

活動時間の多様性に着目した アクセシビリティ指標に関する研究

谷本 圭志¹・土屋 哲²

¹正会員 鳥取大学教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552鳥取県鳥取市湖山町南四丁目101)
E-mail: tanimoto@sse.tottori-u.ac.jp

²正会員 鳥取大学准教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552鳥取県鳥取市湖山町南四丁目101)
E-mail: tsuchiya@sse.tottori-u.ac.jp

近年、地方ではモータリゼーションの進展や人口減少の影響により、公共交通や医療機関、商業施設が供給するサービスの縮小が相次いでいる。これに伴い、活動する際に住民が選択できる時間や目的地の多様性が減少しており、活動の機会への制限がより厳しくなっている。このような地域では、住民の活動機会を確保するための政策・事業を講じることが自治体の重要な課題となっている。具体的な政策等を検討するに際しては、どれだけ活動機会を確保しうるのかを定量的に把握することができれば、その目標の設定や効果の評価に有用である。そこで本研究では、活動機会を時間と目的地の多様性の観点から評価するアクセシビリティの指標を開発する。

Keyword: Opportunity measure, accessibility, diversity

1. はじめに

人々は多様な活動を行って日常生活を営んでいる。しかし近年では、モータリゼーションの進展や人口減少により、中山間地域などの人口が少ない地域を中心に、公共交通や身近な医療機関、商業施設などが供給するサービスの縮小が相次いでいる。買い物や通院といった生命を維持するための基礎的な活動であっても、それらの機会が脅かされている地域も生じている。このため、これらの活動機会を持続的に確保するための政策・事業を講じていくことが、自治体にとっての重要な課題となっている。

具体的なサービスの縮小としては、サービス供給施設の廃止、サービス供給時間や日数の短縮、サービスの頻度を間引くといったことが行われている。このことは、活動に関する時間面ならびに空間面で住民が享受できる機会が少なくなっていることを意味する。しかし、具体的にどの程度の機会が確保されているのかが分からなければ、政策や事業の目標の設定や効果の計測ができず、適切な政策・事業の企画・運営が困難である。

そこで本研究では、活動の機会を計測しうる指標として時間地理学や交通計画の分野で蓄積されているアクセシビリティに着目し、活動時間と活動場所(目的地)の多様性という二つの観点で活動機会を評価しうる指標を

開発する。その上で、日常生活における主たる活動の一つである買い物を対象とし、実際のフィールドを想定して、公共交通サービスが地区にどれだけ活動機会を確保しているのかを実証的に評価し、指標の有効性を確認する。

2. 基本的な考え方

2.1 活動機会の考え方

活動機会を評価するアプローチとして「実行可能な選択肢を数え上げる」ことが考えられる。このアプローチは、一つの自然で直感的な考え方であり、前章の文脈にも合致している。すなわち、目的地の多様性に関する活動機会であれば、到達可能な目的地の個数を指標値とすることがこれにあたる。一方、活動時間については必ずしも自明ではないが、以下のように考えることで同様のアプローチが適用できることが確認できる。

人々がある活動を実施するために定時定路線型の公共交通を用いて外出する場面を想定しよう。このとき、何時から何時まで目的地で活動を実施できるかは、公共交通のダイヤによって制約される。仮に、行き帰りの便の都合で活動を開始できる時刻は8, 10時、終了できる時刻は9, 11時だとする(このことは、これらの時刻に利用可能な公共交通があることを意味する)。

表-1 選択可能な活動時間
終了時刻

時刻	8	9	10	11	12
開始時刻					
8					
9					
10					
11					
12					

このとき、便宜的に一時間を単位とすると、人々が選択可能な活動時間は表-1の濃い網掛けで表される。したがって、活動時間の多様性に関する観点についても同様に、その個数を数え上げることで機会を評価することができる。すなわち、(活動の開始時刻, 終了時刻) = (8, 9), (8, 11), (10, 11)の3個のパターンを評価値とする。

本研究では、上記のように目的地、活動時間の双方の活動機会について、実行可能な選択肢を数え上げるというアプローチを基本とする。社会選択理論では、このアプローチのみならず、様々な評価の研究がなされてきたが^{9)~10)}、その一つとして古くから着目されているのがこのアプローチ、すなわち、「数え上げ指標(cardinality measure)」であり、この指標の公理的な妥当性もPattanaik and Xu⁹⁾によって示されている。しかし、これにはいくつかの批判がなされている。それらを表-1の例に沿って見てみよう。

例えば、8時から12時までの活動を希望する人にとっては(8, 11)のパターンを選好する見込みが高く、その意味で(8, 11)は他のパターン、すなわち、(8, 9)と(10, 11)と等価ではない。したがって、単純にパターン数を数え上げると、選好が異なるパターンを暗黙に同等に扱うことになる。これが一つ目の疑問である。二つ目は、選択肢の類似性に関する疑問である。すなわち、選択可能な活動時間のパターンの数が同じであっても、ある特定の狭い時間帯(例えば早朝)にパターンが集中しているような類似の選択肢のみから構成される場合と、朝から夜まで満遍なく分散しているような多様な選択肢が含まれる場合とを、同じ機会があるとしてよいのであろうか。

以上の批判を改善するための研究はいくつか存在する(例えば、Pattanaik and Xu^{3), 4)}, van Hee⁷⁾, Rosenbaum⁸⁾, Bervoets and Gravel⁹⁾)。しかし、直感に反した値が導出されるなどの様々な問題点が指摘されている。そこで本研究では、選択可能な選択肢を単純に数え上げるのではなく、上記の疑問点を解消した指標の開発を目指す。

