり，結果的に双方の活動は，時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．すなわち，公共交通の乏しい中山間地域において，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特性を明らかにする．さらに，送迎交通サービス導入の効果を定量的に評価するために，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，シミュレーション分析により送迎と既存の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. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

中山間地域における高齢者の交通行動分析，および外

出機会の確保を目的とした交通サービスに関する研究は，数多く蓄積されている．森山ら[1]は，中山間地域における公共交通計画に関して，域内交通サービスと広域移動サービスの組合せによる，シームレスな公共交通サービスの分析を行った．この研究では，域内交通サービスとしてDRTが有効であると指摘し，また広域移動サービスの利用意向に対して，料金等のサービス水準に加えて，乗り継ぎ，待ち時間，待合所の環境といった要因が大きな影響を与えることを明らかにした．また，竹内ら[2]は，既存バス撤退後の代替公共交通システムとしてDRTに着目し，DRTの運行方式が利用者や運行コストに与える影響を考慮して，DRTとコミュニティバス，およびタクシーを比較したコスト分析を行っている．岸・佐藤[3]は，地域の住民が移動制約者を送迎する輸送形態をサポート交通システムと称し，即時性，運賃，アクセス距離の項目について路線バスおよびDRTとの比較を行った．しかし，DRT等の低需要対応型交通サービスを導入してもなお，運営コストに見合った利用者や採算性を確保できず，継続的なサービスが困難なケースも数多く指摘されている[4]．これらの地域交通に関する研究では，コスト，サービス水準，利用実態の観点から他の交通サービスとの比較を行ったものが多い．

一方，交通利便性が低い地域において，高齢者等の移動制約者の交通手段は，自家用車による送迎に依存する傾向がある．今野ら[5]は，高齢者の交通行動に関するアンケート調査に基づいて，世帯内での送迎実態を明らかにした．その結果，多くの高齢者は帰宅時には別の交通手段を使うなど，送迎交通はそれ自体で完結していないことを明らかにした．また，遠慮や気兼ねにより，送迎需要を潜在化させていることを示した．井上ら[6]は，地方都市の高齢者に着目して，潜在交通需要の実態を量的な側面に加えて，質的な側面からも明らかにした．その結果，単身・免許非保有者は，潜在交通需要の質的な指標である困窮度で見ると外出に困る人が多く，自動車に同乗する機会が無いことによると述べている．福本・加藤[7]は，デマンドバスやフィーダー輸送，乗合タクシー等の少需要乗合輸送サービスを供給形態によって分類し，利用実態の分析を行っている．送迎交通に関する既往研究では，主に高齢者の交通需要に関する考察はなされているが，送迎者と被送迎者間の時空間制約を考慮しつつ，それらの成立可能性を評価している研究は少ない．

地域交通計画のあり方について，谷本・喜多[8]は，活動ニーズの充足を計画情報に用いた公共交通計画の指向性について指摘を行っている．この研究では，住民の活動ニーズが既往の活動機会に適応して形成しうる可能性を指摘し，米子市を対象とした考察において，活動機会が低い地区の人々が形成する活動ニーズは，その環境に適応して控えめとなることを明らかにしている．つまり，活動機会の高低に関わらず，住民ニーズを満たすことを基準とした計画が立案された場合，活動機会の高い地区と低い地区のサービス水準の格差が拡大する可能性がある．したがって，満足度を中心的な計画情報とせず，公共交通計画を活動機会によって評価するアプローチが必要としている．吉田ら[9]は，空間的移動の達成水準を地域別・属性別に集計した外出活性水準指標を用いて，特にその水準が低い地域の特性を明らかにした．この研究では，外出活性水準に関する公共交通のサービス質を表わす変数として，路線バスを利用した病院へのアクセス性を用いているが，さらに他の公共交通サービスに関する変数の検討，住民の移動の確保を考慮した地域公共交通の評価手法の改良を課題として挙げている．このように，地域交通の評価を行う上では，活動機会，移動可能性の確保に着目した評価手法の検討が必要である．

交通行動を分析する際に，交通行動を生活活動の一部として取り扱うアクティビティアプローチの有用性が指摘されてきた[10]．桑野・塚井[11]は，活動スケジュール評価モデルを構築し，送迎活動を送迎者，被送迎者双方の活動スケジュール調整問題として捉えた上で，世帯間送迎の成立可能性を評価している．提案モデルは，各活動の時間帯の価値，および活動時間長の価値から成る活動スケジュール価値を最大にするように，各活動の開始時刻と終了時刻を決定する．そして，個人の活動スケジュール価値とシナリオ下での最適活動スケジュールの価値から算出される活動スケジュール変更コストを用いて個人間マッチングを行い，送迎活動を表現している．

