

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に関する比較分析*

Comparative Analysis on Accessibility Measures for Public Transportation Planning*

谷本圭志**・神山結圭***・牧 修平****

By Keishi TANIMOTO, Yuka KAMIYAMA and Shuhei MAKI

1. はじめに

公共交通は、自家用車の運転が困難な高齢者や、免許を所持しない学生などの移動制約者に対して活動の機会を保障する役割を担っている。このため、公共交通計画を策定する際には、どの地区にどれだけの活動の機会が提供されているかを把握することが重要である。

路線バスや鉄道を代表とする公共交通サービスは、一般にダイヤや路線が決まっており、それに伴って運行時刻や目的地が固定されている。特に、過疎地域など便数が極端に少ない地域では、自家用車と比べて公共交通が提供する活動の実施時間に関する選択の余地が圧倒的に少なく、その意味で公共交通の利用者の活動の機会が大きく制限されている。

公共交通計画のためのアクセシビリティ指標は、公共交通サービスの運行時刻や目的地が固定的であることに起因する時空間的な制約をとらえる必要がある。従来、活動の機会を評価する指標としてアクセシビリティ指標が開発されてきたが、上記の制約を明示的に考慮できる指標は検討の途上である。近年、その指標が提案されているものの、その計算には若干の技術的な困難を伴うため、実用性の観点では必ずしも有用ではない。

そこで、本研究では、従来から用いられてきた計算が簡易で実用的なアクセシビリティ指標に修正

を加えることで、公共交通サービスが課す時空間的な制約を明示的に考慮した指標にどれだけ接近するかを実証的に検討する。

2. 活動の機会の評価とアクセシビリティ指標

(1) 活動の機会の評価

一般に、「買い物ができる」、「通院できる」といったように、当該の活動の実行可能性が担保されている場合に、その活動の機会は保障されていると考えられる。これをより一般化すると、実行可能な選択肢がどれだけ豊富・多様であるかで活動の機会を評価することができる。

ある活動を所与とした場合、人々の選択肢を構成する要素としては、どこへ行くことができるか、すなわち、目的地に関するものと、いつ何時間の活動ができるか、すなわち、活動時間に関するものが代表的である。以後、前者に関する制約を空間的な制約、後者に関するそれを時間的な制約と呼ぶことにする。自家用車を持っている個人は、基本的には目的地と活動時間を自律的に選択でき、その意味で、多くの活動の機会を有している。一方で、公共交通サービスは目的地、出発時刻がともに予め決まっているため、それを利用する人々に提供する活動の機会は少ない。本研究では、時空間的な制約を明示的に考慮することが、公共交通サービスによって提供される活動の機会を評価する上では不可欠であると考ええる。

(2) 活動の機会とアクセシビリティ指標

従来、交通分野における活動の機会の指標は、アクセシビリティ指標として開発されてきた。その発端は1970年代である。現在までの研究の蓄積は多くのレビュー論文に整理されており、例えば、

*キーワード：公共交通,アクセシビリティ,活動の機会

**正員, 博(工), 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒680-8552, 鳥取市湖山町南4-101 TEL: 0857-31-5310

FAX: 0857-31-0882)

***非会員, 鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(〒680-8552, 鳥取市湖山町南4-101 TEL: 0857-31-5333

FAX: 0857-31-0882)

****学生会員, 鳥取大学大学院社会開発システム工学専攻
(〒680-8552, 鳥取市湖山町南 4-101 TEL: 0857-31-5333)

Handy and Niemeir¹⁾, Kwan²⁾, Geurs and Wee³⁾などを参照されたい。これらによると、アクセシビリティ指標はいくつかに分類することができる。その代表としては以下がある。

- ・交通基盤に基づく指標
- ・累積機会に基づく指標
- ・効用に基づく指標
- ・時空間プリズムに基づく指標

交通基盤に基づく指標は、旅行時間や道路等の混雑度など交通システムの機能レベルをアクセシビリティとして評価する指標である。累積機会(cumulative opportunity)に基づく指標は、既往の研究^{4,5)}でもよく用いられており、所与の移動時間あるいは移動距離内での到達可能な施設やサービスの数を評価する。距離や時間による減衰効果を加味し、移動時間や距離の閾値を与えない指標もある。効用に基づく指標は、ランダム効用理論に基づき、個人は各選択肢のうち効用が最大となる選択肢を偏好するという考え方である。時空間プリズムに基づく指標は、Hägerstrand⁶⁾により確立された時間地理学の中で発展した。個人が時間的、空間的な制約を受けることによって移動できる範囲を表現した時空間プリズムの概念を用いることに特徴がある。