2.2 既存のアクセシビリティ指標

アクセシビリティ指標は、ある活動を実施するための目的地に人々がどれだけアクセスしやすいかを定量化した指標であり、1970年代から精力的に研究が進められてきた。アクセスのしやすさとして何に着目するのか

によって様々な指標が提案されている(例えば、Handy and Niemeir¹¹⁾, Kwan¹²⁾, Geurs and van Wee¹³⁾)。

上述の活動機会の評価アプローチに近い研究としては、Hägerstrand¹⁴⁾による時空間プリズムがある。具体的には、各時刻に空間のどの範囲に到達することが可能かを示したPPS (potential path space)、PPSの大きさやそれを都市空間に投影した面積(potential path area: PPA)¹⁵⁾を指標とすることが提案されており、これらは連続値を数え上げる(=積分する)という考え方に基づく。また、谷本らは¹⁶⁾、公共交通のダイヤが一般に固定されていることに着目し、そのもとで実行可能な時空間パス、すなわち、いつどこにどれだけ時間滞在できるかの多様性を計測する指標を開発している。しかし、いずれについても計算が容易ではない、もしくは、指標の理解が困難であるなど、実用性に乏しいことが課題である。

一方で、簡易で実用性の高い指標として累積機会に基づく指標(cumulative opportunity measure)がある^{17)~22)}。この指標は、基本的には、到達可能な目的地の個数を数え上げることでアクセシビリティを評価する。計算も容易であり、実際、イギリスのLTP(Local transport plan)の策定において、この指標が技術的なマニュアルにも紹介されている。このため、空間(目的地)の多様性に関してはこの指標が有用である。しかし、活動時間の多様性については扱えない。逆に、活動時間の多様性を扱うような改良を施すことができれば、この指標の実用的な長所を活かした活動機会の評価が可能となる。以下ではまず、この指標の詳細について見よう。

2.3 累積機会に基づく指標

累積機会に基づく指標にはいくつかの種類があるが、広く用いられ、かつ、本研究が着目する負の指数関数を用いた指標を取り上げると、地区*i*のアクセシビリティは以下の A_i で求められる。

$$A_i = \sum_j A_{ij} \quad (1)$$

$$A_{ij} = m_j e^{-\alpha c_{ij}} \quad (2)$$

ここに、 m_j は目的地*j*の魅力、 c_{ij} は地区*i*から目的地*j*までの一般化費用(料金や移動時間など)、 $\alpha (>0)$ はパラメータであり、「減衰パラメータ」と呼ばれる。(2)式は地区*i*の目的地*j*に関するアクセシビリティであり、選択可能性が大きいほど、すなわち、魅力が大きく、また、一般化費用が小さいほど、その値が大きいことを表している。指数関数の部分は減衰項と呼ばれており、一般化費用が大きいほど選択可能性が小さくなる効果を表している。指数関数以外の関数を用いることもできるが、

指数関数を用いることの意義については3.4で述べる。

ここで、目的地の魅力 g_j を、例えば施設の床面積やサービスの数といった準拠値 g_j に基づいて、次式のように0～1の基準化された値で与えているとする。

$$m_j = \frac{g_j}{\max_j g_j} \quad (3)$$

このとき、対象地域の中で最大の魅力をもつ目的地に一般化費用0でアクセスできる場合に、 A_{ij} は1と評価されることを(2)式は意味する。一方、そうでない場合は、 A_{ij} は0～1の値をとる。以上より、地区 i にとって目的地 j が選択可能性の観点で実質何個（その個数は0～1の値をとる）あるのかを魅力と一般化費用で調整した値が A_{ij} である。また、これらの評価値をすべての目的地に関して(1)式のように足し合わせることで、地区 i のアクセシビリティが得られる。(3)式に基づく限り、(1)式の算出値には「個数」という単位が与えられ、直感的な理解も容易である。このように、目的地の個数を数え上げるという考え方に立脚しつつ、個々の目的地に関する選択可能性の実質性を加味したのが累積機会に基づく指標である。

3. アクセシビリティ指標の開発

目的地の多様性に関する活動機会は累積機会に基づく指標で評価できる一方、活動時間の多様性に関する活動機会は評価できない。そこで以下では、活動時間の観点でのアクセシビリティ指標（以下では、「時間アクセシビリティ」と略す）を累積機会に基づく指標を改良して開発するとともに、累積機会の指標（同様に、「目的地アクセシビリティ」と略す）と統合し、活動時間と目的地の多様性の双方を踏まえた評価を可能とする。

3.1 目的地アクセシビリティ

前章で述べたように、(1)、(2)式によってアクセシビリティを評価しうる。なお、以下では(3)式に基づいて魅力が与えられているものとする。

3.2 時間アクセシビリティ

(2)式における減衰項は、一般化費用が大きいほど選択可能性が小さくなることを表している。目的地アクセシビリティでは、料金や移動時間などの加重値を一般化費用とすることが一般であるが、活動時間についてもそれに即した一般化費用を与えることができれば、(1)、(2)式と同様の考え方で活動時間の多様性に関する活動機会を評価しうる。

活動時間に関する一般化費用は、自身が希望する活動

時間と実行可能な活動時間との乖離で与えることが考えられる。すると、その乖離が大きければ減衰の効果が大きくなり、選択可能性が小さくなることを表現できる。以下では、この考え方に基づいた定式化を示す。