時間地理学の分野において，時空間制約下での活動の実行可能性を考慮する指標として，時空間パスおよび時空間プリズムの概念が存在することが知られており[12]，交通分野においても用いられている[13),14]．大森ら[15),16]は，個人の時空間制約を考慮して，同一車両への同乗可能性を評価した．この研究では時空間プリズムの概念を用いて，ある活動機会において外出活動を実行する際に，交通手段や日時に対する代替活動パターンを生成するモデルを構築した．実際の活動とは異なる時間帯・日にちのプリズム制約を利用可能とすることで，個人のスケジュール変更を考慮しており，他者の車に同乗して移動する際に，希望する移動の時空間パスと，同乗を提供する側の時空間プリズムとのマッチングによって同乗成立可能性を判定している．この方法はあらかじめ送迎者と被送迎者を確定することによって1対1の精緻なマッチング可能性を評価する手法である．しかし，本研究が想定するようなコミュニティ内の世帯間送迎が，持続的に行えるか否かを評価する手法として用いるには，計算負荷が大きくなる点で課題を有する．

本研究では，ADデータから得た個人の時空間制約を考慮して，対象地域において提案するフィーダー型送迎

の実現可能性を評価する．本研究においての送迎は，世帯内，世帯間を問わず成立すると仮定し，路線バスへの乗り継ぎも考慮した上で，被送迎者が外出して1日のうちに帰宅できる場合を，外出成立とする．また，時空間制約を考慮するために，送迎者の外出データから活動ダイヤグラムを構築し，ダイヤグラム上で被送迎者が外出可能となる活動パスを探索する．さらに，世帯間送迎を提供するドライバーが，確率的にトリップを行うことを考慮するため，送迎者集合を確率変数とするモンテカルロシミュレーションを行う．具体的には，所在地別・時間帯別に発生する待ち時間と，外出成功率を算出し，被送迎者の外出可能性を評価する指標として用いる．これらの指標をもとに，フィーダー型送迎サービスの実現可能性を検討する．

3. 使用データについて

(1) 調査の概要

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．対象地域は，2007 年時点で人口 122 人（49 世帯），高齢化率 35.2%の典型的な小規模集落である．同地区は，廿日市市から津田地区を結ぶ幹線バス路線から数キロしか離れていないものの，現在 DRT 等の公共交通機関が存在しておらず，コミュニティ内での小規模な交通手段の必要性が高い点を考慮して，調査対象地区とした．

インタビュー調査では，戸別訪問により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 日間の活動の記録を求め，後日訪問回収した．回答者は被送迎者と送迎者に分かれ，60 歳以上で自動車を運転できない人を被送迎者，会社員以外で自動車を運転できる人を送迎者とし，世帯内で該当する全員に回答を求めた．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．