これらのうち、公共交通サービスが課す時空間的な制約を明示的に考慮しうるのは時空間プリズムに基づく指標である。時空間プリズムに基づく指標で活動の機会を評価する場合には、伝統的にはPPA (potential path area: PPA) やPPS (potential path space) が用いられてきた⁷⁾。しかし、これらは、移動可能な最大の時空間的な範囲を示すものであり、公共交通が課す時空間制約は必ずしも最大の範囲には反映されない。そこで、谷本ら⁸⁾, Tanimoto *et al.*⁹⁾は、所与の公共交通サービスのもとでの実行可能パスを数え上げる方法を開発することで、公共交通が課す時空間制約の反映を可能としている。しかしながら、その計算には若干の技術的な困難を伴う。そこで以下では、その他の分類における実用性の高い指標を改良することで、公共交通が課す時空間制約を明示的に反映する指標値に接近できないかについて検討する。

(3) 指標の改良アプローチ

まず、時空間プリズムに基づく指標以外のどの分類に属する指標を改良の対象とするかについて検討する。

交通基盤に基づく指標は実行可能な活動と直接的な関係がないことから、また、効用に基づく指標は、効用という個人の認知的な判断のフィルターを通して活動の機会を評価しているため、これらの分類に属する指標では、どれほどの時空間的な制約に個人が直面しているかの客観的・直接的な評価ができない。

これに対して、累積機会に基づく指標は、到達可能な目的地を評価するものであり、公共交通サービスが課す空間的な制約を明示的に考慮できる。しかし、時間的な制約は考慮できない。例えば、累積機会に基づく指標を「公共交通で30分以内に到達可能な病院の数」で計算する場合、何時に病院に到達でき、何時間受診できるかについては不問である。

「公共交通で30分以内」という表現には時間の要素が含まれているが、そこでの時間は、30分でどれだけの範囲に到達可能かという空間的な制約に還元されるものであり、活動時間に関する時間的な制約の意味合いはない。当然のことながら、30分といった閾値を設けず、目的地までの移動時間等による減衰効果を加味して計算する場合についてもこの点は同様である。

以上より、活動の機会を評価する実用的な指標としては累積機会に基づく指標が最も有用であることが分かった。同時に、公共交通サービスが課す時間的な制約を明示的に考慮できていないことも再確認された。以下では、時空間プリズムに基づいて公共交通が課す時空間的な制約を明示的に考慮した方法を詳述した上で、時間的な制約を考慮しうるよう累積機会に基づく指標を改良し、両者の間での比較分析を行う。

3. 比較分析

(1) 比較の基準とする指標

①時空間プリズムに基づく指標

谷本ら⁸⁾, Tanimoto *et al.*⁹⁾は、時空間プリズムに

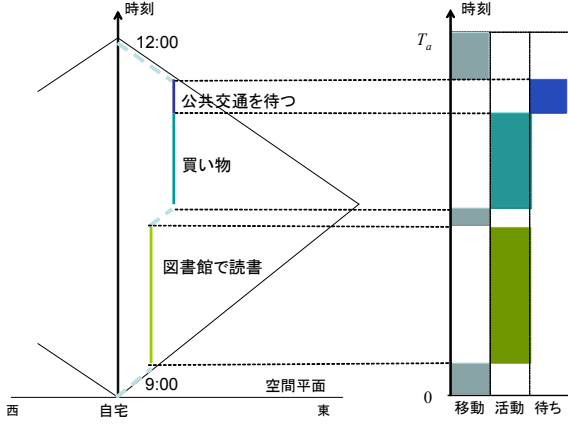


図1 実行可能パスと時間配分の対応例
(左：実行可能パス，右：時間配分)

基づくアプローチに立脚し，所与の公共交通サービスのもとでの実行可能パスを数え上げる方法を開発することで，公共交通が課す時空間制約の反映を可能とした．その際，図1に例示するように，実行可能パスと時間配分が等価であることに着目し，実行可能な時間配分を数え上げる方法を用いている．なお，図1は，自宅を出発点として，行きと帰りに公共交通を利用して図書館と買い物先を訪ねる場合を想定している．

図1の例を用いて指標の導出過程を示す．公共交通のダイヤが与えられれば，公共交通を利用して例えば自宅前から目的地に9:00に出発し12:00に帰宅できるといったように，実行可能な行き帰りの時刻の組み合わせが必ず決定される．任意の組み合わせ a のもとで外出可能な時間（上記の例では3時間）を T_a で表す．自宅を0，図書館を1，買い物先を2で表し，それぞれの間の移動時間を m_{ij} で表すと，総移動時間は $M = m_{01} + m_{12} + m_{20}$ で表される．図書館，買い物先での活動時間をそれぞれ x_1, x_2 ，公共交通の待ち時間を w とすると，次式が成り立つ．

$$x_1 + x_2 = T_a - M - w \quad (1)$$

$T_a - M - w$ を α とおく． x_1 は $[0, \alpha]$ の任意の時間ととりうる． x_1 が決まれば x_2 も一意的に決まるため，選択可能な活動時間の範囲は x_1 のとりうる範囲として与えられる．すると，待ち時間 w が所与の場