地区 i の個人が希望する活動時間が $u_i=(u_{i1}, u_{i2})$ で与えられているとする。ここに、 u_{i1}, u_{i2} はそれぞれ希望する活動の開始、終了時刻である。一方、地区 i の個人が目的地 j を訪問する場合での実行可能な活動時間を $z_{ijk}=(z_{ijk1}, z_{ijk2})$ で表す。ただし、実行可能な活動時間にはいくつかの選択肢がありうるため、 k はその番号を表している。また、 z_{ijk1}, z_{ijk2} はそれぞれ実行可能な活動の開始、終了時刻である。希望する活動時間 u_i と実行可能な活動時間 z_{ijk} の乖離を $|z_{ijk}-u_i|$ で表す。仮に、この乖離が開始時刻、終了時刻、活動時間ならびに交通手段の乗り継ぎ時間という4つの要素から構成され、また、前3つの要素について2つの乖離の向き（例えば、希望に対して実行可能な活動時刻が「早い」「遅い」）から構成されているとすると、 $|z_{ijk}-u_i|$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} |z_{ijk} - u_i| = & \beta_1[z_{ijk1} - u_{i1}]^+ + \beta_2[u_{i1} - z_{ijk1}]^+ \\ & + \beta_3[z_{ijk2} - u_{i2}]^+ + \beta_4[u_{i2} - z_{ijk2}]^+ \\ & + \beta_5[(u_{i2} - u_{i1}) - (z_{ijk2} - z_{ijk1})]^+ \\ & + \beta_6[(z_{ijk2} - z_{ijk1}) - (u_{i2} - u_{i1})]^+ + \beta_7 h_{ijk} \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 $[x]^+ = \max[x, 0]$ であり、 $\beta_1 \sim \beta_6 (>0)$ はパラメータ、 h_{ijk} は行きと帰りの乗り換え時間の合計である。ここで、(2)式と同様の指数形の減衰項を仮定すると、地区 i の個人が目的地 j を訪問するに際して、希望する活動時間が u_i である場合、活動時間に関する選択肢 k に関する時間アクセシビリティは次式で表される。

$$B_{ij}(z_{ijk} | u_i) = e^{-|z_{ijk} - u_i|} \quad (5)$$

ここで、選択肢 k について希望する活動時間と実行可能な活動時間の乖離がない、つまり、 $|z_{ijk}-u_i|=0$ の場合、上式は1であり、そうでない場合には上式は0～1の値をとる。以上より、活動時間の選択可能性の観点で実質何個（その個数は0～1の値をとる）あるのかを時間的な乖離で調整した値が(5)式である。また、これらの評価値をすべての選択肢 k に関して足し合わせることで、地区 i の目的地 j に関する時間アクセシビリティを次式のように得ることができる。なお、次式の算出値にも選択可能な活動時間の「個数」という単位が与えられる。

$$B_{ij}(u_i) = \sum_k e^{-|z_{jk} - u_i|} \quad (6)$$

最後に、地区 i の個人が希望する活動時間が u である確率（もしくは相対度数） $p_j(u)$ を与えると、地区 i の目的地 j に関する時間アクセシビリティ B_j を次式のように求めることができる。なお、以下の Ω_i は、地区 i に希望される活動時間 u の集合である。

$$B_{ij} = \sum_{u \in \Omega_i} p_j(u) B_{ij}(u) \quad (7)$$

一般に、 $p_j(u)$ は推計が困難なこと、また、地区 i の希望という主観的な評価を持ち込むのではなく、あくまで客観的な活動機会の評価が本研究の目的であることを踏まえると、 $p_j(u)$ は一様分布を与えるのが適当である。ただし、定式化の上では、それ以外の分布を採用することを妨げてはいない。すると、 $p_j(u)$ は次式で表される。

$$p_j(u) = \frac{1}{|\Omega_i|} \quad (8)$$

3.3 統合アクセシビリティ

目的地/時間アクセシビリティはそれぞれ(1), (7)式で評価することができる。一方で、実際に活動を実施する人の立場に立てば、目的地と活動時間の双方の観点で活動機会に制約を受けるのが一般であることから、これら二つの観点を統合した指標があれば有用である。

本研究では目的地であれ活動時間であれ、それらの選択肢の選択可能性を減衰項で評価している。したがって、これら二つの減衰の相乗性を加味すればよい。減衰項は 0~1 の確率測度をもつことから、数学的には二つの減衰項を乗じればよい。以上より、地区 i に関する目的地 j のアクセシビリティ ϕ_j は(10)式に示すように $A_j B_j$ であり、また、(9)式に示すように、選択可能な目的地に関してこれらの和をとることで、統合アクセシビリティ ϕ_i を求めることができる。

$$\phi_i = \sum_j \phi_j \quad (9)$$

$$\phi_j = A_j B_j \quad (10)$$

3.4 指標の性質

2.1において、社会選択理論では、選択肢の個数を単純に数え上げることでは、各々の選択肢の選好が反映されないこと、選択肢の類似性が反映されないことの二つ

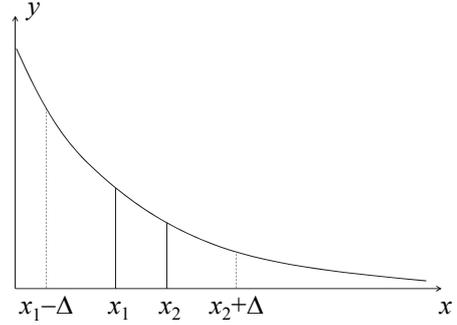


図-1 指数形の減衰項の形状

の疑問が呈されていると述べた。上述の目的地ならびに時間アクセシビリティは、これらの疑問を克服している。

まず、選択肢の選好であるが、これは一般化費用を用いてアクセシビリティを計算していることから直ちに理解されよう。すなわち、一般化費用が小さいほどより選好される選択肢という対応関係を導入している。