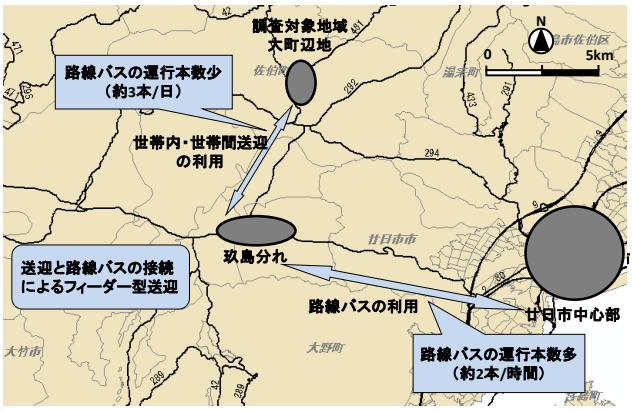

図-1 対象地域とフィーダー型送迎サービスの適用範囲

(2) 調査対象地域における外出活動特性

集計分析を行った結果，**図-2** から，交通手段は自動車に依存しており，そのうち 24%は送迎の利用であるこ

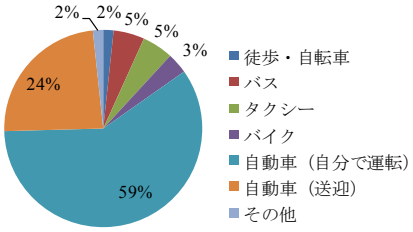

図-2 主要交通手段

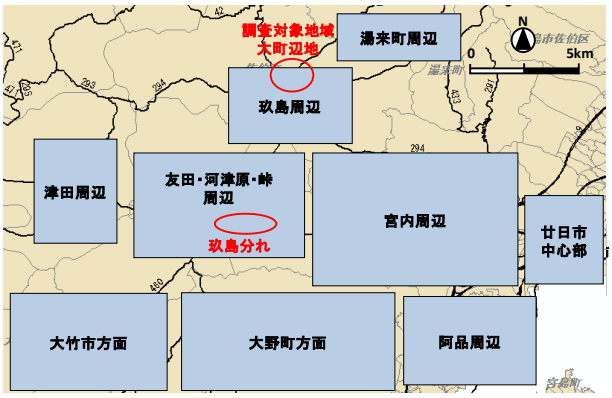

図-3 対象地域周辺のゾーン区分

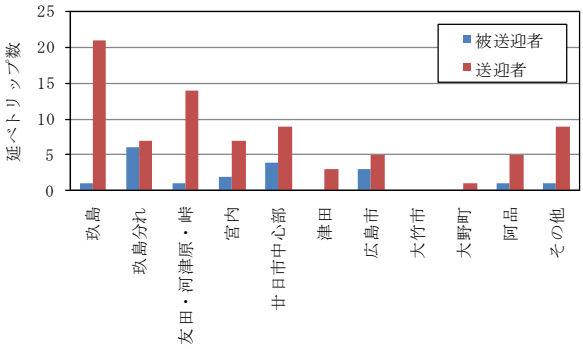

図-4 外出先集計結果

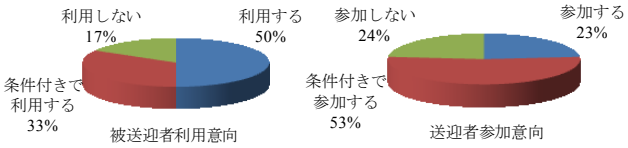

図-5 世帯間送迎サービス利用・参加意向

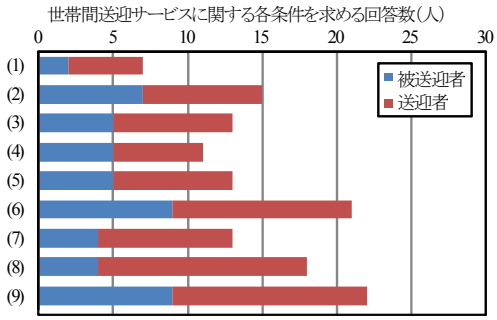

図-6　世帯間送迎サービスに求められる条件

とが明らかになった．**図-3** は，住居や生活関連施設の立地から，対象地域周辺で設定したゾーン区分を示す．なお，玖島分れは友田・河津原・峠周辺のゾーンに含まれるが，玖島分れには対象地域住民の生活拠点となる商業施設が密集しているため，玖島分れのみを単独のゾーンとして定義した．また，図中のゾーン区分で包含されていない地域は，住居，生活関連施設ともにほとんど立地が無い地域である．このゾーン区分を用いて**図-4** から，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する地区では，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．ヒアリングの結果と合わせて考えると，被送迎者は世帯内送迎を利用して外出することが多いと思われる．**図-5** は，外出が困難な高齢者を世帯間で送迎し合うという，仮想の世帯間送迎サービスに対する利用・参加意向を示す．なお，「条件付きで利用・参加する」は，世帯間送迎サービスに関して回答者が求める条件が満たされた場合に利用・参加することを示している．世帯間送迎サービスの条件は，以下の(1)~(9)である．

(1)　送迎は平日のみ行う
(2)　送迎の交渉は送迎者と被送迎者が直接行う
(3)　無料で送迎を行う
(4)　片道のみ送迎を行う
(5)　一度に複数人を送迎する場合がある
(6)　被送迎者の自宅から目的地まで送迎を行う
(7)　送迎者は，送迎可能な時間帯を公開する
(8)　時間の都合が悪ければ，送迎を断っても良い
(9)　被送迎者は，交通事故に備えて保険に加入する

図-6 は，世帯間送迎サービスにおいて，上記の(1)~(9)の条件を求める回答数を示す．これらの条件を踏まえた回答によると，被送迎者・送迎者ともに，世帯間送迎サービスに肯定的な意向を持つことがわかった．

集計結果から，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本研究が想定するフィーダー型送迎の適用範囲である．

4.　分析手順

フィーダー型送迎の実現可能性を定量的に評価するため，時空間上で送迎者と被送迎者の外出活動トリップのマッチングを行う．そこで，送迎者の外出活動を時空間活動ダイヤグラムとして表現する．このとき，被送迎者の外出は，送迎者のダイヤグラム集合上を移動することによって成立する．なお，以下の分析では，被送迎者は外出の間，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．

(1)　送迎者の活動ダイヤグラム作成手順

AD 調査から得た送迎者の 1 日の活動における各時間帯の所在地と活動時間，および滞在時間を活動ダイヤグラムの作成に用いる．活動ダイヤグラムの入力データは，送迎者データのみを用い，送迎者 1 人の 1 日分を 1 サンプルとする．時間帯は，取得データで実際に外出活動があった 5:00~21:15 までを 1 日のデータとして，15 分間隔で 65 区間に区切った上で，各時間帯の所在地を読み取って，コード化する．なお時間間隔は，対象地域の所在地ゾーン間の移動時間がおおむね 10 分~15 分程度であることを踏まえて設定した．なお，15 分間内で場所の移動がある場合は，15 分間内で最も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ゾーン区分を**図-7** に示す．

