ソーシャルネットワークを考慮した 生活関連施設の利用可能性の分析

桑野 将司¹・福山 敬²

¹正会員 鳥取大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻（〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101）
E-mail: kuwano@sse.tottori-u.ac.jp

²正会員 鳥取大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻（〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101）
E-mail: fukuyama@sse.tottori-u.ac.jp

本研究では、世帯構成員や友人による活動代替性や送迎可能性を考慮した生活関連施設の利用可能性の評価手法の提案を行った。具体的には、アンケート調査によって捕捉した個人の支援者数や支援者属性をもとに、複雑ネットワーク分析を応用して、地域のソーシャルネットワークを再現する手法を構築した。さらに、離散選択モデルを用いて、個人の交通手段別の施設利用可能性をモデル化した。これら2つの分析結果を組合せ、個人が自分で施設が利用可能な状況を表現する直接アクセシビリティと、他者による活動の代替や送迎によって施設が利用可能な状況を表現する間接アクセシビリティを算出し、地域全体のアクセシビリティを定量化する方法を提案した。

Key Words : *social network, configuration model, accessibility, alternative transportation, shopping requests*

1. はじめに

日本では少子高齢化の進行に伴って、人口減少が加速している。特に地方部では、若年世代が大学進学や就職などで大都市に移住したことによって、高齢化率上昇や少子化、人口減少の進行が顕著である。その結果、地域経済衰退や働き手不足などの問題が顕在化し、スーパーや病院といった生活関連施設の撤退が進んでいる。また自家用乗用車の普及と道路整備の拡充により、公共交通機関の需要が減少し、採算が取れないために民間の公共交通機関の撤退も進んでいる。住民の生活利便性の確保のためには、引き続き生活関連施設の配置や機能の充実、あるいは交通サービス水準の向上に重点を置いたまちづくりが求められる。

スーパーや病院などの生活関連施設は人々が日常生活を行う上で必要不可欠な施設であるため、生活関連施設への移動のしやすさに着目することは、日常生活の過ごしやすさに着目することと同じである。特に最近では、外出手段が確保できず、社会参加が十分にできない人々あるいは地域が存在することが、社会的排除などの社会問題として理解されるようになり、交通面からの課題解決が求められている^{1),2)}。

住民の生活関連施設の利用のしやすさ、すなわちア

クセシビリティに着目した研究は、これまで多くなされてきた。既往研究のアクセシビリティに着目した研究では、ある個人に着目し、その個人が直接利用することができる生活関連施設や交通手段を把握することで移動のしやすさが評価されることが多い。しかし、実際には、世帯構成員や友人などの人とのつながりの中で互いに助け合ったり、役割分担をして生活をしている。言い換えると、直接生活関連施設を利用していない人、あるいは利用できない人の中には、世帯構成員や親族、友人、近隣住民との役割分担や支援によって、間接的に生活関連施設を利用することができる人もいる。このような他者とのつながりはソーシャルネットワークと言われる。少子高齢化と人口減少によって地方財政が厳しく、今後も改善が見込まれない現状を考えると、全ての個人に自由な移動や活動を公的サービスによって提供することは不可能である。そのため、世帯構成員や親族、友人、近隣住民からの互助を受けることができない人を抽出し、その人を支援するための地域・交通計画が必要であり、そのためにはソーシャルネットワークを考慮した新しいアクセシビリティの分析、評価手法が必要である。

本研究では、日常生活に必要な不可欠なスーパーや病院といった生活関連施設に着目し、世帯構成員や友人、別居の親族による活動代替性や送迎可能性を考慮した、新

しい生活関連施設の利用可能性を評価できる調査、分析システムの構築を行うことを目的とする。具体的には、アンケート調査で対象地域のソーシャルネットワークの数理的特性を捕捉し、複雑ネットワーク分析を応用することによって、調査で得たソーシャルネットワークの数理的特性を再現するソーシャルネットワークの生成方法の提案を行う。さらに、個人の生活関連施設の利用可能性を離散選択モデルによって分析する。そして、再現したソーシャルネットワークと個人の施設利用可能性を結合することによって「人」「乗物」「施設」の要素間のつながりをモデル化し、個人が直接施設を利用できるという直接的アクセシビリティと、世帯構成員や友人などを介して利用できるという間接的アクセシビリティの定量化を行う。なお、ソーシャルネットワークには、Web上の知り合いや職場の同僚、顔見知りなど様々なつながり方があるが、本研究では、「困ったときにすぐに駆けつけて、助けてくれる別居の親族や友人・知人とのつながり」を分析対象とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既往研究の整理

施設利用可能性やアクセシビリティに関する概念や定量化手法の提案は古くからなされており、またそれらを整理したレビュー論文も多い^{2)・7)}。国内研究に着目すると、加賀屋・三木⁸⁾は、GISを用いて世代別人口、医療施設の分布、および交通ネットワークを用いて、都市内の任意の地点におけるアクセシビリティを施設までの時間距離の関数を用いて指標化している。増山⁹⁾は、人口分布が生活便利施設へのアクセシビリティによって規定されているという仮説の検証を行った。アクセシビリティの定量化には、100mメッシュ単位の人口分布データとスーパーマーケット位置を記録したポイントデータを用いている。これらの研究は、交通ネットワークや人口分布などの地理的空間情報を用いて、ある地点から所与の移動時間、あるいは移動距離内で到達可能な施設やサービスの数を算出することで、地点のアクセシビリティを計測する手法である。

