

回遊性を考慮した 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・長曾我部 まどか³

¹正会員 鳥取大学教授 工学部社会システム土木系学科 (〒680-8552 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 工学部社会システム土木系学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南四丁目101)
E-mail: tsuchiya@sse.tottori-u.ac.jp

³正会員 鳥取大学助教 工学部社会システム土木系学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南四丁目101)
E-mail: mchoso@sse.tottori-u.ac.jp

公共交通の利便性を評価する手法としてアクセシビリティ指標があり、その代表的な指標として、累積機会に基づく指標がある。この指標は、目的地までの到達のしやすさ、すなわち到達可能な目的地の多さと距離を総合的に評価しているが、複数の目的地を人々が回遊するケースを想定していない。このため、中心市街地における循環バスの整備といった目的地の回遊性を高めるための政策を評価することができない。そこで、本研究ではネットワーク理論に基づいて、人々の回遊性を考慮したアクセシビリティ指標を開発する。

Keywords: *accessibility measure, hopping trips, public transportation, network theory*

1. はじめに

人々が地域内を移動するための交通手段に公共交通がある。近年では、運転免許保有率の増加や人口減少に伴い、公共交通の利用者が減少しており、その維持が課題となっている。公共交通を維持していくためには、地域の住民に対しては商店や医療機関などの生活サービス施設、観光客に対しては鉄道駅や観光地へのアクセス利便性を確保することが重要な視点となる。

公共交通のアクセス利便性を評価する手法としてアクセシビリティ指標があり、その代表的な指標として累積機会に基づく指標がある。この指標は到達可能な目的地の多さや距離に基づいて目的地までの到達のしやすさを総合的に評価することができる。また、計算のためのデータが容易に入手できることから、実務的にも有用であり、その適用は古くからなされ、多くの研究で用いられている。

人々が移動するに際しては、自宅等の起点から目的地との間を往来するのではなく、複数の目的地を回遊することもある。しかし、上記の指標では、複数の目的地を回遊するケースを想定していない。こ

のため、中心市街地における循環バスの整備といったように、目的地間の回遊性を高めるための政策をこの指標を用いて計画、評価できないという課題がある。

そこで本研究では、既存のアクセシビリティ指標を改良し、回遊性を考慮できるアクセシビリティ指標の開発を行う。その際、ネットワーク理論の情報中心性に着目し、既存のアクセシビリティ指標が情報中心性の計算手法の特殊形であることを理論的に明らかにするとともに、この概念において取り上げられている「情報伝達」を「回遊」に見立てることでアクセシビリティに回遊性を反映させるアプローチをとる。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 既往の研究

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 Niemeir¹⁾, Kwan²⁾, Geurs and van Wee³⁾) .

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)^{4)~9)}がある. 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. しかしながら, この指標では自宅などの基準地点と個々の目的地の間のアクセスをベースとしており, 目的地間を移動するという回遊性については考慮の対象外である.

一方で, 回遊性を考慮しうるアプローチとしては, Hägerstrand¹⁰⁾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)¹¹⁾を指標とすることが提案されており, これらはその範囲内であればどのような回遊行動も可能という意味で回遊性を考慮できる. また, 時空間プリズムに含まれる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に着目することで, より回遊を伴う行動を直接表現することができる. しかし, いずれについても計算が容易ではない, もしくは, 指標の直感的な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.

そこで本研究では, 実用性が高い累積機会に基づく指標に着目し, この指標に回遊性を考慮しうるよう改良を施すことで, この指標の実用的な長所を活かした評価を可能とすることを目指す. 以下ではまず, この指標の詳細について述べる.