次に，各時間帯の所在地をノード，各時間帯別の所在地を結んでリンクとして，送迎者の外出パスのノードとリンクを設定した．よって，1 リンクの長さは全て 15 分である．なお，ノード番号の連なりが，同一地点への滞在か，あるいは異なる地点間の移動かの識別を容易にするため，場所別に時間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．

被送迎者は，送迎者の活動ダイヤ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ヤグラムに沿って帰宅する．このとき，目的地で利用可能な帰宅側の活動ダイヤ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，送迎者の活動ダイヤグラムにおいて，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，

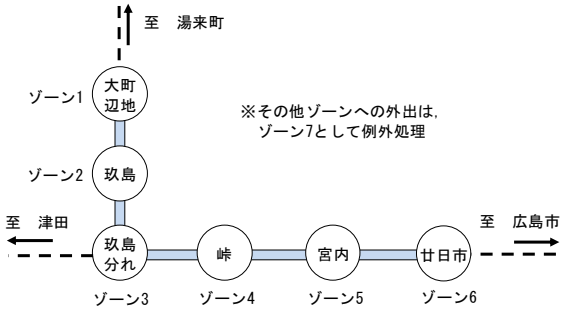

図-7　所在地ゾーンの区分

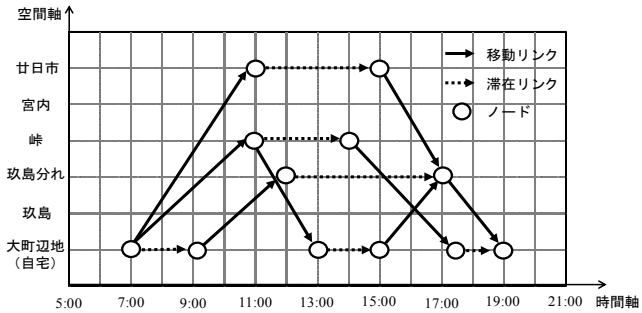

図-8　ノードとリンクの設定

これらを結ぶ滞在リンクを追加した．ノードとリンクの設定について，図-8 に示す．

(2)　被送迎者の外出活動パスの算出

被送迎者の活動パスは，外出開始時刻，目的地とその滞在時間を所与として，送迎者の活動ダイヤグラム上で算出される．活動パスの探索法に用いるダイクストラ法では，出発ノード（出発時刻と場所）を根として，その他全てのノード（時刻と場所）を葉とする最短経路木を探索する．

活動ダイヤグラムの定義では，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．よって被送迎者は，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い，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活動パスを探索し，最早帰宅時刻を算出する（復路）．

なお，時空間活動ダイヤグラムは有向グラフであり，少なくとも出発時刻より早い時間帯のノードは全て到達不能でなくてはならない．そこで，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，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表現した．

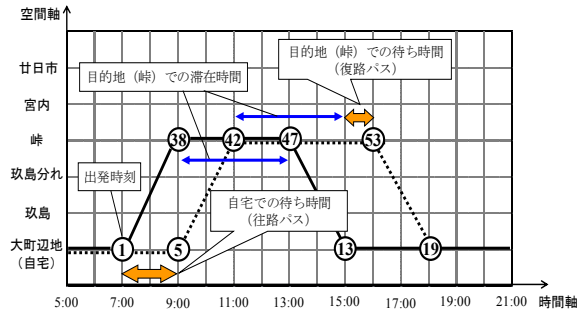

図-9　待ち時間の発生状況

(3)　モンテカルロシミュレーションによる外出成功率・期待待ち時間の算出

送迎者の活動ダイヤグラムにおいて，探索された被送迎者の活動パス上のノード間隔から待ち時間を計算する．なお，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を，待ち時間とする．図-9 に，待ち時間の発生状況を示す．実線は，AD データから得た被送迎者の外出活動を表わすパスであり，破線は，送迎を利用して外出した場合の活動パスである．図-9 のように，実際の外出パスと比較して，送迎を利用して外出する場合の待ち時間は，主に自宅，目的地において発生する．ただし，自宅での待ち時間は，別の自宅内活動に充てることができるので，待ち時間による被送迎者の負担は軽いと思われるため，後述する所在地別期待待ち時間の計算では評価から除外する．また，待ち時間は，活動ダイヤグラムを構成する送迎者の外出パターンに依存することが明らかである．本研究では，シミュレーション結果の頑健性を確保するために，活動ダイヤグラムを構成する送迎者データはランダムサンプリングとする．すなわち，複数の送迎者の外出パターンの組み合わせを確率変数とみなせば，その組み合わせ（送迎者集合）を乱数によって変更しつつ，被送迎者の期待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を適用することができる．期待待ち時間と外出成功率は，それぞれ式(1)，(2)のように表わされる．