空間的側面に加え、住民の活動時間を考慮したアクセシビリティ指標の提案もなされている。時間地理学の分野において、時空間制約下での活動実行性を考慮する指標として、時空間プリズムの概念が用いられており¹⁰⁾、交通分野においても適用されている。大森ら¹¹⁾は、高齢者にとって外出活動の中でも重要と考えられる通院活動に着目し、所要時間、一般化時間、および高齢者の1日の時間利用データを用いて、アクセシビリティを個人の時空間制約の下での通院可能性で指標化した。さらに大

森ら¹²⁾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、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。谷本ら¹³⁾は、公共交通は路線および運行時刻が固定されていることから、個人に時空間的な制約が生じる点に着目し、1日における個人の実行可能な時間配分がどれだけ多様であるかを評価するアクセシビリティ指標を提案した。具体的には、時空間プリズムにおける実行可能な時空間パスを数え上げることによってアクセシビリティを定量化する。さらに、喜多ら¹⁴⁾は、谷本ら¹³⁾によるアクセシビリティ指標に、身体的な制約による公共交通の利用可能性と、個人属性や地形の影響を考慮した疲労の概念を加え、個人レベルのバス停までのアクセシビリティ値の算出を行っている。ここで身体的な制約や疲労に関する変数には、バス停までの歩行距離やバス停のベンチの有無、バスのステップ、着席の可否などを用い、アンケート調査結果から提案した指標の有用性を示している。榎本ら¹⁵⁾は、アクセス費用がアクセシビリティを表す指標と考え、公共交通と自動車のアクセス費用の比較を行っている。ここで、アクセス費用として、公共交通利用者では運賃と乗車時、停留所待ち時の時間価値を、自動車利用者は乗車時の時間価値と燃料費を仮定し、パーソナリティ調査の結果を用いて、アクセス公共交通機関の導入による手段転換可能性について考察している。

アンケート調査結果を用いて、個人のアクセシビリティを計測する研究も盛んになされている。今野ら¹⁶⁾は高齢者を対象にアンケート調査を行い、自動車の運転に制約のある高齢者は買物などの代替可能な目的でも、他の構成員に送迎を依頼して自分が外出することが多いことを示した。寺山ら¹⁷⁾は買物先、通院先の目的地選択モデルを構築し、選択モデルから得られるログサムから高齢者、非高齢者別にアクセシビリティを算出した。分析の結果、高齢者の方が非高齢者よりも移動距離に対する抵抗感が大きいことを示した。前山ら¹⁸⁾は中山間地域を対象に、送迎行動の有無が送迎提供可能者と高齢者双方の外出行動に与える影響について分析した。分析では、送迎提供可能者と高齢者それぞれの外出発生と目的地選択で構成される外出行動モデルを定式化し、送迎提供可能者の外出行動モデルには送迎必要者の有無を、高齢者の外出行動モデルには世帯内送迎提供可能者の有無を説明変数として導入している。分析の結果、送迎提供可能者は送迎の影響を受け、目的地や外出頻度が変化すること、高齢者の外出は送迎提供可能者による送迎に強く依存し

ていることを明らかにした。

(2) 本研究の位置づけ

施設利用可能性やアクセシビリティに関して既往研究で多く論じられている。しかし、各個人を独立な活動主体とみなし、個人の移動のしやすさを分析した研究がほとんどである。住民の中には、同居している家族が買い物に行くことで生活必需品を手に入れることができるため商店に行く必要がない人、また家族や友人の送迎によって生活関連施設を利用できる人が存在するが、それら活動の代替可能性や送迎による外出可能性をアクセシビリティとして評価した研究は少ない。非集計モデルを用いた分析では、世帯構成員や送迎提供者の有無を外生変数として導入した外出行動モデル¹⁸⁾や送迎者と被送迎者の効用の相互作用を考えたモデル¹⁹⁾も提案されているが、活動の代替は考慮できない。また、地方部においては、1人の支援者が複数の交通弱者を支援していることが多い。この場合、その支援者の加齢によって、あるいは転居などによって他者を支援できなくなった場合、何人の被支援者の行動に影響を及ぼすかを把握することができない。すなわち、1人の支援者が複数の個人を支援している状況において、世帯構成員や送迎提供者を説明変数とした外出行動モデルによるアクセシビリティ定量化では、個人レベルでのアクセシビリティを地域レベルに拡大する際に、あるいは少子高齢化を想定したシミュレーション分析を行う際に、個人レベルの結果を地域全体に単純に拡大することができない。言い換えると、どのような個人がどのような個人を、何人支援しているかというソーシャルネットワークの再現が必要となる。ソーシャルネットワークに関する既往研究には、高齢者のソーシャルネットワークの特徴²⁰⁾、コミュニティ活動²¹⁾などに関する研究蓄積はあるが、ソーシャルネットワークと施設利用可能性を関連づけた分析は行われていない。

本研究では、各個人を取り巻く支援者との関係であるソーシャルネットワークの再現手法の提案を行い、活動の代替可能性や送迎の可否を考慮したアクセシビリティ指標の提案を行う。具体的には、個人が自ら徒歩や自動車、あるいは公共交通で生活関連施設に行くことができると、活動代替や送迎などの世帯構成員や友人といったソーシャルネットワークを介して間接的に施設を利用できることを、アクセシビリティと定義する。そして、それらを地域レベルで集計し、直接施設を利用できる人の割合、間接的に施設を利用できる人の割合、および施設を利用できない人の割合の分布を地域アクセシビリティと定義し、その定量化を行う。これにより、どの程度の割合の人が自分で施設を利用できるのか、どの程度の人が他者からの助けを受け施設を間接的に利用することができるのか、どの程度の人が自分で施設を利用できず