合，活動の数が2のときのアクセシビリティ指標 $A_2^a(w)$ は次式で表される．

$$A_2^a(w) = \int_0^\alpha 1 dx_1 = \alpha \quad (2)$$

同様に，活動の数が n 個のとき，(1)式は次式に改められる．

$$\sum_{i=1}^n x_i = T_a - M - w = \alpha \quad (3)$$

上と同様の議論により，活動数が n 個のときの指標 $A_n^a(y)$ は以下のように表される．その証明は，谷本ら⁸⁾，Tanimoto *et al.*⁹⁾を参照されたい．

$$A_n^a(w) = \frac{\alpha^{n-1}}{(n-1)!} \quad (4)$$

移動時間や公共交通の待ち時間が長い活動パターンは体力的な制約から実質的な選択肢となりえない．そこで，移動時間と待ち時間に応じた活動パターンの実質性を減衰項を導入して表す．それぞれの減衰関数を $f(M)$ ， $g(w)$ とし，次式のように与える^[注]．

$$f(M) = e^{-\beta M} \quad (5)$$

$$g(w) = e^{-\gamma w} \quad (6)$$

ただし， β と γ はパラメータである．式(4)～(6)より，減衰項を導入した指標として次式が得られる．

$$A_n^a(w) = e^{-\beta M - \gamma w} \frac{(T_a - M - w)^{n-1}}{(n-1)!} \quad (7)$$

w は $[0, T_a - M]$ の任意の時間ととりうるため，上と同様の議論により，指標は次式のように定式化できる．

$$A_n^a = \int_0^{T_a - M} e^{-\beta M - \gamma w} \frac{(T_a - M - w)^{n-1}}{(n-1)!} dw \quad (8)$$

所与の公共交通ダイヤのもとで，実行可能な行き帰りの時刻の組み合わせの集合 B を求めること

ができる．すると，所与の公共交通のもとでの活動の機会は今式で与えられる．

$$A_n = \sum_{a \in B} A_n^a \quad (9)$$

②累積機会に基づく指標

この指標は，施設やサービスへの到達に要する一般化費用に基づいた減衰を重みづけて，到達可能な施設やサービスの数を集計するものである．それを定式化すると次式を得る．

$$A_i = \sum_j D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (10)$$

ここに， D_j は地区 j にある施設またはサービスの数， c_{ij} は地区 ij 間の一般化費用， β はパラメータである．なお，前章で述べた「公共交通で 30 分以内に到達可能な病院の数」という指標は，移動時間のみから構成されている一般化費用を想定し，かつ，30 分以下の移動時間については 1，そうでない場合は 0 の重みを与える減衰項を導入している場合である．すなわち，式(10)とは重みの与え方が異なるだけで，指標の算出の考え方は同じである．

既に 2 章で述べたように，この指標では，公共交通で到達可能な施設やサービスを集計することで，公共交通サービスが課す空間的な制約については考慮できる．しかし，時間的な制約については考慮できない．

(2) 指標の改良

累積機会に基づく指標には，時間的な制約を考慮できないという欠点がある．そこで，本研究では，施設やサービスに到達可能な公共交通サービスの便数が多いれば，時間的な制約は緩くなりうる点に着目する．具体的には，便数に関する減衰項を式(10)に導入する．その際，時間的な制約をどの程度厳密に反映するかが異なる二つの指標を構築し，それらと式(9)との比較分析を行う．もし，より厳密に考慮した指標値が式(9)によって導出される値により接近していれば，累積機会に基づく指標に時間的な制約をより厳密に反映させることで式(9)により接

近できるという可能性が示唆される．

①便数に関する減衰を考慮

地区 i から j へ到達する一日当たりの公共交通の便数を f_{ij} で表す．便数に関する減衰を考慮した指標を，以下のように定式化する．ここに， λ はパラメータである．

$$A_i = \sum_j (1 - e^{-\lambda f_{ij}}) D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (11)$$

②往復が実行可能な便数に関する減衰を考慮

式(11)のように機械的に便数に関する減衰を考慮すると，以下の問題点が生じる．例えば，一日に 2 往復の公共交通があるが，二便目の公共交通を利用して外出した場合にはその日に帰宅できる公共交通に間に合わない場合，実質的には一日に 1 往復の公共交通サービスしかない．そこで，一日で往復できる公共交通サービスの便数に関する減衰項を導入することが考えられる．換言すれば，式(9)の定式化に際して定義した実行可能な行き帰りの時刻の組み合わせの集合 B を算出し，これを単純に 2 で除して片道当たりの便数を導出し，この便数に関する減衰を考慮する．すると，次式のように定式化することができる．

$$A_i = \sum_j (1 - e^{-\lambda f_{ij}^*}) D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (12)$$