(2) 既存のアクセシビリティ指標

アクセス利便性には様々な意味合いがある. 例えば, 少ない所要時間でアクセスできる, 多くの場所にアクセスできる, 多様な時間にアクセスできるなどである. これらを定量的に評価する指標としてアクセシビリティ指標があり, その代表的な指標として累積機会に基づく指標がある. 累積機会に基づく指標は, 到達可能な目的地の多さや距離を総合的に評価する. その際, 距離を変数とした関数を各施設やサービスに重みとして乗じることで, 距離に起因する行きづらさを指標に反映する. この関数としては, 一般に負の指数関数を用いられる. 具体的には, 基準地点 i のアクセシビリティ指標 A_i は次式のように表される. ただし, m_j は目的地 j の魅力, l_{ij} は基準地点 i から目的地 j までの距離, $\lambda (>0)$ はパラメータである.

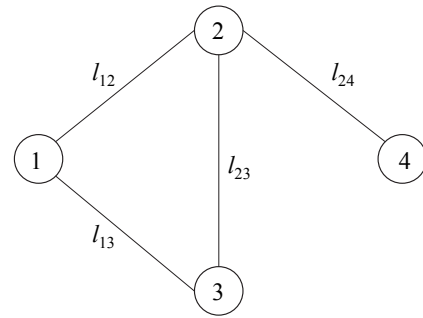


図-1 ネットワークの例

$$A_i = \sum_{j=1}^n m_j e^{-\lambda l_{ij}} \quad (1)$$

(3) 情報中心性

情報中心性とは, 社会ネットワーク分析において用いられる指標である. 社会ネットワーク分析とは, 人的なネットワークの構造的な特性を探る分析手法である. この分析は人々の属性 (性別, 年齢, 人種, 職業における階級など) を考慮せず, それらの関係や結びつきのみに着目するという特徴をもつ. また, 個人や企業のような組織, 国家など, 関係を取り結ぶ主体であればどのような対象も扱うことができる. 社会ネットワーク分析という手法は, 研究対象に限定されずに使えるため, 社会学・政治学・経営学・人類学といった様々な領域においてこの手法を用いた実証研究が行われている.

ネットワークは, 一般には個人を点 (ノード), 人々の間の関係を線 (リンク) で表現したネットワークである. これらを視覚的に表すと, 図-1 のようなネットワークで図示できる. なお, ネットワーク分析では, 個人間の間につながりがあるかないかを扱うことが多く, 図-1 のように人々の間に基数的な距離 (図の l_{12} など) を用いることは必ずしも一般的ではない. すなわち, $l_{12} = l_{13} = l_{23} = l_{24} = 1$ として与える.

ネットワークの特性を定量化した指標がいくつか提案されている. それらの一つに情報中心性がある. 情報中心性では, 当該のノードとその他のノードへの情報伝達 (コミュニケーション) のしやすさ, ならびに, その伝達経路の多さに着目してノードの中心性を計算する. 以下では, 情報伝達 (コミュニケーション) のしやすさの算出手法を, 図-1 の例を用いて具体的に説明する. なお, 情報中心性では情報伝達のしやすさを「情報量」と呼ぶ. 以下では, 情報量と情報伝達のしやすさを等価なものとして扱う.

ノード 2 とノード 4 の間にはリンクが一つあることから, 伝達の経路は 1 つである. このため, ノー

ド 2 からノード 4 への情報量は、その経路の長さ l_{24} の逆数をとって $1/l_{24}$ と算出する。ノード 1 とノード 2 の間には、1-2 と 1-3-2 という二つの経路があり、経路 1-2 の情報量は $1/l_{12}$ 、経路 1-3-2 の情報量は $1/(l_{13}+l_{23})$ である。したがって、ノード 1 とノード 2 の間の情報量はこれらの和、すなわち、 $1/l_{12}+1/(l_{13}+l_{23})$ と算出される。