他者からも助けを受けることができないのか、が定量的に把握可能となり、マクロな移動弱者支援施策の検討に貢献できると期待できる。

3. 使用データの概要

(1) Webアンケート調査の概要

本研究では、関西（2府4県）在住で20歳以上の住民を対象にWebアンケート調査を実施した。表-1に調査概要を示す。本研究では、生活関連施設へのアクセシビリティを定量化する際に、個人が徒歩やバス、自動車などで直接施設に行ける場合だけでなく、世帯構成員や親しい友人による活動の代替や送迎によるアクセシビリティも考慮する。そのため、既往研究でアクセシビリティを定量化する際に用いられてきた世帯属性や個人属性、施設の利用状況に加えて、生活関連施設の利用代行や送迎を依頼することが可能な他者の存在についての質問を設けた。具体的には、自分1人で買い物や病院に行けない場合、すぐに駆けつけて、代わりに行ってくれたり、送迎してくれたりする別居の親族や友人、近所の人を支援者と定義し、表-2に示す質問文で、支援者についての質問を行った。

表-1 調査概要

調査方法	Webによるアンケート調査
調査期間	2012年12月01日～2012年12月03日
対象者	関西（2府4県）在住で、20歳以上のモニター
抽出方法	府県と性別、年齢の同時分布が、国勢調査に一致するようにサンプルを抽出
サンプル数	2,500
質問項目	<u>世帯属性</u> ： 住所、世帯人数、自動車の所有台数、最寄りのバス停までの徒歩での所要時間、コンビニまでの主な交通手段と所要時間 <u>個人属性</u> ： 世帯構成員全員の続柄、性別、年齢、職業、日常的な自動車の利用、自分1人でのバスの利用可能性 <u>スーパーの利用状況</u> ： 利用頻度、主な交通手段、所要時間、利用可能な全ての交通手段、運賃、配達サービスや通信販売の利用状況、別居している人の買物代替性 <u>病院の利用状況</u> ： 主な交通手段、所要時間、利用可能な全ての交通手段、運賃、同伴可能者の有無 <u>支援者に関して</u> ： 表-2を参照

表-2 支援者に関する設問内容

問1：あなたが買い物や病院に行けない場合、すぐに駆けつけて代わりに行ってくれたり、送迎してくれたりする別居の親族や友人・近所の人はいいますか。その人数をお知らせください。
問2：前問で挙げた人の性別、年齢、職業、その人との関係、その人の自宅からの主な交通手段と所要時間をお知らせください。

(2) 基礎集計分析

a) 個人・世帯属性に関する集計分析

個人属性と世帯属性に関する集計結果を図-1に示す。ここで、回答者は居住地、性別、および年齢分布が国勢調査に一致するように抽出した。しかし、調査では回答者だけでなく、世帯構成員全員の個人属性について設問したため、全サンプルの年齢分布は国勢調査の結果と一致しない。世帯構成員全員を含めた年齢分布に着目すると、65歳から74歳の前期高齢者の割合が8%、75歳以上の後期高齢者の割合が5%であり、高齢者サンプルの割合は低い。世帯構成員全員の年齢分布に偏りがある点には、一部留保が必要である。有職者の割合は50%となった。世帯人数では、3人以下が占める割合は70%であり、サンプルには核家族世帯が多いことが推察できる。世帯の自動車保有台数に着目すると、1台の割合が55%と最も多く、自動車を保有している世帯が占める割合は全体で82%である。最寄りバス停までの徒歩による所要時間では、5分以内が66%であり平均は6.86分であった。自宅からスーパーまでの距離は平均で1.97kmであるのに対し、自宅から病院までの距離は3.01kmと、平均値だけを見るとスーパーよりも病院の方が遠いことがわかる。

b) 利用可能な交通手段に関する集計分析

本研究では、交通手段を、自動車を自分で運転（以下、「運転」）、自動車による送迎（以下、「送迎」）、徒歩、バスなどのその他の交通手段（以下、「徒歩・バス」）に分類する。なお、本研究では、スーパーと病院のそれぞれについて、それら施設を利用する際に、普段利用している主な交通手段ではなく、普段利用していても利用しようと思えば利用できる交通手段について質問した。そのため、交通手段別の選択割合の合計は100%とはならない。

図-2に、年齢別のスーパーと病院までの利用可能な交通手段を示す。20歳未満と75歳以上は、20～74歳に比べ、送迎の割合が高い。これは、18歳未満は自動車の運転が不可能であり、75歳以上では自動車の運転が困難になる人が多いため、送迎に依存せざるを得ないからと考えられる。

図-1 個人属性、世帯属性の分布

c) 支援者に関する集計分析

図-3 に、表-2 の問 1 の質問で得た支援者数の分布を示す。支援者がいないと回答したサンプルは全体の48.5%で、最も割合が高かった。回答者の半数近くは自分が困ったときにすぐに助けてくれるような世帯外構成員がいないことが明らかとなった。

年齢や性別、職業などの個人属性、世帯人数や自動車保有台数などの世帯属性、公共交通機関の利便性や都市規模などの居住地属性によって、支援者数の分布が異なるという仮説のもと、決定木分析を用いて支援者数分布に影響を及ぼす要因探索を行った。決定木分析は、多変量解析手法の1つであり、データマイニング手法として多用されている。アルゴリズムとしては、不純度を表すGINI 係数に基づく CART を用いる²⁹⁾。使用した説明変数群を表-3 に示す。支援者数を目的変数とした決定木分析の結果、有意な変数は検出されなかった。すなわち、表-3 にあるような、若者/高齢者、有職/無職などの個人属性や、都会/田舎などの居住地属性によって、支援者数には有意な差は見られないことが明らかとなった。