$$E[W_{ij}] = \frac{\sum_{n=1}^{N} W_{ij}^{(n)}}{N}, \quad W_{ij}^{(n)} = td_{ij}^{(n)} - ta_{ij}^{(n)} - T_{ij}^{(n)} \tag{1}$$

$$A_i = \frac{\sum_{n=1}^{N} s^{(n)}}{N} \tag{2}$$

ここで，n は繰返し計算回数($n=1,\ldots,N$)，W_{ij} は被送迎者 i の所在地 j における待ち時間，ta_{ij}は被送迎者 i の所在地 j への到着時刻，td_{ij}は被送迎者 i の所在地 j からの出発時刻，T_{ij} は被送迎者 i の所在地 j における活動遂行のための滞在時間，そして，$E[W_{ij}]$は被送迎者 i の所在地 j にお

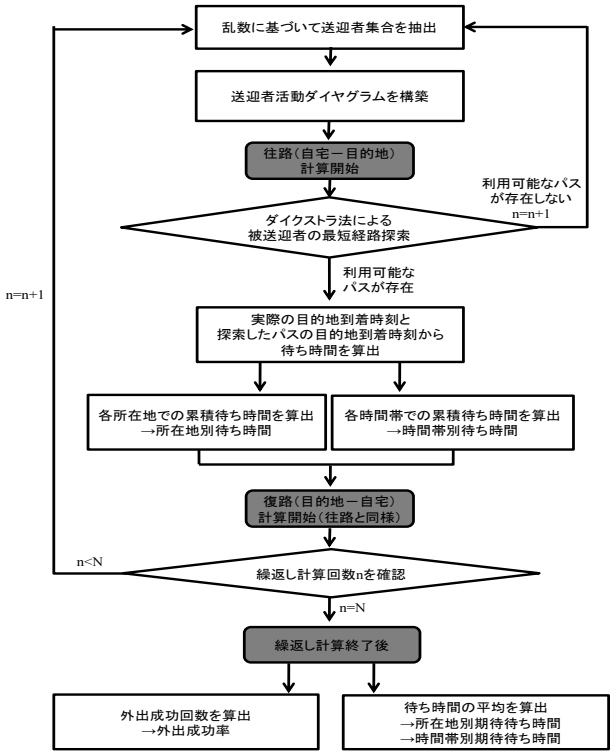

図-10　外出可能性評価アルゴリズムの流れ

ける期待待ち時間である．また，A_iは被送迎者iの外出成功率である．また，$s^{(n)}$に関して，被送迎者i がn回目の計算で外出可能な場合は$s^{(n)}=1$，外出不可能な場合は$s^{(n)}=0$となる．

期待待ち時間は，所在地別，時間帯別に求めることができる．所在地別待ち時間は，送迎／バスを利用するために，活動実行時間を除いて各所在地に滞在している時間として算出される．時間帯別待ち時間は，各時間帯（15分間隔）において，同様に滞在している時間として算出される．このとき，各繰り返し回数Nについて，所在地別・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ダイヤグラム上で存在しない場合，つまり外出不可能な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ダイヤグラムに沿った被送迎者の外出成功率を算出する．

図-10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．なお，本アルゴリズムは，1名の被送迎者に対して，それぞれ外出成功率を算出する手順を示したものであるが，実際は多くの被送迎者が特定の送迎者の外出アクティビティパスを集中的に利用する可能性がある．よって，その送迎者への同乗が不可能になる事態も想定される．この可能性は，送迎者集合の外出パスが，実際にはどの送迎者によって提供されているのかを調べることによって確認することができる．以下の分析では，簡単のためそのような評価は行っていないが，本手順は結果に対して追加分析を行うことによって，需要が高い時空間パスを事後的に求めることができる．

5.　送迎シミュレーション分析

(1)　シナリオの設定

シミュレーションのシナリオは，被送迎者の外出手段に応じて，以下の4つを設定した．

Case 1：世帯内送迎を利用して外出
Case 2：世帯内送迎＋路線バスを利用して外出
Case 3：世帯間送迎サービスに参加意向を持つ送迎者による送迎＋路線バスを利用して外出
Case 4：集落内全ての送迎者による送迎＋路線バスを利用して外出

なお，簡単のため被送迎者は，世帯間送迎サービスの利用意向に関わらず，送迎，または路線バスを利用できる場合は必ず外出し，送迎者に合わせて自宅出発時刻を早めることはないとする．また，複数の送迎者の活動パスを乗り継いで目的地に到着することは可能である．