ノード 1 とノード 4 の間の情報量の計算は幾分複雑である。これらのノードの間には、1-2-4 と 1-3-2-4 という 2 つの経路があり、また、これらには 2-4 という共通のリンクが含まれる。この場合、ノード 1 とノード 4 の間の 2 つの経路を行項目および列項目にもつ 2×2 の正方行列 D_{14} をまず求める。 D_{14} は式 (2) で表される。このとき D_{14} の成分は経路同士で共有するリンクの長さとし、対角成分にはそれぞれの経路の長さが入る。ここでは、第 1 行第 1 列に経路 1-2-4 の長さ、同第 2 列には経路 1-2-4 が経路 1-3-2-4 と重複する経路の長さが入る。同様に第 2 行第 1 列には経路 1-3-2-4 が経路 1-2-4 と重複する経路の長さ、同第 2 列には経路 1-3-2-4 の長さが入る。

$$D_{14} = \begin{pmatrix} l_{12} + l_{24} & l_{24} \\ l_{24} & l_{13} + l_{23} + l_{24} \end{pmatrix} \quad (2)$$

この行列 D_{14} の逆行列 D_{14}^{-1} の行和を各経路の情報量とする。上述のように、一般のネットワーク分析では、ノード間のつながりの有無にのみ関心があるため、 $l_{12} = l_{13} = l_{23} = l_{24} = 1$ である。このため、次式が成立する。

$$D_{14} = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} \quad D_{14}^{-1} = \begin{pmatrix} 0.6 & -0.2 \\ -0.2 & 0.4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

したがって、経路 1-2-4 の情報量は $0.6 - 0.2 = 0.4$ 、経路 1-3-2-4 のそれは $-0.2 + 0.4 = 0.2$ であり、ノード 1 と 4 の間の情報量はこれらの和、すなわち、 $0.4 + 0.2 = 0.6$ と算出される。

以上を一般化すると以下ようになる。ノード i と j に関する正方行列 D_{ij} が与えられているとする。また、 D_{ij} の逆行列が次式のようにベクトル $d_r (1 \leq r \leq R)$ で表されるとする。ただし、 R はノード i と j の間の経路の数である。

$$D_{ij}^{-1} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_R \end{pmatrix} \quad (4)$$

すると、任意の経路 r の情報量は $|d_r|$ で表される。ただし、 $|d_r|$ はベクトル d_r の行和を意味する。また、ノード i と j の間の情報量 I_{ij} は次式で表される。

$$I_{ij} = \sum_{r=1}^R |d_r| \quad (5)$$

また、情報量は距離の逆数というのが基本的な考え方であるため、情報伝達のしやすさの視点を踏まえたノード i と j の距離は次式で求められる。

$$L_{ij} = \frac{1}{I_{ij}} \quad (6)$$

以下では、上式で定義される距離を L_{ij} 、リンクの物理的もしくは時間的な距離を l_{ij} で表記し、両者を区別する。

(4) 情報中心性の適用可能性

上記のように、情報中心性の計算に際しては、いくつかのノードを経由する状況も扱っている。このため、基準地点を出発した後どここの目的地に訪問でき、再び基準地点に戻って来れるかをネットワークで表現し、そのネットワークに対して情報中心性の計算手法を適用することで、回遊性を考慮しうるアクセシビリティの算出が可能と考えられる。ただし、情報中心性は無向グラフを対象としているため、どのような場合でも回遊性を考慮することができるわけではない。例えば、循環バスによるアクセシビリティを算出する場合、地点 1 から地点 2 に行く場合の距離と地点 2 から地点 1 へ行く場合のそれは異なりうる。このように、回遊性を指標に反映させるには、向きによる距離の違いの反映が求められるが、情報中心性による計算手法をアクセシビリティの算出に適用するだけではそれが不可能である。

そこで、本研究ではネットワークを一括してアクセシビリティを計算するのではなく、ネットワークを部分グラフに分割して指標を計算する方法をとる。すなわち、部分グラフそのものは無向グラフであり

つつも、その部分グラフの起点と終点を特定のノードに設定することで、起点についてはそこから出発するという方向性を、終点についてはそこへ到着するという方向性を暗黙に埋め込むことで、向きによる距離の違いを反映させる。