次に、支援者と被支援者の属性間の関係性を分析するため、被支援者の属性を目的変数とし、支援者の属性を説明変数群とした決定木分析を行った。使用した目的変数、および説明変数群を表-4 に示す。分析の結果、目的変数に被支援者の年齢を用いたときの分類精度が最も高かった。目的変数に被支援者の年齢を用いたときの決定木分析の結果を図-4 に示す。図-4 より、5回の分岐が行われているが、その内4回が支援者の年齢であることがわかる。すなわち、支援される側と支援する側の関係

図-2 年齢別の利用可能な交通手段

図-3 支援者数分布

表-3 支援者数の決定木分析の説明変数群

<ul style="list-style-type: none"> 個人属性：性別，年齢，職業，自動車の利用可能性，バスの利用可能性など 世帯属性：世帯人数，自動車保有台数，バス停までの徒歩所要時間，スーパー・病院までの距離など 居住地属性（市町村単位）：人口，面積，可住地面積，人口密度，小売業店舗，病院数，農業・工業生産額，商店販売額など その他：上記の変数による合成変数

表4 支援者と被支援者の属性に関する決定木分析の目的変数および説明変数群

目的変数
<ul style="list-style-type: none"> 被支援者の個人属性：性別，年齢，職業，世帯人数，自動車の利用可能性，バスの利用可能性
説明変数群
<ul style="list-style-type: none"> 支援者の個人属性：性別，年齢，職業，世帯人数，自動車の利用可能性，バスの利用可能性，支援者との関係

図4 支援者と被支援者の属性に関する決定木分析

には，年齢が影響していることが明らかとなり，20代～50代までは同年代の人が，60代～70代は子供世代に当たる30代～40代の人が支援者になる割合が高いことがわかった。

4. ソーシャルネットワークの再現

(1) ソーシャルネットワークの再現方法

本研究では，アンケート調査によって捕捉した支援者数分布，および支援者と被支援者の個人属性の関係を表

図-5 分析手順の概要

現したソーシャルネットワークを生成することによって，現実社会のソーシャルネットワークの再現を試みる。

ソーシャルネットワークの生成手法である複雑ネットワーク分析の既往研究において，ランダムグラフ，WS (Watts-Strogatz) モデル，BA (Barabasi-Albert) モデル，KE (Klemm Eguiluz) モデルなど様々なソーシャルネットワーク生成モデルが提案されている²²⁾。本研究ではコンフィグモデルを用いる。コンフィグモデルとは，ランダムグラフを拡張したモデルであり，最大の特徴は，他のモデルでは，ポアソン分布やべき乗分布など分布形を仮定し，その分布に従ってリンク数（本研究では，支援者数）を決定するのにに対し，コンフィグモデルは任意の次数分布に従ってリンク数を決定できる点である²³⁾。言い換えると，コンフィグモデルは，分析者が設定した次数分布に従ってリンク数を決定するために，ネットワークの生成原理が欠けるといふ欠点がある。本研究では，調査で得られた支援者数分布に基づいて，ソーシャルネットワークを再現する。

本研究では，個人間の支援・被支援関係と，その個人の特性を表現するために，コンフィグモデルを拡張させた新たなソーシャルネットワークの再現方法を提案する。提案手法では，仮想空間上にランダムに個人を配置する。なお，配置された位置に意味はなく，個人間の距離は全て等しいものとする。そして，調査で得られた個人属性や世帯属性の分布，支援者と被支援者の関係性などをもとに，ある個人の支援者を仮想空間上に配置された他者から確率的に決定する。すなわち，ある個人の支援者は各種属性によって定められる結合確率に従ってランダムに選ばれることになる。

具体的な手順は以下の通りである（図-5を参照のこと）。ここで，個人間の支援・被支援関係と，その個人の特性を表現するために，世帯を生成し（手順2），個人属性を付加し（手順3），年齢に応じて接続確率を決定（手順5）する点に本手法の新規性があり，既存のコンフィグモデルと異なる。

手順 1: 総ノード数 N を与える. 本研究では, N を 1,000 と設定する.

手順 2: アンケート調査で得られた世帯人数分布 (図-1) と一様乱数を用いて, ノード n_i ($i=1, 2, \dots, N$) を世帯 h に割り当てる. このとき, 世帯内では必ず助け合いがなされていると仮定し, 世帯内のノード間をすべて双方向の矢印のリンクで結合する. ここで, 矢印の起点が支援者, 矢印の終点が被支援者を表す.

手順 3: アンケート調査で得られた世帯人数別の個人・世帯属性の分布と一様乱数を用いて, 各ノードに個人・世帯属性を付加する.

手順 4: 支援者数分布 (図-3) と一様乱数を用いて, 各ノード n_i の支援者数 k_i を決定する. ここで, 個人・世帯属性によって, 支援者数には有意な差が無いため, 支援者数分布は, 全ノードに対して同じ分布を用いる. このとき, どのノードとどのノードがつながるかは定まっておらず, 各ノード n_i は矢印の終点を k_i 個持っている状況である.

手順 5: 一様乱数を用いて, 支援者数 k_i に応じてノードを 1 つ選ぶ (n_j). 支援者と被支援者の間には年齢が関係していることを踏まえ, 被支援者年代別の支援者年代分布を算出し, 選択されたノードの年齢 n_i と他ノード $n_{j \neq i}$ の年齢に応じて, 接続確率を算出する. 接続確率と一様乱数を用いて, 矢印の起点を決め, 被支援者と支援者をリンクで結合する.

手順 6: 手順 5 を繰り返し, 総リンク数がアンケート調査で得られた支援者数の合計になるまで繰り返す.