ただし， f_{ij}^* は一日で往復できる公共交通サービスの便数である．任意の地区 i から j へ一日で往復できる行き帰りの時刻の組み合わせの集合を B_{ij} で表すと $f_{ij}^* = |B_{ij}|/2$ で与えられる．

(3) 実証分析

比較の対象となっている式(9)～(12)の間には定式化における類似性は見られないものの，(式(11)，(12)に関しては)別のアプローチで時間的な制約の反映を試みている．そこで，本研究ではそれらの間に高い相関が認められれば，式(11)や(12)が式(9)の代理変数の役割を担いうと考えた．そこで，以下

では各指標間の相関分析を行う。

①対象地域の概要

鳥取県米子市を対象とした。米子市は、鳥取県の西側、山陰のほぼ中央に位置しており、2005年3月に旧米子市と旧淀江町が合併して誕生した市である。2007年1月1日現在、市全体の人口に対する65歳以上の人口の割合は21.7%であり、高齢化が進んでいる。公共交通サービスは、JR 山陰本線、伯備線、境線が米子駅に集中し、その周辺にはバスサービスも多いが、郊外における公共交通のサービスは高くない。

②対象とする活動と算出方法

通院、買い物、文化・娯楽を活動の対象とする。累積機会に基づく指標である式(10)を、それぞれの活動について以下のように算出する。なお、式(11)、(12)についても同様の考え方に基づく。すなわち、(13)～(15)式に便数に関する減衰項を加えて算出する。

1) 通院

$$h_i = \sum_{j \in H} D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (13)$$

H は病院の集合とし、米子市における総合病院である、鳥取大学医学部附属病院、博愛病院、労災病院をその要素とした。 D_j には各病院の診療科の数を与えた。

2) 買い物

$$s_i = \sum_{j \in S_i} D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (14)$$

S_i は地区 i における買い物先の集合とし、米子市の中心市街地にある高島屋、天満屋、SATY に加え、地区 i から最寄の買い物先（HOK、丸合、いしかわ、ユニサン、ホープタウン、八光ストア、マルイのうちいずれか）をその要素とした。なお、これらはいずれも食料品調達の外出先として想定しており、そ

れらの規模に大差はないため、 $D_j=1$ とした。

3) 文化・娯楽

$$c_i = \sum_{j \in C} D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (15)$$

C は文化・娯楽施設の集合である。要素として、米子市公会堂、NHK 文化センター、ふれあいの里、文化ホール、天満屋、高島屋、SATY とした。なお、それらの施設の規模は異なるが、それら各々で実行可能な文化・娯楽活動は異なりうるため、 $D_j=1$ とした。

式(9)に関しても、各活動別に値を算出する。その際、任意の目的地（例えば通院の場合、 H の要素）に対して $n=1$ として式(9)を計算し、それをすべての目的地（ H のすべての要素）に関して足し合わせることで当該活動の指標を導出する。

なお、式(9)と整合的に比較するために、式(13)～(15)における一般化費用 c_{ij} を移動時間のみから構成した。移動時間は公共交通の時刻表に基づいて算定した。待ち時間に関する減衰パラメータ γ は米子市の住民を対象としたアンケートより 1.814 とした。その詳細については付録を参照されたい。それ以外のパラメータについては、アンケートから導出することができなかった。そこで、設定の恣意性を排除するために、移動時間の減衰に関わるパラメータ β には既往の研究²⁾で用いられている値として 0.12, 0.15, 0.22, 運行便数の減衰に関わるパラメータ λ の値としては、運行間隔が 10 分程度で減衰がほぼ無効となる程度の値を目安に 0.06, 0.07, 0.08 を設定し、これらの 9 通りの組み合わせについて比較を行った。なお、既往の研究²⁾における β は移動距離（単位:km）に関する値であるため、バスの時刻表から求めた米子市のバスの平均時速 25km に基づいて移動時間に対する減衰と変換した（ただし、時間の単位を分とする）。移動時間に関する減衰パラメータは 0.050, 0.063, 0.092 となる。移動時間および便数に関する減衰パラメータの値の妥当性については付録を参照されたい。

表 1 通院における相関分析の結果

β, λ	相関係数					
	式(10)		式(11)		式(12)	
	P	S	P	S	P	S
0.12, 0.06	0.49	0.65	0.53	0.86	0.54	0.90
0.12, 0.07	0.49	0.65	0.53	0.87	0.54	0.89
0.12, 0.08	0.49	0.65	0.53	0.87	0.54	0.88
0.15, 0.06	0.50	0.66	0.55	0.83	0.55	0.89
0.15, 0.07	0.50	0.66	0.57	0.86	0.55	0.88
0.15, 0.08	0.50	0.66	0.55	0.87	0.55	0.87
0.22, 0.06	0.52	0.67	0.54	0.82	0.54	0.86
0.22, 0.07	0.52	0.67	0.55	0.85	0.54	0.85
0.22, 0.08	0.52	0.67	0.56	0.86	0.54	0.85