3. アクセシビリティ指標の開発

出発地としての基準地点を 0 と示す。任意の目的地を 1, 2, ..., n-1 で表し, n を到着地としての基準地点とする。これらがネットワークにおけるノードを構成する。ノード i と j の間を移動できる場合、これらのノードにリンクがあることで表現する。任意のリンクには距離があり、ノード i と j のリンクの物理的もしくは時間的な距離を l_{ij} で表す。ただし、距離はネットワーク全体に関して与えるのではなく、以下に記す二つの部分グラフのそれぞれについて与える。つまり、同じリンクであっても、二つの部分グラフで距離が異なることもありうる。このことは、向きによってリンクの距離が異なりうることを表現するための工夫である。

上記の「二つの部分グラフ」とは、1)基準地点から目的地までの部分グラフと、2)目的地から基準地点までの部分グラフであり、一旦これらのグラフについてアクセシビリティを算出した上で、それらを統合化して基準地点のアクセシビリティを算出する。具体的には以下の手順による。

(1) 基準地点から目的地までの部分グラフ

三つの目的地 1, 2, i があり、どのノードの間にもリンクがある場合を図-2の上側に示す。なお、このグラフは無向グラフであるが、基準地点 0 から目的地までのグラフという解釈でのグラフであることから、図の矢印が示すように、基準地点 0 を端とするリンクは 0 から目的地までの矢印を暗黙に保持することになる。同様に、任意の目的地 i についても、その目的地への矢印を暗黙に保持する。したがって、このような方向性をもつリンクについては、そのリンクの距離はその方向での距離が与えられる。

式(6)を用いると、基準地点 0 から直接もしくは複数の目的地を回遊して目的地 i に行き、目的地 i から直接基準地点 n に帰る場合のアクセシビリティは次式で表される。

$$A_{\alpha} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i e^{-\lambda L_{0i}} e^{-\lambda l_m} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i e^{-\lambda(L_{0i}+l_m)} \quad (7)$$

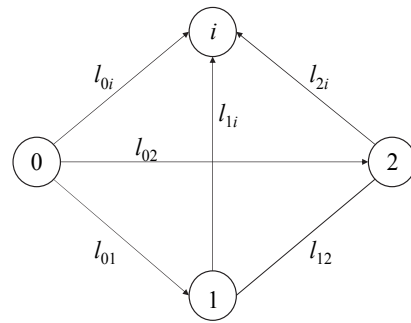
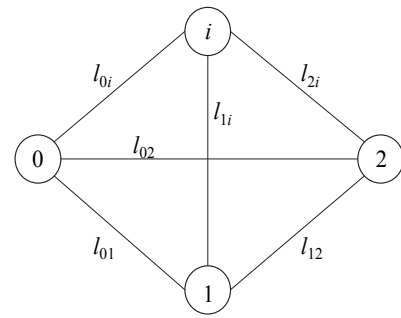


図-2 基準地点から目的地 i までの部分グラフ
(上：無向グラフ，下：実質的に保持される方向性を記したグラフ)

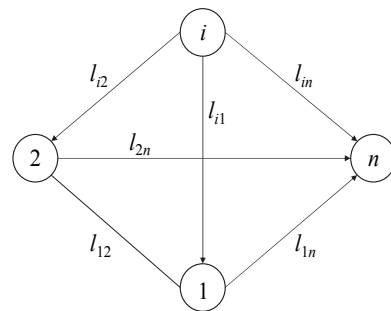
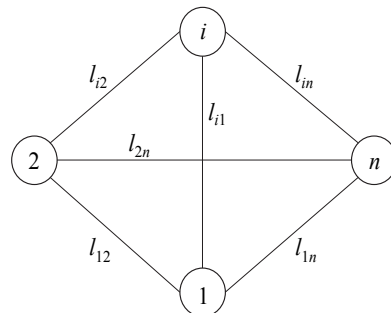