手順 7: 解のロバスト性を検証するために, 手順 2 から手順 6 までのソーシャルネットワーク生成を 100 回繰り返す.

(2) 現況再現性の検証

図-6~図-8 に生成したソーシャルネットワークの支援者数, および世帯・個人属性の分布と, 調査観測値の分布の比較を示す. なお, 紙面の都合上, 個人属性に関しては年齢分布を, 世帯属性に関してはバス停までの徒歩での所要時間の分布のみを示す. また, 図内の誤差棒は, 繰り返し計算 100 回の標準偏差を示す. 標準偏差に着目すると, それぞれの分布で標準偏差の値が小さく, 生成したソーシャルネットワークはロバストであるといえる. さらに, 観測値とシミュレーション値の 2 つの分布に差があるか否かの χ^2 乗検定を行った結果, 生成したソーシャルネットワークの支援者数, およびすべての世帯・個人属性の分布において, 有意な差は確認できなかった. すなわち, 本分析方法によって, 生成したソーシャルネットワークは, アンケート調査で得られたサンプル属性が適切に再現できていることが確認できた.

5. 施設の利用可能性分析

(1) 施設利用可能モデルの構築

本研究では, 交通手段 m で施設 f に「行ける」・「行けない」の 2 項を選択肢として, ロジットモデルを用いて, 施設利用可能性を分析する. 式(1)に, サンプル i が, 結果 j ($j=1$ のとき「行ける」, $j=2$ のとき「行けない」) となる確率 P_{ij}^{mf} を示す.

$$P_{ij}^{mf} = \frac{\exp(v_{ij}^{mf})}{\exp(v_{i1}^{mf}) + \exp(v_{i2}^{mf})} \quad (1)$$

ここで, v_{ij}^{mf} は結果が j となる場合のサンプル i の確定効用項である. 式(2), 式(3)に効用関数 v_{ij}^{mf} を示す.

図-6 支援者数分布の比較

図-7 年齢分布の比較

図-8 バス停までの徒歩所要時間分布の比較

$$v_{i1}^{mf} = \sum_k \alpha_k^{mf} x_{ik}^{mf} + \sum_k \beta_k^{mf} y_{ik}^{mf} \quad (2)$$

$$v_{i2}^{mf} = 0 \quad (3)$$

ここで、 x_{ik}^{mf} はサンプル i の k 番目の個人属性に関する説明変数（年齢、性別など）、 y_{ik}^{mf} は世帯属性に関する説明変数（施設までの距離など）、 α_k^{mf} 、 β_k^{mf} は未知のパラメータである。

本研究では、生活関連施設としてスーパーと病院の2施設を、交通手段として「運転」、「送迎」、「徒歩・バス」の3手段を分析の対象とする。ここで、自身による運転や支援者による送迎を利用できる場合は、施設の種類に関係なく、全ての施設が利用できるものと考えられるのが自然であろう。そのため、「運転」、「送迎」については施設の種類の考慮せず、スーパー、病院ともに共通のモデルを用いて推定を行う。一方、「徒歩・バス」については居住地からの距離やバスのサービス水準等がスーパーと病院では異なると考えられるため、それぞれ対してモデル推定を行う。

第3章で示した通り、Web アンケート調査の回答者数は2,500であった。しかし、本調査では、スーパー、病院に関して、回答者の世帯構成員全員の利用状況も調査しているので、施設利用可能モデルで使用するサンプル数は、回答者とその世帯構成員を含めた7,124である。このうち、病院への「徒歩・バス」によるモデル推定には、「病院を利用したことが無い」と回答したサンプルを除外した6,531を用いる。

ただし、支援者数についてはWeb アンケート回答者のみに対する設問である。そのため「送迎」については、支援者数を説明変数に用いることからWeb アンケート回答者のみのサンプルを用い、そのうち「病院を利用したことが無い」と回答したサンプルを除外した2,251を用いる。

(2) 施設利用可能モデルの推定結果

表-5に「運転」と「送迎」、表-6に「徒歩・バス」による施設利用可能モデルの推定結果を示す。「運転」による利用可能モデルの推定結果に着目すると、個人属性では男性ダミー、有職者ダミーが正で有意になった。年齢については、10代以下ダミー、65～74歳である前期高齢者ダミー、75歳以上である後期高齢者ダミーが負で有意となった。世帯属性に関するパラメータは、自動車保有台数が正で有意となった。これらのパラメータ推定結果より、男性、有職者、20～64歳の人は自分で運転してスーパー、病院に行くことができる可能性が高いこと、未成年や高齢者では自分で運転してスーパー、病院に行くことができる可能性が低いことが明らかとなった。未成年の利用可能性が低く示されたのは、免許取得できな

い年齢の人が多く含まれているためであり、妥当な結果である。また高齢者は自動車の運転をやめた人が多いためであり、これは第3章の図-2の結果と整合性がある。

「送迎」と「徒歩・バス」による施設利用可能モデルの推定結果についても同様にパラメータの解釈を行った。得られた知見を以下に整理する。「送迎」について、女性、無職者は、送迎を依頼してスーパー、病院を利用できる可能性が高い。また世帯人数と支援者数が多い人や自動車の保有台数が多い世帯では、送迎の利用可能性は高い。「徒歩・バス」について、スーパーの場合では、女性や無職者、成年、非後期高齢者は、徒歩・バスでスーパーを利用できる可能性が高い。また、バス停までの徒歩所要時間やスーパーまでの距離が短い世帯は、徒歩・バスで行ける可能性が高い。病院の場合では、女性