表 2 買い物における相関分析の結果

β, λ	相関係数					
	式(10)		式(11)		式(12)	
	P	S	P	S	P	S
0.12, 0.06	0.61	0.77	0.64	0.86	0.64	0.89
0.12, 0.07	0.61	0.77	0.64	0.87	0.64	0.89
0.12, 0.08	0.61	0.77	0.64	0.87	0.64	0.89
0.15, 0.06	0.63	0.78	0.65	0.83	0.66	0.87
0.15, 0.07	0.63	0.78	0.65	0.86	0.66	0.87
0.15, 0.08	0.63	0.78	0.66	0.87	0.66	0.87
0.22, 0.06	0.58	0.78	0.66	0.82	0.67	0.87
0.22, 0.07	0.58	0.78	0.67	0.85	0.67	0.87
0.22, 0.08	0.58	0.78	0.66	0.86	0.67	0.87

表 3 文化・娯楽における相関分析の結果

β, λ	相関係数					
	式(10)		式(11)		式(12)	
	P	S	P	S	P	S
0.12, 0.06	0.53	0.73	0.57	0.86	0.61	0.84
0.12, 0.07	0.53	0.73	0.59	0.87	0.63	0.91
0.12, 0.08	0.53	0.73	0.59	0.87	0.63	0.91
0.15, 0.06	0.55	0.75	0.62	0.83	0.62	0.87
0.15, 0.07	0.55	0.75	0.62	0.86	0.62	0.90
0.15, 0.08	0.55	0.75	0.63	0.87	0.63	0.90
0.22, 0.06	0.59	0.76	0.64	0.82	0.66	0.85
0.22, 0.07	0.59	0.76	0.65	0.85	0.66	0.88
0.22, 0.08	0.60	0.76	0.65	0.86	0.66	0.89

③分析結果

米子市の各地区を対象に、式(9)と式(10)～(12)で求められる各活動別のアクセシビリティ指標をデータとし、それぞれの指標の間の相関係数を導出した。その際、分析者が指標の値に基数的な性質を必要とする場合と序数的な性質で足る場合があることに着目した。例えば、GIS 等で各地区の指標の大小関係を視覚的に表示する場合には、指標値の順序関係のみが意味をもつ。すなわち、序数的な性質があれば十分である。以上より、相関係数としては、ピアソンの相関係数およびスピアマンの順位相関係数の二つを導出した。その結果を表 1～3 および図 2～4 に