活動ダイヤグラム作成時の送迎者データに関して，Case 1 では，被送迎者と同一世帯の送迎者データのみを用いる．Case 2 では，被送迎者と同一世帯の送迎者データと，路線バスの運行データを用いる．Case 3 では，**図-5** において「参加する・条件付きで参加する」と回答した送迎者のデータと，路線バスの運行データを用いる．Case 4 では，調査対象集落における全ての送迎者のデータと，路線バスの運行データを用いる．これら4つのシナリオに対して，各送迎者の 3 日分の AD データから 1 日分をランダムに抽出するように，モンテカルロシュミレーションを適用する．なお，繰返し計算回数は，$N=20000$とした．

(2)　シミュレーション結果

表-1 に，被送迎者の外出成功率と，総期待待ち時間を示す．総期待待ち時間は，場所別期待待ち時間の総和である．なお，本来は自宅のある大町辺地での待ち時間が発生するが，4 章の(3)で述べた理由により，表中では除外した．また，AD 調査では被送迎者 12 人のデータを得たが，**図-1** で示したフィーダー型送迎サービスの適用範囲に見合うように，玖島分れ，宮内，廿日市の所在地ゾーンを目的地として行われた外出のみを抽出したところ，表中に示す 7 サンプルが分析に利用可能となった．

外出成功率に関して，Case 1，Case 2 では，ほとんどのサンプルの外出成功率が低い．これは，本研究の設定ではランダムに送迎者集合の外出パスを設定したため，被送迎者の都合に合わない外出パターンが得られたことによるものであり，実際には両者は外出のタイミングを

表-1　外出成功率と総期待待ち時間

サンプル No.	出発時刻	目的地	滞在時間（分）	外出成功率				総期待待ち時間（分）			
				Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
1	6:00	廿日市	525	0.73%	60.83%	93.82%	96.71%	150	150	45	15
2	7:30	玖島分れ	150	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	-	-	60	45
3	8:30	玖島分れ	195	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%	15	225	60	60
4	8:45	玖島分れ	90	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	-	-	30	30
5	10:15	宮内	105	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	-	-	75	0
6	13:45	宮内	75	1.02%	16.88%	96.22%	99.17%	0	30	30	30
7	15:30	玖島分れ	15	0.00%	0.00%	54.30%	62.48%	-	-	90	90

調整するため，外出成功率はより高くなる．あるいは，本研究で送迎を可能な者全てを対象として送迎者集合を設定したため，実際に被送迎者を送迎した送迎者データが含まれる場合が多く現れた可能性がある．この点については，結果の頑健性について，さらにシミュレーション回数を増やして検討する必要がある．比べて Case 3, Case 4 では，明らかに外出成功率が高くなっており，サンプル No.7 を除いて，90%以上の確率で外出できることがわかった．一方，総期待待ち時間に関して，Case 3, Case 4 では，全てのサンプルの待ち時間が 90 分以下となっている．特に Case 4 では，サンプル No.7 を除いて，待ち時間が 60 分以下となることがわかった．なお，サンプル No.3 について，待ち時間が Case 1 で 15 分，Case 2 で 225 分となっているのは，自宅での待ち時間を除外したことによるものである．Case 1 で主に自宅で発生していた待ち時間が，Case 2 では路線バスも利用できることになり，自宅外で送迎－路線バス間の乗換が生じることによって自宅での待ち時間が減少し，自宅外での待ち時間が増加したことになる．これらの結果から，被送迎者は，世帯内送迎に依存して外出を試みる場合，外出できない可能性が高い．一方，他世帯の送迎者による送迎や，路線バスを利用する場合，容易に外出できるようになる．また，Case 3 と Case 4 の間で，外出成功率にほとんど差がないことから，世帯間送迎に参加意向を持つ送迎者のみによるサービスの提供は可能であると考える．その際，往復路合わせて期待される待ち時間は 90 分以下であり，被送迎者が受け入れる場合，フィーダー型送迎サービスの実現可能性は高い．

図-11~図-14 に，Case 1~Case 4 の所在地別期待待ち時間の分布を示す．なお，図中の出発時刻は，それぞれサンプル No.1~7 の自宅出発時刻を示している．**図-12** (Case 2) より，**表-1** で外出成功率が高いサンプル No.1，3 は，それぞれ玖島分れと宮内において 150 分以上の待ち時間が発生している．また，**図-13** (Case 3)，**図-14** (Case 4)より，ほとんどのサンプルは玖島分れにおいて 15~60 分の待ち時間を有することがわかる．玖島分れでは，多くのサンプルが送迎から路線バスへ，交通手段を転換しているため，待ち時間が発生しやすいと考えられる．玖島分れー