表-5 「運転」、「送迎」による施設利用可能モデル推定結果

パラメータ	運転		送迎	
説明変数	推定値		推定値	
男性ダミー	0.977	**	-0.661	**
有職者ダミー	0.515	**	-0.428	**
10代以下ダミー	-4.310	**		
高齢者ダミー(65歳以上)			-0.039	
前期高齢者ダミー(65～74歳)	-0.266	*		
後期高齢者ダミー(75歳以上)	-2.810	**		
世帯人数と支援者数(人)			0.050	*
自動車保有台数(台)	1.287	**	0.295	**
定数項	-1.644	**	-2.753	**
サンプル数	7124		2251	
初期対数尤度	-4927.981		-1560.274	
最終対数尤度	-3307.567		-1032.178	
自由度調整済み尤度比	0.330		0.337	

**：1%有意、*：5%有意

表-6 「徒歩・バス」による施設利用可能モデル推定結果

パラメータ	徒歩・バス (スーパー)		徒歩・バス (病院)	
説明変数	推定値		推定値	
男性ダミー	-0.470	**	-0.264	**
有職者ダミー	-0.240	**	-0.064	
10代以下ダミー	-0.852	**	-0.542	**
前期高齢者ダミー(65～74歳)	-0.189		-0.119	
後期高齢者ダミー(75歳以上)	-0.837	**	-0.543	**
バス停までの徒歩所要時間(分)	-0.067	**	-0.072	**
施設までの距離(km)	-0.485	**	-0.579	**
定数項	2.480	**	3.042	**
サンプル数	7124		6531	
初期対数尤度	-4927.981		-4526.944	
最終対数尤度	-4007.889		-3294.570	
自由度調整済み尤度比	0.187		0.271	

**：1%有意、*：5%有意

や成年、非後期高齢者は、またバス停までの徒歩での所要時間や病院までの距離が短い世帯は、徒歩・バスで行ける可能性が高い。病院への「徒歩・バス」の推定結果は、パラメータ値には大小の違いがあるものスーパーの場合と同じ符号を有しており、スーパーと病院の利用可能性には、類似した傾向があることが明らかとなった。

6. アクセシビリティの定量化と施策分析

(1) アクセシビリティの定量化

第4章で生成したソーシャルネットワークと、第5章で推定した施設利用可能モデルの推定結果を用いて、アクセシビリティの定量化を行う。第4章で生成したソーシャルネットワークの各個人（ノード）には世帯・個人属性が付加されている。さらにリンク数から各個人の支援者数がわかっている。これら各個人の世帯・個人属性と支援者数を施設利用可能モデルの説明変数として用い、第5章で推定したパラメータによって、各個人の施設別・交通手段別の施設の利用可能性 P_{ij}^{mf} を算出する。そして、一様乱数を用いて、施設別・交通手段別に各個人が施設を利用できる（=1）か否か（=0）を2値化し確定する。以上の手順によって、ソーシャルネットワーク内の個人間のつながり、および個人と施設のつながりを決定し、1つのネットワークとして表現する。

本研究では、個人と施設がつながっている場合のリンク距離、および個人間がつながっている場合のリンク距離をそれぞれ1とする。そして、各個人と施設との最短経路でのリンク距離を算出し、これをアクセシビリティ値と呼ぶ。すなわち、リンク距離が1の場合は、「運転」「徒歩・バス」のいずれかの交通手段で、個人が直接施設を利用できるという状態を表す。最短経路でのリンク距離が2以上の場合、世帯構成員または世帯外構成員の他者を介して間接的に施設を利用できる状態を表す。最短経路でのリンク距離が3以上の場合、世帯構成員は必ずつながっているため、世帯外構成員を介して間接的に施設を利用できる状況を表す。また、アクセシビリティ値が ∞ とは、個人が自分で施設を利用できず、かつ他者を介しても利用できないという、施設とつながっていない状況を表す。

個人別アクセシビリティ値は、スーパーと病院のそれぞれについて算出する。スーパーへのアクセシビリティ値の算出方法の例を図-9に示す。スーパーの場合は、依頼する相手が「運転」できなくても「徒歩・バス」が利用できれば食料を買ってきてもらえる。しかし、病院の場合は必ず依頼する相手に「送迎」で病院まで連れて行ってもらうなければならない（病院にバスで同行する状況は考慮しない）。そこで、病院への個人別アクセシ

ビリティ値を算出する場合は、「運転」、「徒歩・バス」でつながっている場合のアクセシビリティ値はスーパーの場合と同様に1とするが、「送迎」によって他者を介するアクセシビリティ値の算出には、送迎を依頼する相手が「運転」で病院につながっている場合のみを考慮し、送迎する相手が「運転」でつながっていない場合は最短経路から除外することとする。

以上の手順により、個人ごとの施設へのアクセシビリティ値を算出し、これをすべての個人で集計した結果を、本研究では地域アクセシビリティと定義する。

(2) 地域アクセシビリティの算出結果

表-7、表-8に、スーパーと病院の地域アクセシビリティを示す。なお、ソーシャルネットワークの生成と同様に、解のロバスト性を確認するため、地域アクセシビリティの算出は100回分を行った。標準偏差の最大値は0.12%と小さな値となった。以降は平均値にのみ着目し考察する。

図-9 スーパーへのアクセシビリティ値の算出方法

表-7 スーパーへの地域アクセシビリティ

アクセシビリティ値	割合
1（自分1人で利用可能）	75.8%
2（世帯構成員を介して利用可能）	20.6%
2（世帯外支援者を介して利用可能）	1.5%
3以上（世帯外支援者を介して利用可能）	1.1%
∞	1.1%

表-8 病院への地域アクセシビリティ

アクセシビリティ値	割合
1（自分1人で利用可能）	77.8%
2（世帯構成員を介して利用可能）	14.7%
2（世帯外支援者を介して利用可能）	1.7%
3以上（世帯外支援者を介して利用可能）	4.5%
∞	1.3%