一方、類似性については、アクセシビリティの減衰項を指数形としていることに起因する。一般の指数関数 $f(x) = \exp[-\lambda x]$ は凸関数である。したがって、図-1に表すように、 $0 \leq x_1 \leq x_2, \Delta \geq 0$ に関して次式が成り立つ。

$$f(x_1 - \Delta) - f(x_1) \geq f(x_2) - f(x_2 + \Delta) \quad (11)$$

上式は、次式と等価である。

$$f(x_1 - \Delta) + f(x_2 + \Delta) \geq f(x_1) + f(x_2) \quad (12)$$

上式は、一般化費用が x_1 と x_2 である選択肢から成る選択肢集合（便宜的に、選択肢集合 a と呼ぶ）と、一般化費用が $x_1 - \Delta$ と $x_2 + \Delta$ である選択肢から成る選択肢集合（選択肢集合 b）では、（目的地アクセシビリティについては、これらの選択肢の魅力が同じであるという条件のもとで）、選択肢集合 bの方がアクセシビリティが高いことを意味する。ここで、選択肢集合 bの方が選択肢の類似性が高いことに注目されたい。このことは、図-1に示すように、選択肢集合 bは、選択肢集合 aの選択肢の一般化費用をそれぞれ Δ だけ遠ざけた場合の集合であることによる。以上より、減衰項を指数関数とすることで、一般化費用という観点においては、選択肢の類似性に関する疑問も解消されている。

ただし、そもそも類似性が高い選択肢集合ほどアクセシビリティを高く評価すべきかについては必ずしも自明ではない点が残る。特に、時間アクセシビリティについては、都市部のように公共交通の運行時間間隔が短い場

合、一般化費用を構成する要素である待ち時間がばらついている、すなわち、類似性が高いよりは、一律の間隔のもとで平均的に待ち時間が一定である（類似性が低い）ことが望ましいと考えても不自然はない。一方で、便数が少ない地域では、上述のような類似性の評価が妥当であると考えられる。したがって、凸関数である領域と凹関数である領域が混在するガウス形、すなわち、 $f(x) = \exp[-\gamma x^2]$ が適当な関数かもしれないが、本研究ではこの検討は手に余るため、これ以上の深入りはしない。

4. 事例分析

買い物という活動を取り上げて、目的地ならびに時間アクセシビリティを実際の地域に適用する。その際、公共交通が目的地と活動時間を制約していることに着目し、実際のバスダイヤを与えて検討する。

4.1 対象とする地域

島根県安来市を対象とする。安来市は、人口 41,836 人、高齢化率 30.5%（平成 22 年国勢調査）の自治体である。対象とした路線は、安来市内を運行する「イエローバス」の 13 路線である。安来市を表-2 に示す 16 の地区に分割して検討する。ここで、安来地区、広瀬地区については、目的地となる買い物施設までの距離が短く、公共交通の利用がさほど想定されない地区ではあるため、参考値という扱いでアクセシビリティを算出する。目的地は安来区域と広瀬区域に集中しており、それらに位置する 7 店舗（表-3 参照）を対象とする。目的地と地区の距離を表-4 に示す。

4.2 目的地アクセシビリティの算出

安来市が実施した「公共交通に関するアンケート調査」のデータを用い、生存時間モデルにより減衰パラメータを推計する。生存時間モデルは、ある基準の時刻からある事象が生起、もしくは、終了するまでの時間を解析するモデルである。減衰の効果は、距離や待ち時間などの一般化費用が十分に大きければ、選択肢の選択可能性が消滅することを表現していると言える。このため、一般化費用の大きさを生存時間モデルにおける「時間」、選択可能性の消滅を「事象」と見立てることで、生存時間モデルを用いて減衰パラメータを推計することができる。指数分布を仮定した Parametric model が生存時間モデルに用意されており、本研究の減衰項も指数形であることから、そのモデルを用いる。具体的には、アンケートにおいて個人 p が利用している目的地の集合 S_p を特定し、その目的地までの距離を l_{ij} で表すと、最尤推定法により、次式を満たす減衰パラメータ α を求める。

表-2 対象とする地域の概要

No	地区	地区の基準点	最寄りのバス停
1	荒島	荒島交流センター	荒島駅
2	赤江	赤江交流センター	赤江
3	島田	島田交流センター	島田
4	飯梨	飯梨交流センター	飯梨小学校前
5	能義	能義交流センター	飯生
6	宇賀荘	宇賀荘交流センター	市民体育館前
7	安田	安田交流センター	安田交流センター
8	大塚・吉田	吉田交流センター	大塚下町
9	母里	母里交流センター	弘橋前
10	山佐	山佐交流センター	森口
11	布部	布部交流センター	椿前
12	井尻	井尻交流センター	上町
13	比田	比田交流センター	比田交流センター
14	赤屋	赤屋交流センター	赤屋
15	安来	安来中央交流センター	市役所前
16	広瀬	広瀬交流センター	広瀬 バスターミナル

表-3 目的地の概要

番号	店名	区域	売り場面積(km ²)
1	ラ・ムー安来店	安来	1,660
2	プラーナ	安来	1,317
3	サンアイ	安来	2,783
4	ウィズピュアレ	広瀬	1,131
5	ショッピング安来店	安来	3,960
6	HOK 広瀬店	広瀬	493
7	スーパー荒島	安来	631