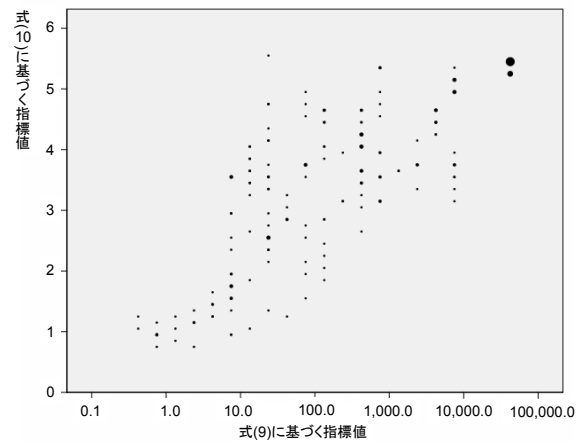


図 2 式(9)と式(10)の指標値に関する散布図

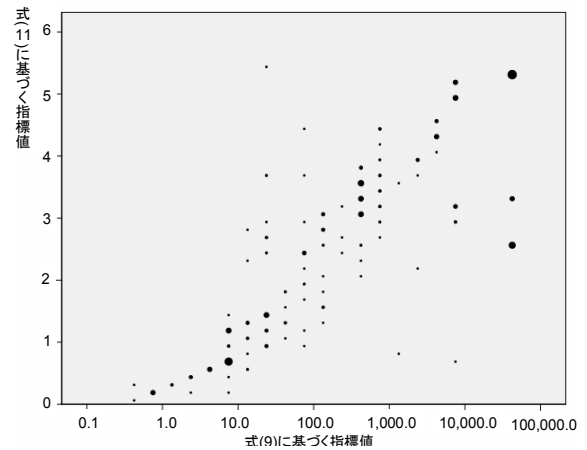


図 3 式(9)と式(11)の指標値に関する散布図

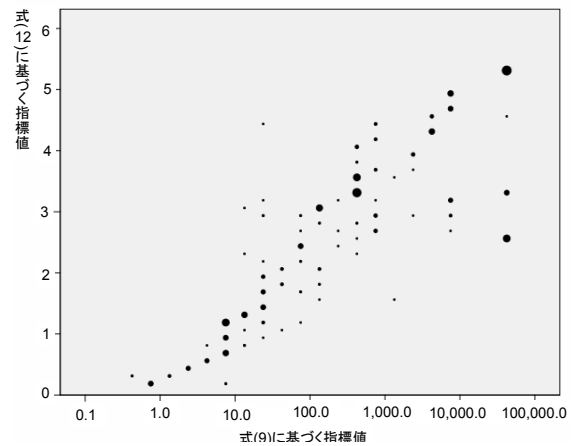


図 4 式(9)と式(12)の指標値に関する散布図

示す。表中の P, S はそれぞれピアソンの相関係数、スピアマンの順位相関係数を表している。ただし、図 2～4 は文化・娯楽を対象とした図である。なお、異なる地区であっても最寄りのバス停・駅が同じであれば同じ指標値をとりうる。このため、図 2～4 においては、同じ座標に複数のサンプルがプロットされている場合、そのサンプルの多さをプロットの大きさで表すこととした。すなわち、より大きな点

のプロットでは、その中心においてより多くのサンプルがその位置を占めていることを意味している。また、見易さへの配慮として、横軸に対数軸をとっている。

表 1~3 に示すように、通院については $(\beta, \lambda) = (0.15, 0.07), (0.22, 0.07), (0.22, 0.08)$ の3つ、文化・娯楽については $(0.12, 0.06)$ のケースを除いては、時間的な制約をより厳密に反映すると相関係数も高いことが分かる（式(12)が最も厳密に制約を反映し、式(10)は反映していない）。このことは、累積機会に基づく指標に時間的な制約をより厳密に反映させることで式(9)により接近できるという可能性を示唆しているものと考えられる。

順位相関係数についてはどのケースにおいても0.9に近い値が得られている。したがって、序数的な性質を指標値に求める場合には、式(9)において加味されている時間的な制約は式(12)に反映しうると言える。

しかし、基数的な性質を求める場合、ピアソンの相関係数は0.5~0.6程度であり、両者に相関はないとは言えないものの、式(12)は式(9)の代理となりうるとは必ずしも言えない結果となった。その理由としては以下が考えられる。

式(9)においては、実行可能な行き帰りの時刻の組み合わせを特定し、その組み合わせごとの外出可能な時間のもとでどれだけの時間配分パターンが可能かを求めている。このため、米子市においては公共交通が等時間間隔で運行されておらず、実行可能な組み合わせごとに外出可能な時間が異なっているが、式(9)はその差異をとらえている。しかし、式(11), (12)は便数に着目するだけで、その差異を不問としている。ただし、どの地区の指標値も同等に不問としており、また、どの地区においても公共交通のダイヤの傾向は朝夕に便数が多く、昼間に少ないというものであることから、差異を不問とすることに伴う定性的な影響がどの地区にとってもある程度共通していると考えられる。このため、地区における各指標値の順序関係には相関が生じていると考えられる。一方で、上記の定性的な影響はどの地区においてもある程度共通していたとしても、定量的にはばらついている可能性がある。そのばらつきが、この実証分析では必ずしも小さくなかったために、

基数的な指標値に関しては相関が低くなったと考えられる。

4. おわりに

本研究では、活動の機会の評価指標としてアクセシビリティ指標に着目し、それを公共交通サービスの評価に適用する際には運行時刻や目的地が固定されていることに伴う時空間的な制約をとらえる必要性を述べた。その制約をとらえた既存のアクセシビリティ指標があるものの、その計算には若干の技術的な困難が伴うことを指摘し、従来の簡易な指標を改良することでその値に接近できないかを実証的に比較検討した。その際、累積機会に基づく指標に着目した。

便数による減衰項を累積機会に基づく指標に導入するアプローチをとることで、制約を間接的に加味できるようにした。また、より厳密に考慮できるようにすることで、公共交通が課す時空間的な制約をとらえた指標との相関を高めることができた。しかし、指標の値に基数的な性質を分析者が必要とする場合には、必ずしも高い相関が得られなかった。この知見は以下の観点で有用である。ここでの結果は、今回の分析の対象地域である米子市における結果に過ぎない可能性はある。しかし、必ずしも高い相関が得られない例が一つでも発見されたことから、指標の値に基数的な性質を求める場合には、累積機会に基づく指標（を改良した指標）が式(9)の代理となることが必ずしも保証されない。

高い相関が得られなかった原因としては、実行可能な行き帰りの時刻の組み合わせごとの外出可能な時間に差異があることに由来することを推測した。したがって、便数ではなく、外出可能な時間そのものに着目することで、さらなる改良が可能であると考えられる。しかし、その計算には本研究で改良した指標と比べてより細かなデータと面倒な計算を必要とするため、相関係数を高めることと必要なデータおよび計算の間にはトレードオフの関係がある。以上の具体的な検討は、今後の課題としたい。