表-7 から、75.8%は値が 1、すなわち直接スーパーを利用可能であるという結果を得た。一方で、アクセシビリティ値が 2、すなわち誰かを介してスーパーを利用可能である人は、全体の 22.1%となった。このうち、世帯構成員を介して間接的に利用できる人は全体の 20.6%、世帯外の支援者を介して間接的に利用できる人は全体の 1.5%であった。また、アクセシビリティ値が 3 以上の人は全体の 1.1%であった。スーパーを利用できないと判定されたのは、全体の 1.1%であった。

表-8 に、病院への地域アクセシビリティを示す。77.8 %が自分 1 人で病院を利用可能であり、世帯構成員による送迎で利用できる人が 14.7%、世帯外の支援者による送迎で病院を利用可能な人は 6.2%となった。病院を利用できないと判定されたのは、1.3%で、スーパーに比べて高い値となった。

(3) シナリオ分析

本項では、少子高齢化の進行（2020年の人口特性を使用）を想定したシナリオ分析を行う。具体的には、Web アンケート調査で対象とした関西2府4県の2010年から2020年までの前期高齢者割合と後期高齢者割合の増加率を算出し、その増加率を用いてサンプルの2020年の前期高齢者と後期高齢者の割合を設定した。なお、これまでと同様に、シナリオ分析でも同条件で100回繰り返し計算を行い、その平均値と標準偏差を算出した。その結果、標準偏差の値が最大でも0.14%と小さかったため、以降は平均値にのみ着目し考察する。

表-9、表-10 に少子高齢化の進行を想定したときのスーパー、病院への地域アクセシビリティをそれぞれ示す。同表より、自分 1 人で施設を利用可能な人は、スーパーの場合では 3.2 ポイント、病院の場合では 4.8 ポイントと現状に比べて減少した。また、世帯外支援者を介して

間接的に施設を利用可能な人が、スーパーの場合では 1.1ポイント増加し、病院の場合では1.7ポイント増加し、利用できない人がそれぞれ0.4ポイント、0.8ポイント増加した。これは高齢化により、自分1人では施設を利用できない人が増加したことに加え、世帯構成員や世帯外の支援者も高齢化により施設利用可能性が低下したことを意味している。

7. 結論

本研究では、個人が徒歩や自動車、あるいは公共交通で直接施設に行くことができる、または世帯構成員や友人といったソーシャルネットワークを介して間接的に施設を利用できるかを、アクセシビリティと定義し、それらを地域レベルで集計した地域アクセシビリティの定量化方法の提案を行った。支援者と被支援者の関係进行分析するために、アンケート調査で得られた支援者数分布、世帯・個人属性分布を用いて、現実のソーシャルネットワークを仮想空間上に生成する方法を提案した。そして、生成したソーシャルネットワークが持つ特性とアンケート調査結果を比較し、提案手法が高い精度で現実のソーシャルネットワークを再現できることを明らかにした。また、離散選択モデルによって構築した施設別・交通手段別の施設利用可能モデルと生成したソーシャルネットワークを用いて、アクセシビリティの定量化手法を提案した。具体的には、生成されたソーシャルネットワーク内の個人と施設を 1 つのネットワークとして記述し、各個人から施設までの最短距離を算出することによって、自分 1 人で施設を利用できる人、他者に依頼して施設を利用できる人、施設を利用できない人に分類する方法を提案した。

施設利用可能モデルの推定結果からは、年齢や性別といった個人属性、また自動車の所有台数や施設までの距離といった世帯属性が施設の利用可能性の要因であることが明らかとなった。分析結果で特記すべきは、70 歳以上の人はその他の年齢の人と比べて、自分で自動車を運転し施設を利用可能できる、または徒歩・バスで施設を利用できる可能性が著しく低下することである。この結果は、さらに少子高齢化が進行すると施設を利用できない人が増えることを示唆するものであった。

生成したソーシャルネットワークと施設利用可能モデルの推定結果を統合し、算出した地域アクセシビリティから、自分 1 人で利用可能な人の割合は、スーパーよりも病院の方が高いことが明らかとなった。しかし一方で、世帯外支援者を介して施設を利用する人の割合、あるいは施設を利用できない人の割合も、スーパーに比べ病院の方が高いことが示された。また、さらに少子高齢化が

表-9 シナリオでのスーパーへの地域アクセシビリティ

アクセシビリティ値	現状	2020 年
1 (自分 1 人で利用可能)	75.8%	72.6%
2 (世帯構成員を介して利用可能)	20.6%	22.2%
2 (世帯外支援者を介して利用可能)	1.5%	2.2%
3 以上 (世帯外支援者を介して利用可能)	1.1%	1.5%
∞	1.1%	1.5%

表-10 シナリオでの病院への地域アクセシビリティ

アクセシビリティ値	現状	2020 年
1 (自分 1 人で利用可能)	77.8%	73.0%
2 (世帯構成員を介して利用可能)	14.7%	16.9%
2 (世帯外支援者を介して利用可能)	1.7%	2.3%
3 以上 (世帯外支援者を介して利用可能)	4.5%	5.6%
∞	1.3%	2.1%

進行した 2020 年の人口特性では地域アクセシビリティが大きく低下することを明らかにした。

以上のように、地域内に施設を利用できない人がどの程度存在し、その人がどのような属性を持っているかをマクロに把握することが本提案手法で定量的に可能となり、これは効率的かつ効果的な公共交通計画や施設立地計画といった地域の施策の検討に貢献すると期待できる。