※売り場面積は日本スーパー名鑑'15による

表-4 地区と目的地の距離(km)

地区	目的地の番号						
	1	2	3	4	5	6	7
荒島	3.01	4.48	3.16	8.51	4.06	9.83	5.30
赤江	1.93	2.49	1.50	10.80	2.46	12.20	4.22
島田	6.24	6.72	6.49	20.40	5.38	21.20	4.88
飯梨	9.95	9.27	8.40	3.69	9.20	4.48	12.00
能義	8.46	5.35	6.51	6.07	8.23	6.86	6.91
宇賀荘	7.38	4.23	5.42	9.46	4.65	10.40	5.72
安田	11.00	8.15	9.34	11.70	8.57	12.50	9.64
大塚・吉田	17.00	13.90	15.10	14.10	14.30	14.90	15.40
母里	12.10	9.15	10.00	13.90	9.57	14.70	10.70
山佐	23.80	20.80	22.00	10.70	23.80	9.92	22.40
布部	23.80	20.70	22.50	11.00	22.90	10.00	22.30
井尻	13.90	11.20	12.10	15.50	11.70	16.30	12.80
比田	32.10	29.40	30.50	20.30	30.90	19.20	31.00
赤屋	21.60	18.20	19.40	22.70	18.80	23.50	19.90
安来	1.24	0.80	1.49	10.50	0.38	11.40	1.31
広瀬	12.10	10.10	11.50	1.10	11.30	0.32	12.40

※距離は GoogleMap による（バスの経路に基づく距離）
目的地の番号は、表-3 の番号と対応している

$$\prod_p \alpha e^{-\alpha \max_{j \in S_p} [v_{pj}]} \rightarrow \max \quad (13)$$

$$v_{pj} = l_{pj} - \frac{\ln(m_j)}{\alpha} \quad (14)$$

なお、(13)式は滑らかな関数ではないため、max 関数の代わりに例えばログサム変数を用いて μ の値を十分大きくとることで代用できる。

$$\max_{j \in S_p} [v_{pj}] = \frac{1}{\mu} \ln \left(\sum_{j \in S_p} e^{\mu v_{pj}} \right) \quad (15)$$

また、減衰のパラメータ α には性別や年齢によって異なりうると考えられるため、 α は具体的には以下のように定式化する。ここに、 x_1 は性別ダミー、 x_2 は64歳以下の年齢ダミー、 x_3 は65~74歳の年齢ダミー、 x_4 はバス利用の有無のダミーである。

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_4 \quad (16)$$

表-5 にパラメータの推計結果を示す。有効サンプル数は923である。表-5より、 α_0 以外のパラメータは有意でないため、それらを除いて再推計した。その結果、 $\alpha_0 = 0.031$ (t値: 7.64)を得た。この値を用いて、目的地アクセシビリティを地区ごとに算出した結果、表-6を得た。

4.3 時間アクセシビリティの算出

前節と同様、生存時間モデルに基づいてパラメータを推計する。その際、「公共交通に関するアンケート調査」のデータを用いるが、この調査にはバスをどれだけの時間待つことができるのかの設問ならびにデータがあることから、このデータを用いて推計する。なお、その値が(4)式に示すパラメータとどのような関係にあるのかについては後述する。

具体的には、(17)、(18)式により、待ち時間に関する減衰パラメータ λ を推計する。ここに、 t_p はサンプル p が回答したバスを待つことのできる最大の時間(単位は1時間)、 $x_1 \sim x_4$ は上述の変数と同じ定義である。

$$\prod_p \lambda e^{-\lambda t_p} \rightarrow \max \quad (17)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \lambda_3 x_3 + \lambda_4 x_4 \quad (18)$$

表-5 減衰パラメータの推計値(目的地)

パラメータ	推計値	t値
α_0	0.025*	2.69
α_1	0.011	1.22
α_2	0.000	-0.01
α_3	0.005	0.47
α_4	-0.006	-0.65

*: 5%で有意

表-6 目的地アクセシビリティ

地区	目的地の番号						
	1	2	3	4	5	6	7
荒島	0.382	0.289	0.637	0.219	0.882	0.092	0.135
赤江	0.395	0.308	0.671	0.204	0.927	0.085	0.140
島田	0.345	0.270	0.575	0.152	0.846	0.065	0.137
飯梨	0.308	0.250	0.542	0.255	0.752	0.108	0.110
能義	0.322	0.282	0.574	0.237	0.775	0.101	0.129
宇賀荘	0.333	0.292	0.594	0.213	0.866	0.090	0.133
安田	0.298	0.258	0.526	0.199	0.767	0.085	0.118
大塚・吉田	0.247	0.216	0.440	0.184	0.642	0.078	0.099
母里	0.288	0.250	0.515	0.186	0.743	0.079	0.114
山佐	0.200	0.175	0.355	0.205	0.478	0.092	0.080
布部	0.200	0.175	0.350	0.203	0.492	0.091	0.080
井尻	0.272	0.235	0.483	0.177	0.696	0.075	0.107
比田	0.155	0.134	0.273	0.152	0.384	0.069	0.061
赤屋	0.215	0.189	0.385	0.141	0.558	0.060	0.086
安来	0.403	0.324	0.671	0.206	0.988	0.087	0.153
広瀬	0.288	0.243	0.492	0.276	0.704	0.123	0.108