図-3 目的地 i から基準地点までの部分グラフ
(上：無向グラフ，下：実質的に保持される方向性を記したグラフ)

(2) 目的地から基準地点までのグラフ

前節と同様の計算により、基準地点 0 から直接目的地 i に行き、複数の目的地を回遊した後もしくは

直接基準地点 n に帰る場合のアクセシビリティは次式で表される.

$$A_{\beta} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i e^{-\lambda l_{0i}} e^{-\lambda L_m} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i e^{-\lambda(l_{0i} + L_m)} \quad (8)$$

基準地点 0 から n に戻るまでのアクセシビリティは式(7),(8)を踏まえて, これらの平均値として次式で表される.

$$A_0 = \frac{A_{\alpha} + A_{\beta}}{2} \quad (9)$$

上式は, 式(1)が示す累積機会の指標の一般化となっている. すなわち, 回遊性が確保されていない場合や, 回遊する場合の経路に大きな距離が伴う場合, A_0 は式(1)と一致する.

(3) リンクの方向性に関する留意点

図-2 の部分グラフにおいて, 目的地 i を終点とした場合, 基準地点 0 から目的地 i までの経路には, 0-1-2- i と 0-2-1- i が含まれる. これらの経路ではノード 1 と 2 の間のリンクが重複する. 仮に, ノード 1 から 2 までの距離が, ノード 2 から 1 までのそれと異なる場合, 先に述べた工夫のみでこれらの違い, すなわち, 方向によって距離が異なることを表現できない. このような場合には, 図-4 に示すようにダミーのノード 1^+ , 2^+ をグラフに追加する. ダミーのノード 1^+ , 2^+ とノード 1, 2 は同じ位置にあり, 任意のノード i と 1(2) の距離は任意のノード i と $1^+(2^+)$ のそれと同じである. ダミーのノード 1^+ , 2^+ を加えることにより, リンク 1- 2^+ とリンク 2- 1^+ では形式的に重複がないため, 向きによる距離の違いを反映できる. ただし, 一般にダミーのノードを加えることで向きによる距離の違いが反映できるか, また, できる場合であってもどのようにダミーを付加すればよいのかについては必ずしも明確でない. この点については, 今後の課題である.

図-4 のもとで, 基準地点 0 から目的地 i に向かう経路に関する正方行列 D_{0i} は次式で表される. ただし, 1~5 行目は経路 0- i , 0-1- i , 0-2- i , 0-1- 2^+ - i , 0-2- 1^+ - i を表している. この行列が与えられれば先述の計算の手順でアクセシビリティが算出できる.

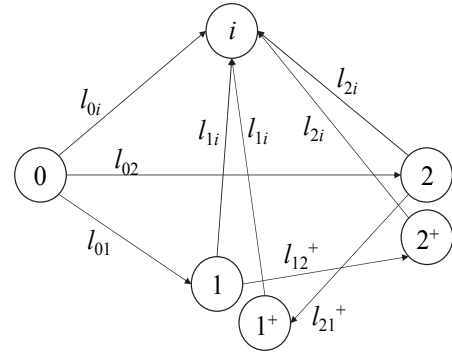
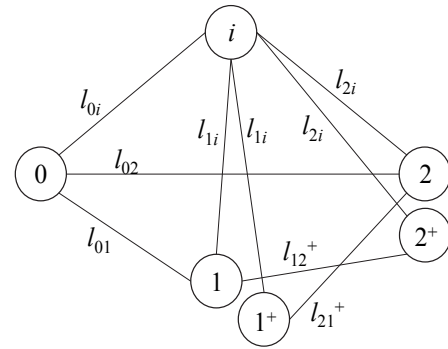