注：参考文献8), 9)においては、式(5)で表される減衰項を移動時間 M に関してではなく、移動時間 M と滞在時間 x の和に関して定義している。移動時間や

一般化費用のようにどの人にとってもそれが少ないほどよいというのに対し、滞在時間は人によって滞在時間がある程度必要とする人もいればそうでない人もおり、それへの減衰効果を加味しない方が適切とも考えられる。本研究では、その立場にたち、式(5)で表される減衰項を用いる。

付録 減衰パラメータの設定

A.1 移動時間に関する減衰パラメータ

本研究で設定した移動時間に関する減衰パラメータの値は 0.050~0.092 である。我が国におけるこれらの値の標準値は見当たらないが、イギリスにおいては LTP(Local Transport Plan)の作成のための標準値が示されている¹⁰⁾。国が違うため安易な比較はできないが、本研究で設定している減衰パラメータの範囲の妥当性を把握するための一助にはなる。それによれば、バス利用者の通院、買い物、文化・娯楽のパラメータはそれぞれ 0.047, 0.072, 0.055 (ただし、0.055 は食料品以外の娯楽的な買い物であり、余暇は 0.039) であり、本研究において設定した 0.050~0.092 の範囲と大きな差異はない。

A.2 待ち時間および便数に関する減衰パラメータ

米子市の住民を対象に公共交通の待ち時間に対する受容可能性をアンケート調査で尋ねた。このアンケートは、平成 17 年 9 月、10 月にアンケート調査を実施したものである。なお、アンケートは一通の封筒に二票のアンケートを封入して配布した。封筒 2,800 通（アンケート 5,600 票）のうち約 1,300 通を米子市内の路線が集中する米子駅前、市街地の中心部にありバス利用者の多い高島屋前、公会堂前、米子市の総合病院である鳥取大学附属病院の最寄りのバス停において、バス利用者に直接手渡しで配布し、残り約 1,500 通を米子市に住む高齢者を対象として住民基本台帳からランダムに抽出し、郵送した。回収率は約 15%であった。

具体的には、「希望する時刻にバスが運行していない場合、何分以内ならバスを待つ、用事を早めに切り上げる、予定をずらすなどして、バスにあわせることができますか」という質問を設けた。その結果、図 A.1 の回答を得た。この結果を用いて式

(6)を回帰分析により導出すると、減衰パラメータは 1.814 として求められる。なお、その値の有意水準は 1%である。

そこで、このアンケートにおける待ち時間を用いて、本研究で設定した便数に関する減衰パラメータの範囲が妥当であるかについて検討しよう。ただし、その前提として以下に留意されたい。一般に便数が多いと待ち時間は小さくなるといったように、便数と待ち時間は互いに関連のある変数ではあるが、待ち時間は公共交通のダイヤおよび個人の活動の時間帯が与えられないと一意に決まらない。つまり、これらに関連はあっても一対一の関係にはない。本研究において、便数に関する減衰パラメータ λ と待ち時間に関する減衰パラメータ γ をあえて連動させることなく分析しているのはこのためである。一方で、A.1 の移動時間とは異なり、便数に関する標準値は見当たらない。そこで、幾分荒い分析となることは避けられないものの、待ち時間に対する受容可能性を用いて、本研究で設定した便数に関する減衰パラメータの範囲の妥当性を示す。

始発から終発までの公共交通の運行時間が E 時間、その間の便数が x であるとすれば、平均的な公共交通の運行間隔は $z = E/x$ である。運行間隔 z の間における利用者の希望利用時刻が一様分布にしたがうとすれば、平均的な公共交通の待ち時間は次式で表される。ただし、希望利用時刻との時間的な乖離が最も小さい公共交通を利用するものとする。つまり、希望利用時刻の前後に出発する公共交通の時刻を比較し、希望利用時刻に最も近いものを利用するものとする。

$$\frac{2}{z} \int_0^{z/2} t dt = \frac{z}{4} = \frac{E}{4x} \quad (\text{A.1})$$

往路においては、自宅で出発時間を調整することで公共交通の待ち時間を経験しなくてよいと考えれば、1 回の外出時における平均的な待ち時間は(A.1)式で表される。この式を用いると、所与の便数のもとでの平均的な待ち時間が求められ、その待ち時間に対する減衰が式(6)から導出される。