本研究では地域アクセシビリティの定量化手法の構築に主眼をおいたため、関西2府4県を対象としたアンケート調査結果を用いて分析を行った。提案手法を用いて具体的な施策検討を行うためには、市町村レベルなど小さな地区での分析を行い、地区間での比較検討が必要である。また、本研究では、地域アクセシビリティの定量化手法の提案に主眼をおいたため、個人レベルの施設利用可能性に関するモデル化において説明変数の簡略化を行った。分析の精緻化のためには既往研究の成果を踏まえ、世帯・個人属性や居住地属性などの説明変数の追加が必要である。また、今後は世帯内で、あるいは地域内でどのような人が支援者になりえるのか、また支援者にはどの程度の負荷がかかるかを定量化し、持続可能な互助の在り方についての検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) Social Exclusion Unit : Making the connections : Final Report on Transport and Social Exclusion, 2003.
- 2) Preston, J. and Rajé, F. : Accessibility, mobility and transport-related social exclusion, *Journal of Transport Geography*, Vol. 15, Issue 3, pp. 151-160, 2007.
- 3) 加藤浩徳 : 生活活動ベースのアクセシビリティ, 運輸政策機構, Vol. 9, No. 2, pp. 49-50, 2006.
- 4) Kwan, M. P. : Space-Time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework, *Geographical Analysis*, Vol. 30, No. 3, pp. 191-216, 1998.
- 5) Neutens, T. : Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers, *Journal of Transport Geography*, Vol. 43, pp. 14-27, 2015.
- 6) Batty, M. : Accessibility: in search of a unified theory, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 39, pp. 191-194, 2009.
- 7) Handy, S. L. and Niemeier, D. A. : Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives, *Environment and Planning A*, Vol. 29, pp. 1175-1194, 1997.
- 8) 加賀屋誠一, 三木正之 : アクセシビリティを考慮した医療施設利用改善への地理情報システムの適用, 土木計画学研究・論文集, No. 13, pp. 209-216, 1996.
- 9) 増山篤 : 生活利便性施設へのアクセシビリティが人口分布の規定要因と考える統計的分析方法, 都市計画報告集, No. 8, pp. 149-156, 2009.
- 10) 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.
- 11) 大森宣暁, 室町泰得, 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.
- 12) 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.
- 13) 谷本圭志, 牧修平, 喜多秀行 : 地方部における公共交通計画のためのアクセシビリティ指標の開発, 土木計画学論文集 D, Vol. 65, No. 4, pp. 544-553, 2009.
- 14) 喜多秀行, 小野祐資, 岸野啓一 : 公共交通利用における身体的機能を考慮したアクセシビリティ指標の構築, 土木計画学論文集 D3 (土木計画学), Vol. 68, No. 5 (土木計画学研究・論文集第 29 巻), pp. I_983-I_990, 2012.
- 15) 榎本拓真, 中村文彦, 岡村敏之 : 郊外大型商業施設へのアクセス手段転換可能性に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 25, pp. 385-394, 2008.
- 16) 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, 都市計画論文集, Vol. 29, pp. 103-108, 1994.
- 17) 寺山一輝, 小谷通泰, 秋田直也 : 高齢者・非高齢者別にみた生活関連施設へのアクセシビリティの評価に関する研究—滋賀県東近江市を対象として—, 都市計画論文集, Vol. 48, No. 3, pp. 171-176, 2013.
- 18) 前山圭司, 桑野将司, 塚井誠人, 藤原章正, 張峻屹 : 送迎の有無が自動車依存地域住民の外出行動に及ぼす影響の分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 26, pp. 403-409, 2009.
- 19) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一 : 送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 49-58, 1996.
- 20) 石川久展, 冷水豊, 山口麻衣 : 高年者のソーシャルネットワークの特徴と生活満足度との関連に関する研究—4 つの地域特性別分析の試み—, 人間福祉学研究, 第 2 巻第 1 号, pp. 49-60, 2009.
- 21) 斎藤友之 : 共助システムの要因とその創出過程—新狭山ハイウェイ (埼玉県所沢市) を事例として—, 日本福祉大学経済論集, 第 45 号, pp. 17-44, 2012.
- 22) 大滝厚, 堀江宥治, Steinberg, D. : CART による応用 2 進木解析法, 日科技連出版社, 1998.
- 23) Jackson, M. O. : *Social and Economic Networks*, Princeton University Press, 2008.

(2015. 2. 27 受付)

AN ANALYSIS OF ACCESSIBILITY OF LIFE-RELATED FACILITIES CONSIDERING SOCIAL NETWORKS

Masashi KUWANO and Kei FUKUYAMA

The objective of this study is to propose a new approach for analysing the accessibility of life-related facilities, considering the possibilities of alternative transportation (e.g. pick-ups and drop-offs) by household members and friends, and of shopping errands for others. This study classifies individuals into three categories according to the proposed accessibility indices, namely, 1) people who are able to access facilities by themselves, 2) people who are not able to access facilities by themselves, but can indirectly access them through others, and 3) people who cannot use the facilities. After categorizing individuals according to the suggested three accessibility classes, this study employs a novel ‘regional accessibility measure’ that is calculated using the share of each category among the populace in a target community. This study follows a three-step analysis in order to calculate the proposed regional accessibility. This study applies complex network modeling to reproduce a social network in accordance with the attributes of the study area using survey results and other available statistical data as the first step. The second step of the study involves developing a discrete choice model of whether or not an individual can access facilities by him/herself in order to quantitatively analyze the effect of individual and household characteristics. In the last step we calculate regional accessibility by combining the results of the reproduced social network with the connections among life-related facilities on the individual level.