図-4 ダミーのノードを加えたグラフ

(上: 無向グラフ, 下: 実質的に保持される方向性を記したグラフ)

$$D_{0i} = \begin{pmatrix} l_{0i} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l_{01} + l_{1i} & 0 & l_{01} & l_{1i} \\ 0 & 0 & l_{02} + l_{2i} & l_{2i} & l_{02} \\ 0 & l_{01} & l_{2i} & l_{01} + l_{12^+} + l_{2i} & 0 \\ 0 & l_{1i} & l_{02} & 0 & l_{02} + l_{21^+} + l_{1i} \end{pmatrix} \quad (10)$$

4. 実証分析

(1) 対象とする地域の概要

鳥取市で運行している路線バス, 巡回バスを用いた観光地の回遊性を取り上げてアクセシビリティの算出を試みる. 路線バスは賀露線, 砂丘線, 巡回バスはループ麒麟獅子バスとする. 基準地点を鳥取駅とし, 目的地を鳥取砂丘, かるいち, 鳥取城跡とする. また, 乗り換えずに一本で到達できる場合にそれらの間は直接的に移動が可能と考える.

路線バスのみでは乗り換えずに鳥取砂丘からかるいちへ移動できない. 一方で, 巡回バスであるループ麒麟獅子バスを用いると, 鳥取砂丘からかるいちへ乗り換えなしに移動することができる. この巡回バスの有無によるアクセシビリティの向上を評価する.

表-1 路線バスのみが利用できる場合のアクセシビリティ

基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_α	A_0	
0～1	0.8172	1～4	0.6640	1.6219	1.6219	
0～2	0.6678	2～4	0.4409			
0～3	0.8997	3～4	0.8724			
基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β		1.6219
0～1	0.6640	1～4	0.8172	1.6219		
0～2	0.4409	2～4	0.6678			
0～3	0.8724	3～4	0.8997			

表-2 路線バスと巡回バスが利用できる場合のアクセシビリティ

基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_α	A_0	
0～1	0.8325	1～4	0.6640	1.6800	1.6742	
0～2	0.7766	2～4	0.4409			
0～3	0.8997	3～4	0.8724			
基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β		1.6742
0～1	0.6640	1～4	0.8457	1.6683		
0～2	0.4409	2～4	0.7302			
0～3	0.8724	3～4	0.8997			

表-3 回遊性がない場合のアクセシビリティ

基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_α	A_0	
0～1	0.6640	1～4	0.6640	1.3963	1.3963	
0～2	0.4409	2～4	0.4409			
0～3	0.8724	3～4	0.8724			
基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β		1.3963
0～1	0.6640	1～4	0.6640	1.3963		
0～2	0.4409	2～4	0.4409			
0～3	0.8724	3～4	0.8724			

(2) パラメータの設定

既往の研究¹²⁾で明らかになっているバスでの観光に関するパラメータを参照し、 $\lambda=0.039$ とする。ただし、これは時間的な距離（単位：分）に関するパラメータである。また、目的地の魅力 m_j については一律に 1 とした。