以上の結果を用いて、待ち時間の減衰項と本研究で設定した便数に関する減衰項を比較したものが

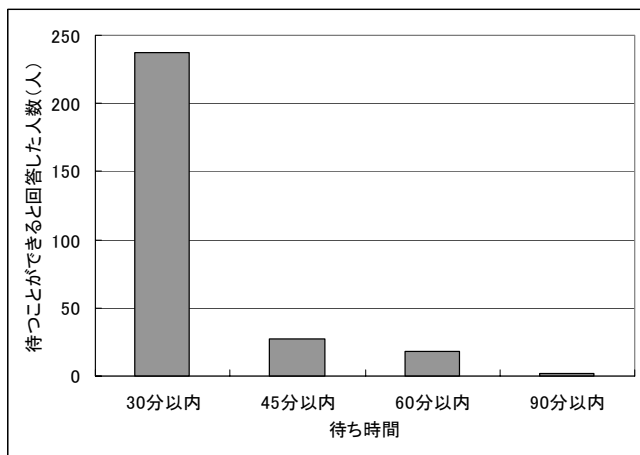


図 A.1 待ち時間と受容可能性の分布

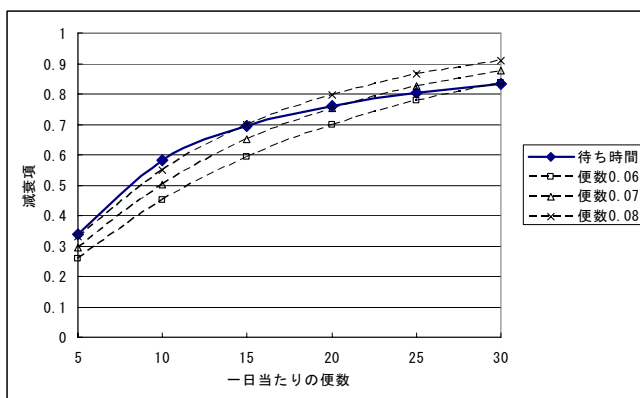


図 A.2 待ち時間と便数に関する減衰項との比較
(ただし、図中の例えば便数 0.06 とは、便数に関する減衰項が 0.06 である場合であることを示している)

図 A.2 である。ただし、米子市のバスの便数は概ね 5～30 便であることから、それらの便数に関して比較した。また、バスの運行時間を朝の 7 時から 19 時までとし、 $E=12$ (時間) とした。この図より、本研究で設定した便数の減衰パラメータの範囲の中にここで推計した待ち時間に関する減衰項が概ね含まれていることが分かる。この意味において、ここで設定した便数に関する減衰パラメータの範囲は特異な値ではなく、対象地域の中で妥当な範囲となっていることが分かる。

謝辞：本研究は文部科学省研究費若手研究(B)課題番号18760396の助成を受けた研究成果の一部である。

参考文献

- 1) S. L. Handy and D. A. Niemeier: Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives, Environment and Planning A 29, pp.1175-1194, 1997.
- 2) M.-P. Kwan: Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework, Geographical Analysis 30(3), pp.191-216, 1998.
- 3) K. T. Geurs and B. van Wee: Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions, Journal of Transport Geography 12, pp.127-140, 2004.
- 4) 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.
- 5) 新田保次, 黄靖薫: 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.
- 6) T. Hägerstrand: What about People in Regional Science? People of the Regional Science Association 24, pp.7-21, 1970.
- 7) B. Lenntorp: Paths in Time-Space Environments: A Time Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals, 1976.
- 8) 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 (投稿中)
- 9) K. Tanimoto, S. Maki, and H. Kita: Information Basis for Public Transportation Planning in Rural Areas, Proc. of the 2006 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, CD-ROM, pp.5246-5251, 2006.
- 10) Department for Transport: Accessibility Planning Guidance: Technical Appendix 6 – Information on Deterrence Parameters.
(<http://www.dft.gov.uk/pgr/regional/ltp/accessibility/guidance/gap/technicalappendix6information3639>)

谷本圭志・神山結圭・牧修平

公共交通計画を策定する際、どの地区にどれだけの活動の機会が提供されているかを把握することが重要である。一般に、公共交通サービスは運行時刻や目的地が固定されている。特に、地方部など便数が極端に少ない地域では外出時間の選択肢が限定的であり、自家用車と比べて活動の実施時間という観点で活動の機会を大きく制限している。そこで、本研究では、従来から用いられてきた計算が簡易で実用的なアクセシビリティ指標に修正を加えることで、公共交通サービスが課す時空間的な制約を明示的に考慮した指標にどれだけ接近しうるかについて事例を用いて実証する。

Comparative Analysis on Accessibility Measures for Public Transportation Planning

By Keishi TANIMOTO, Yuka KAMIYAMA and Shuhei MAKI

The accessibility measures are useful to evaluate the opportunity provided by the public transportation service in rural areas. Because the fixed route and timetable of the service constrain the opportunity, it is important to apply the measures which consider the space-time constraints caused by them. However, it requires the computational works as compared to the practically used measures such as cumulative opportunity measure. This study modifies the cumulative opportunity measure so as to consider the constraints and examine the correlation between the measures. As a result, the ordinal correlation is quite good although cardinal correlation is not so good.