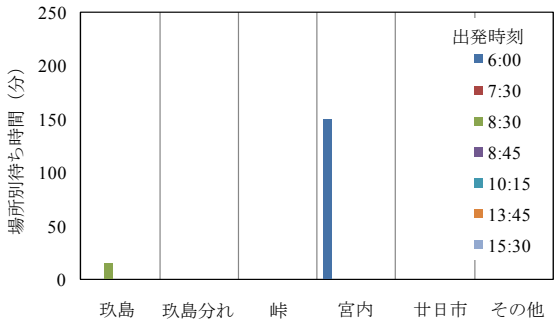

図-11　所在地別期待待ち時間（Case 1）

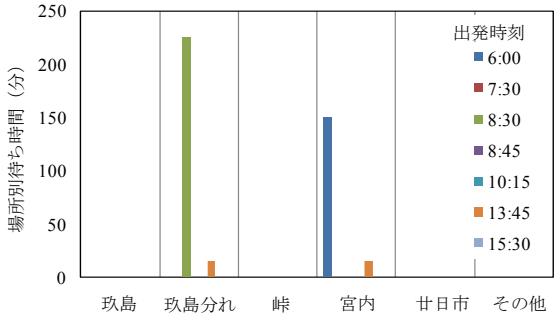

図-12　所在地別期待待ち時間（Case 2）

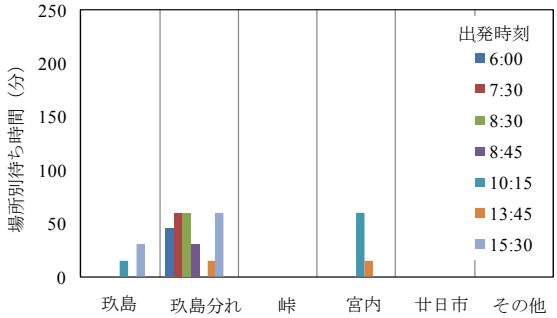

図-13　所在地別期待待ち時間（Case 3）

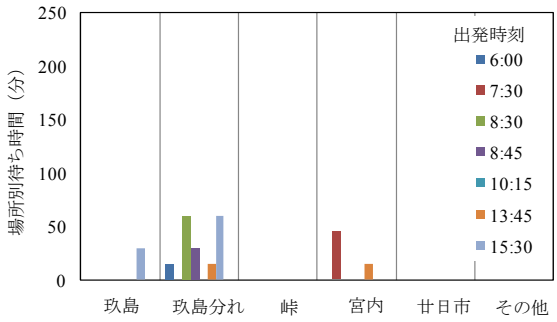

図-14　所在地別期待待ち時間（Case 4）

廿日市の区間は，路線バスが高頻度で運行しており，対象地域におけるフィーダー型送迎の適用に関して，玖島分れは重要な結節点であることが言える．

以上のシミュレーション結果より，世帯内送迎による従来の外出と比較して，フィーダー型送迎の適用は，被送迎者の外出成功率を大いに高めることがわかった．また，本シミュレーションにおいて，被送迎者がフィーダー型送迎を利用して外出する場合，期待待ち時間は15~60 分程度であり，玖島分れにおいて集中的に発生することが確認できた．

6. おわりに

本研究では，待ち時間と外出成功率を指標として，送迎交通サービスを定量的に評価する手法を提案した．また，中山間地域における高齢者の外出可能性を評価するため，地域内での世帯間送迎と路線バスの接続によるフィーダー型送迎サービスを適用した場合のシミュレーション分析を行った．

その結果，フィーダー型送迎の導入によって，被送迎者の外出成功率は大きく高まり，長い待ち時間を伴わない外出が容易になることがわかった．また，提案手法では，所在地別，時間帯別の待ち時間発生状況を把握できることが確認された．本研究で提案した評価方法を用いることで，中山間地域のような交通需要が低い地域において，送迎交通や，DRT，相乗りタクシーの導入といった地域交通サービスを，利用者視点から定量的に評価できると考える．また，待ち時間が発生しやすい場所に待合施設や，タクシー乗り場を設置するといった，細かな施設整備に対しても有用である．

なお，本研究で示したような評価手法を一般化するにあたり，いくつかの課題が残る．まず，提案した活動ダイアグラムに関して時間的・空間的に詳細なデータが必要である．特に，より精度の高い結果を求めるために，アクティビティダイアグラムのサンプル数を確保する必要がある．また，ダイアグラム上の空間軸についても，より詳細な地点を設定することが望ましい．次に，フィーダー型送迎の成立可能性に関して，利用・参加に対する心理的要因の考慮，送迎者や送迎車両の確保，利用システムなど実用面での検討を要する．また，モンテカルロシミュレーションの回数が分析結果に及ぼす影響についても，さらに検討を深める必要がある．