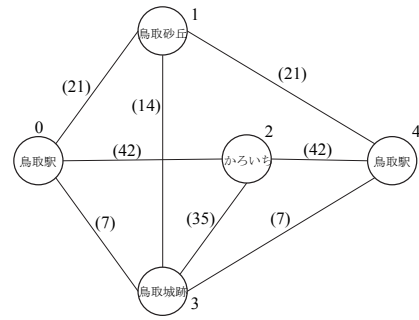


図-5 路線バスのみが利用できる場合のネットワーク（括弧内の数値は所要時間（分））

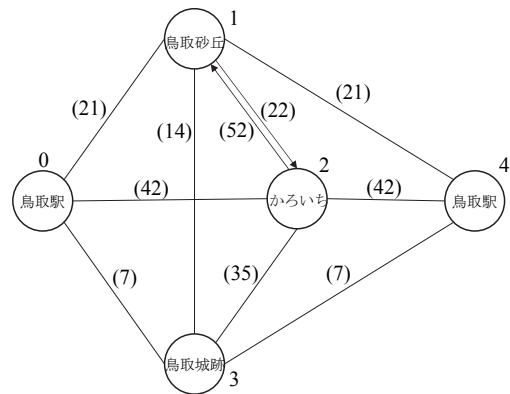


図-6 巡回バスが利用できる場合のネットワーク（括弧内の数値は所要時間（分））

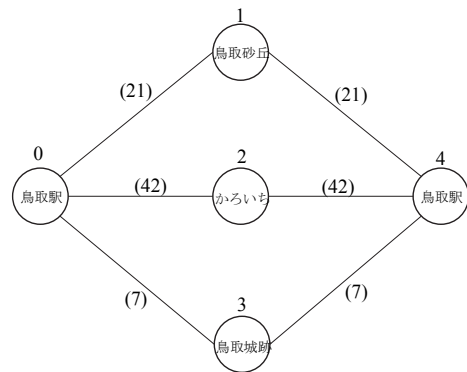


図-7 回遊性がない場合のネットワーク（括弧内の数値は所要時間（分））

(3) 計算結果

路線バスのみが利用できる場合のネットワークを図-5、このネットワークを対象に算出したアクセシビリティを表-1に示す。また、路線バスに加え、巡回バスが利用できる場合のネットワークを図-6、このネットワークを対象に算出したアクセシビリティを表-2に示す。ただし、鳥取砂丘からかろいちの間

表-4 双方に移動できる巡回バスで回遊性がない場合のアクセシビリティ

基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_α	A_0	
0～1	0.5793	1～4	0.5793	1.4023	1.4023	
0～2	0.6023	2～4	0.6023			
0～3	0.8390	3～4	0.8390			
基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β		1.4023
0～1	0.5793	1～4	0.5793	1.4023		
0～2	0.6023	2～4	0.6023			
0～3	0.8390	3～4	0.8390			

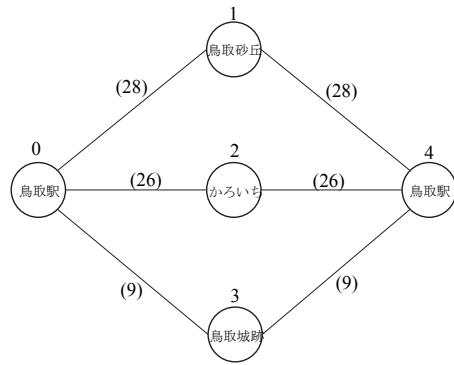


図-8 双方に移動できる巡回バスで回遊性がない場合のネットワーク (括弧内の数値は所要時間)

表-5 双方に移動できる巡回バスのアクセシビリティ

基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_α	A_0	
0～1	0.8157	1～4	0.5793	1.6925	1.6925	
0～2	0.8025	2～4	0.6023			
0～3	0.8780	3～4	0.8390			
基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β		1.6925
0～1	0.5793	1～4	0.8157	1.6925		
0～2	0.6023	2～4	0.8025			
0～3	0.8390	3～4	0.8780			

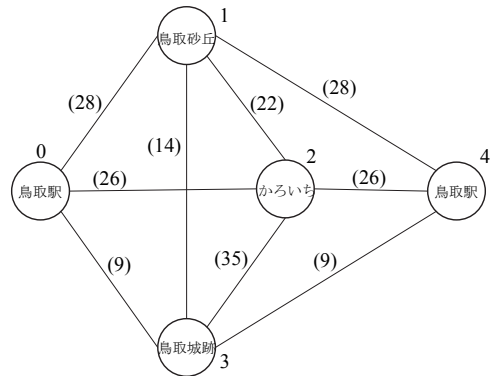


図-9 双方に移動できる巡回バスのネットワーク (括弧内の数値は所要時間)

表-6 回遊性がない現状の巡回バスのみでのアクセシビリティ

基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_α	A_0	
0～1	0.3999	1～4	0.3999	0.5989	0.5989	
0～2	0.6023	2～4	0.6023			
0～3	0.2761	3～4	0.2761			
基準地点～目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β		0.5989
0～1	0.3999	1～4	0.3999	0.5989		
0～2	0.6023	2～4	0.6023			
0～3	0.2761	3～4	0.2761			