表-7 にパラメータの推計結果を示す。有効なサンプル数は933である。表-7より、 λ_0 以外のパラメータは有意でないため、それらを除いて再推計した。その結果、 $\lambda_0 = 3.014$ (t値: 30.55)を得た。この値を用いて、(4)式に示す $\beta_1 \sim \beta_5$ を以下のように与えた。買い物には、開始時刻はそもそも開店している時間帯であれば「何時から開始したい」という希望がないものと考えられる。一方、終了時刻には「正午までには帰りたい」といった希望があると考えられる。以上より、 $\beta_1, \beta_2, \beta_4 = 0, \beta_3 = \lambda_0 = 3.014$ と与える。買物の活動時間については、希望よりも短い時間しか確保できない場合は実質的に買物の機会がない、すなわち、 $\beta_5 = \infty$ 、希望よりも長い時間を要する場合は余った時間がまさに待ち時間であることから $\beta_5 = \lambda_0 = 3.014$ とする。また、交通の乗り継ぎ時間も待ち時間であることから、 $\beta_5 = \lambda_0 = 3.014$ とする。なお、このように与えたパラメータの妥当性については議論のあるところであるが、それを検証するためのデータを保有していない。この点については今後の検討課題である。

$p_j(u)$ は、次式に示す一様分布を与えた。ただし、 $u=(u_1, u_2)$ における u_1, u_2 は10:00を基準(すなわち0)とし、1分を1単位とする離散変数である。(17)、(18)式は、個人が買い物を希望する時間帯は10:00から17:00であり、

買い物時間は15～90分であることを意味している。

$$p_{ij}(u_1, u_2) = \begin{cases} \frac{1}{|\Omega|} & (u \in \Omega) \\ 0 & (u \notin \Omega) \end{cases} \quad (17)$$

$$\Omega = \{u \mid u_1 \geq 0, u_2 \leq 420, 15 \leq u_2 - u_1 \leq 90\} \quad (18)$$

安来市のバスの時刻表をデータとして与え、時間アクセシビリティを地区ごとに算出した。その結果を表-7に示す。なお、安来区域にある店舗(表-3の番号1～3, 5, 7)は比較的近接している、もしくは、同一の路線にあることから、これらの店舗に関する時間のアクセシビリティは同一である。このことは、広瀬区域にも同様であることから、表-8には安来区域と広瀬区域方面への2つに関するアクセシビリティを示している。

時間アクセシビリティの有効性を確認するため、所与のバスダイヤのもとで「何時から何時までに活動することができるのか」のパターンの個数を単純に数え上げたものを「パターン数」と定義した上で(表-1を参照)、それとアクセシビリティとの関係を図-2に示す。なお、図-2は、表-8に示す荒島～赤屋地区に関する安来区域および広瀬区域方面への合計14×2=28個のデータに基づく。この結果、相関係数は約0.7であり(図-2では決定係数が記されていることに注意)、強い正の相関がある一方、同じパターン数のデータであってもアクセシビリティが倍以上異なる地区があることが分かる。以上より、時間アクセシビリティは、数え上げという基本的な考え方に基づきつつも、単純な数え上げではとらえることのできない選択可能性を評価していると考えられる。

4.4 統合アクセシビリティの算出

(9)式に基づいて、統合アクセシビリティを算出した。なお、(9)式は次式のように、目的地が立地している安来区域と広瀬区域に分割できる。ただし、Yは安来区域、Hは広瀬区域である。

$$\phi_i = \sum_j A_{ij} B_{ij} = \sum_{j \in Y} A_{ij} B_{ij} + \sum_{j \in H} A_{ij} B_{ij} \quad (19)$$

そこで、安来区域、広瀬区域別の統合アクセシビリティを図-3に示す。また、この値の前提となっている目的地ならびに時間アクセシビリティについても、図-4, 5にあわせて示す。また、各地区の目的地ならびに時間アクセシビリティの分布を図-6, 7に示す。ただし、図-6は安来区域、図-7は広瀬区域方面に買い物に行く場合のアクセシビリティを表している。

表-7 減衰パラメータの推計値(時間)

パラメータ	推計値	t値
λ_0	3.018	9.15*
λ_1	-0.060	-0.17
λ_2	0.268	0.70
λ_3	0.109	0.29
λ_4	-0.128	-0.61

*: 5%で有意

表-8 時間アクセシビリティ

地区	区域	
	安来 (目的地: 1~3, 5, 7)	広瀬 (目的地: 4, 6)
荒島	0.335	0.688
赤江	0.335	0.355
島田	0.461	0.434
飯梨	0.035	0.537
能義	0.365	0.570
宇賀荘	0.960	0.339
安田	0.005	0.002
大塚・吉田	0.209	0.025
母里	0.080	0.050
山佐	0.023	0.109
布部	0.036	0.266
井尻	0.080	0.050
比田	0.036	0.095
赤屋	0.080	0.050
安来	1.083	0.566
広瀬	1.395	15.926