参考文献

1) 森山昌幸，藤原章正，張峻屹，杉恵頼寧：中山間地域におけるシームレスな公共交通サービスの分析，土木計画学研究・論文集，Vol.22，pp.659-665，2005.
2) 竹内龍介，大蔵泉，中村文彦：運行特性を踏まえたDRT システムのコスト分析に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.20，pp.637-645，2003.
3) 岸邦弘，佐藤馨一：住民ニーズに基づいた過疎地域における生活交通手段の策定プロセス，土木計画学研究・論文集，Vol.23，pp.591-597，2006.
4) 福本雅之，加藤博和：役割分担に着目した地域公共交通運営方式の分類と各方式の有効性検討，土木計画学研究・講演集，Vol.31，CD-ROM，2005.
5) 今野速太，清水浩志郎，木村一裕，五十嵐日出夫：高齢者のモビリティ確保における送迎交通の実態，第 29 回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.103-108，1994.
6) 井上詠友，青島縮次郎，杉木直，古澤浩司：地方都市における高齢者の外出の潜在化とその困窮度に関する意識分析，土木計画学研究・講演集，Vol.26，CD-ROM，2002.
7) 福本雅之，加藤博和：適材適所となる少重要乗合交通サービス提供に関する基礎的検討，土木計画学研究・講演集，Vol.31，CD-ROM，2005.
8) 谷本圭志，喜多秀行：地方部における公共交通の計画情報に関する考察－活動の機会と活動ニーズの関係に着目して，土木学会論文集，Vol.65，pp.534-543，2009.
9) 吉田樹，秋山哲男，竹内伝史：市民の外出活性水準を考慮した地域公共交通の評価に関する基礎的検討，土木学会論文集，Vol.65，pp.348-359，2009.
10) Acker, V. V., Wee, B. V., Witlox, F.: When Transport Geography Meets Social Psychology: Toward a Conceptual Model of Travel Behaviour, *Transport Reviews*, Vol. 30, No. 2, pp.219-240, 2010.
11) 桑野将司，塚井誠人：活動スケジュール評価に基づく集落コミュニティ内送迎の個人間マッチング手法，都市計画論文集，No.45-3，pp.697-702，2010.
12) 荒井良雄，岡本耕平，神谷浩夫，川口太郎：都市の空間と時間－生活活動の時間地理学－，古今書院，1996.
13) 西井和夫，佐々木邦明，鈴木陽介：アクティビティ調査に基づく時間利用パターンの多変量解析手法を用いた類型化，第 22 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.149-152，2002.
14) 朝倉康夫，羽藤英二：交通ネットワーク上の経路選択行動：観測と理論，土木学会論文集，No.660/IV-49，pp.3-13，2000.
15) 大森宣暁，室町泰徳，原田昇，太田勝敏：生活活動パターンを考慮した高齢者のアクセシビリティに関する研究～秋田市をケーススタディとして～，土木計画学研究・論文集，Vol.15，pp.671-678，1998.
16) 大森宣暁，室町泰徳，原田昇，太田勝敏：GIS ベースのゲーミングシュミレーションツールの開発と高齢者の活動交通分析への適用，土木計画学研究・論文集，Vol.17，pp.667-676，2000.

（2011. 2. 25 受付）

THE PROPOSAL OF QUANTITATIVE EVALUATION FOR PICK-UP TRANSPORTATION SERVICES CONSIDERING ACTIVITY DIAGRAM

Kazuya YAMASHITA, Makoto TSUKAI, Masashi KUWANO
and Makoto OKUMURA

In middle mountainous areas, most inhabitants use cars as the daily transportation mode to travel with long distance to go to commodity shops and hospitals, because public transportation services such as a regular bus are poor. Thus, elder inhabitants who cannot drive by themselves tend to depend on pick-up service provided by household members. In addition, the drivers who provide the pick-up transportation are also old, so that the sustainable service provision are not expected. Therefore, it is necessary to consider a cooperative transportation services by community members.

This study proposes a "pick-up for feeding to bus" which combines the pick-up transportation provided by community members with the regular bus service operated in trunk lines. In order to quantitatively evaluate the pick-up transportation, the possibility to match activities of elders to go out with activities of community members is simulated by using indices such as waiting time and the achievement rate of the round trip within a day. In the simulation procedure, the driver's round trip chain from home via destination to home can be described by spatiotemporal activity diagram. When an elder goes out by using other driver's car, he/she moves along the driver's activity diagram. In other words, the desirable activity path of elders is made on the driver's activity diagram. Through the Monte-Calro simulation, the waiting time and the achievement rate of elders are calculated in a series of the shortest path searching.

The simulation clarified that the achievement rate of elder's out-of-home activities were significantly improved by introducing the pick-up and feeding system, and the waiting time was also improved.