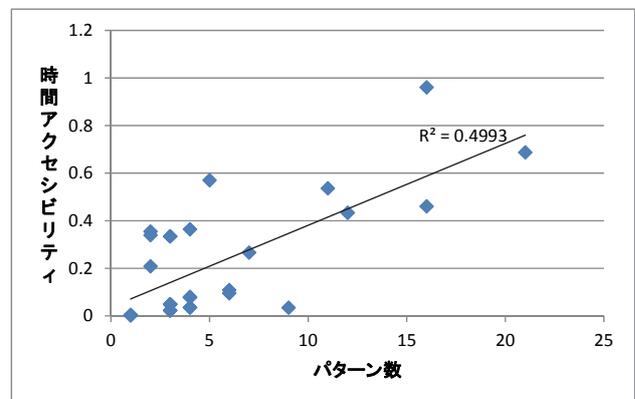


図-2 時間アクセシビリティとパターン数

図-3～5より、どの地区がアクセシビリティが総合的に高いか、また、安来区域と広瀬区域に買い物に行く場合でどれほどのアクセシビリティの差異があるのかが明瞭に見てとれる。なお、アクセシビリティが低いことは直ちに公共交通サービスの改善が必要であることを示唆しない。すなわち、人口や免許保有率などに基づくサービスの利用ポテンシャルが低い場合、アクセシビリティが低くてもサービスの改善が必要とは言えない。逆に、ポテンシャルがあるもののアクセシビリティが低い地区は改善の必要があると言えるであろう。

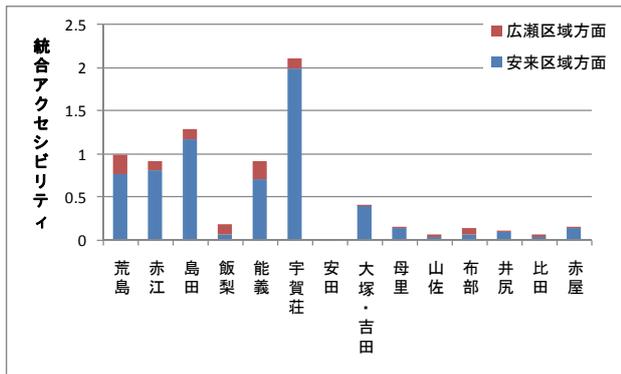


図-3 総合アクセシビリティ (区域別)

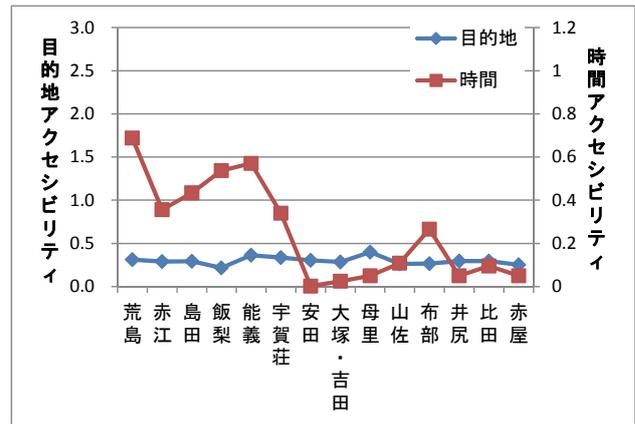


図-7 アクセシビリティの分布 (広瀬区域方面)

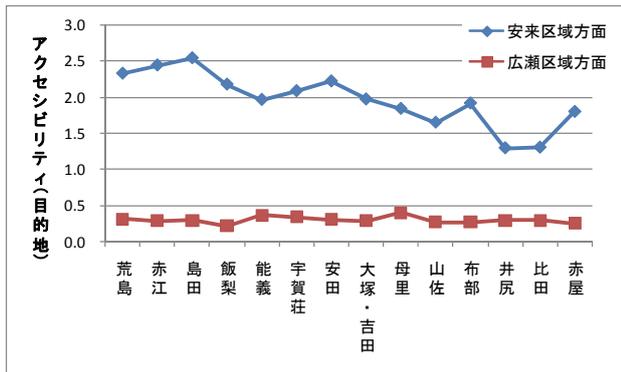


図-4 目的地アクセシビリティ (区域別)

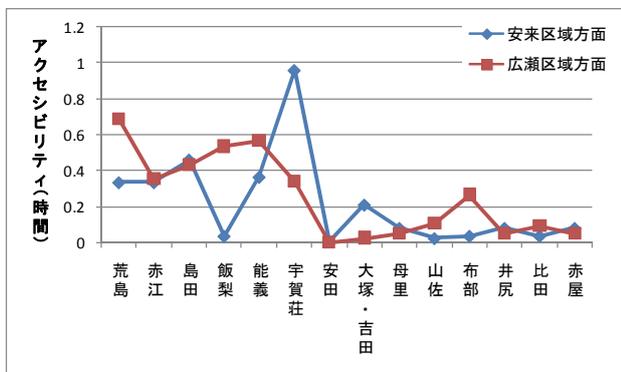


図-5 時間アクセシビリティ (区域別)

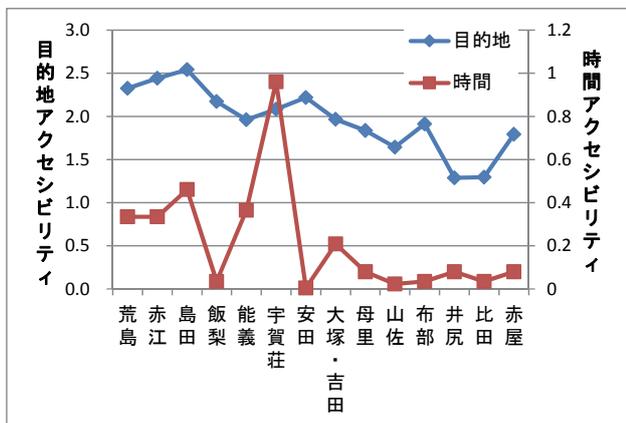


図-6 アクセシビリティの分布 (安来区域方面)

また、図-6,7より、目的地と活動時間のどちらに制約を受けているのかに関する地区の特性が分かる。例えば、安来区域方面に買い物に行く場合では、荒島、赤江、島田、能義、宇賀荘は目的地と時間双方においてアクセシビリティが高く、飯梨と安田は目的地のアクセシビリティが高いものの時間のアクセシビリティが低く、それ以外の地区は双方が低い。また、広瀬区域方面に買い物に行く場合については、目的地のアクセシビリティはどの地区にとっても大差はなく、時間のアクセシビリティが地区の違いを特徴づけていることが分かる。このような分類が分かると、それらの分類ごとに買い物環境の改善の方向性を検討することができる。例えば、目的地と時間のアクセシビリティの双方が低い地区では、目的地と活動時間の双方の多様性を改善しうる移動販売サービスの導入を検討するといったことが考えられる。

5 おわりに

本研究では、目的地と活動時間の多様性を踏まえて活動機会を評価するための指標を構築することを目指し、アクセシビリティ指標、中でも、累積機会に基づく指標に着目し、それを改良することで検討を行った。また、その指標を用い、実際の地域への適用を試み、その有効性ならびにその結果からどのような政策・事業が有用かを、例示的にはあるが、実証的に検討した。ただし、この指標を有効に活用するには、いくつかの課題が残っている。

先述のように、時間アクセシビリティにおける減衰パラメータをどのように推計するのかについては検討の余地がある。その際、個人が活動を希望する時刻、時間そのものをどのように把握するのかには大きな困難がある。学校や会社など、毎日の過ごし方に一定のペースがある人にとっては希望する時刻、時間は回答できるかもしれないが、そうでない人にとって、そのような時刻などは意識すらしていない可能性がある。

また、買い物という活動に着目すると、上記に言及し

た移動販売サービスや宅配サービスのよう、遠方への外出が不要となる手段もありうる。このような質の違う手段を含めた場合に、同様のアプローチによって評価が可能かの検証も必要である。仮にそれが可能になれば、様々な手段を統一的な土俵で評価することができるようになり、実務的な有用性に大きく寄与すると考えられる。

謝辞：本研究は文部科学省研究費基盤研究(B)課題番号23360223、基盤研究(A)課題番号25249071 および鳥取大学持続的過疎社会形成研究プロジェクトの助成を受けた研究成果の一部である。また、本研究は安来市に調査データをはじめとして多くの協力を得た。付して謝辞とします。

参考文献

- 1) Jones, P. and Sugden, R.: Evaluating Choice, *International Review of Law and Economics* 2, pp.47-65, 1982.
- 2) Pattanaik, P. K. and Xu, Y.: On Ranking Opportunity Sets in terms of Freedom of Choice, *Rècherches Economiques de Louvain* 56(3-4), pp.383-390, 1990.
- 3) Pattanaik, P. K. and Xu, Y.: On Preference and Freedom, *Theory and Decision* 44(2), pp.173-198, 1998.
- 4) Pattanaik, P. K. and Xu, Y.: On Diversity and Freedom of Choice, *Mathematical Social Sciences* 40(2), pp.123-130, 2000.
- 5) Carter, I.: A Measure of Freedom, Oxford University Press, Oxford, 1999.
- 6) Sugden, R.: Opportunity as a Space for Individuality: its Value and the Impossibility of Measuring it, *Ethics* 113(4), pp.783-809, 2003.
- 7) van Hees, M.: Freedom of Choice and Diversity of Options: Some Difficulties, *Social Choice and Welfare* 22(1), pp.253-266, 2004.
- 8) Rosenbaum, E. F.: On Measuring Freedom, *Journal of Theoretical Politics* 12(2), pp.205-277, 2000.
- 9) Bervoets, S. and Gravel, N.: Appraising Diversity with an Ordinal Notion of Similarity: an Axiomatic Approach, *Mathematical Social Sciences* 53(3), pp.259-273, 2007.
- 10) Puppe, C.: An Axiomatic Approach to "Preference for Freedom of Choice". *Journal of Economic Theory* 68(1), pp.174-199, 1996.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Geurs, K. T. and van Wee, B.: Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions, *Journal of Transport Geography*, Vol.12, pp.127-140, 2004.
- 14) Hägerstrand, T.: What about People in Regional Science?, *Papers of the Regional Science Association*, Vol.24, pp.7-21, 1970.
- 15) Lenntorp, B.: Paths in Time-Space Environments: A Time Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals, *Studies in Geography Vol.4*, Sweden: CWK Gleerup, 1976.
- 16) 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, 土木学会論文集 D, Vol.65, No.4, pp.544-553, 2009.
- 17) Hansen, W. G.: How Accessibility Shapes Land Use, *Journal of the American Planning Institute*, Vol.25, pp.73-76, 1959.
- 18) Ingram, D. R.: The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form, *Regional Studies*, Vol.5, pp.101-107, 1971.
- 19) Vickerman, R. W.: Accessibility, Attraction, and Potential: A review of Some Concepts and Their Use in Determining Mobility, *Environment and Planning A*, Vol.6, pp.675-691, 1974.
- 20) Wilson, A. G.: A Family of Spatial Interaction Models, and Associated Developments, *Environmental and Planning A*, Vol.3, pp.1-32, 1971.
- 21) 日野智, 清原裕幸, 佐藤馨一：歩行時間・待ち時間を考慮したコンプリメンタリィ・アクセシビリティ指標の構築, 第55回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 2000.
- 22) 新田保次, 黄靖薰：二酸化炭素排出量とアクセシビリティからみた自転車重視型道路配置地区の評価, 第36回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.547-552, 2001.