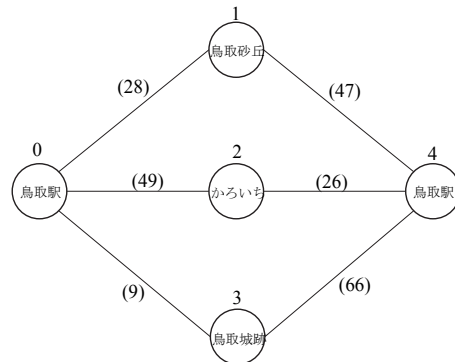


図-10 現状の巡回バスで回遊性がない場合のネットワーク (括弧内の数値は所要時間)

は巡回バスのため、向きによって距離 (所要時間) が異なることに留意を要する。

表中にある 0(4)は基準地点の鳥取駅を表しており、1, 2, 3は目的地の鳥取砂丘, かろいち, 鳥取城跡を

表している。また、比較のため、回遊性がない場合のネットワークを図-7, このネットワークを対象に算出したアクセシビリティを表-3に示す。

(4) 利便性の改善案

鳥取市の観光地を回る現状の巡回バスは同一方向にのみ巡回しているため、目的地間の方向によって

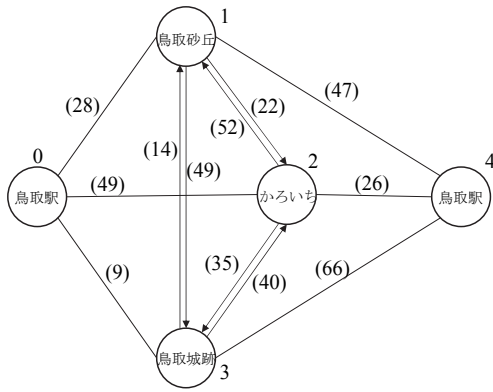


図-11 現状の巡回バスが利用できる場合のネットワーク (括弧内の数値は所要時間)

表-7 現状の巡回バスでのアクセシビリティ

基準地点 ～ 目的地	$e^{-\lambda L_{0i}}$	目的地～ 基準地点	$e^{-\lambda l_{i4}}$	A_α	A_0
0～1	0.7880	1～4	0.3999	1.0006	1.1138
0～2	0.7408	2～4	0.6023		
0～3	0.8665	3～4	0.2761		
基準地点 ～ 目的地	$e^{-\lambda l_{0i}}$	目的地～ 基準地点	$e^{-\lambda L_{i4}}$	A_β	
0～1	0.5793	1～4	0.6787	1.2270	
0～2	0.3846	2～4	0.7185		
0～3	0.8390	3～4	0.6645		

所要時間が異なる。そこで、同一方向に巡回している現状の巡回バスを右回りとする、逆方向に回る左回りの巡回バスを導入することによって回遊性の向上が期待できる。奇数便を右回り、偶数便を左回りのように双方に回る巡回バスを交互に同経路で運行することにより、利用者の目的地間の移動にかかる所要時間が向きによって異ならず、少ない所要時間で移動できることから、アクセシビリティの向上ができる。双方に移動できる巡回バスで回遊性がない場合のネットワークを図-8、このネットワークを対象に算出したアクセシビリティを表-4に示す。また、双方に移動できる巡回バスで回遊性が伴った場合でのネットワークを図-9、このネットワークを対象に算出したアクセシビリティを表-5に示す。

比較のため、現状の巡回バスで回遊性がない場合のネットワークを図-10、このネットワークを対象

に算出したアクセシビリティを表-6に示す。また、回遊性が伴った場合でのネットワークを図-11、このネットワークを対象に算出したアクセシビリティを表-7に示す。

(5) 考察

表-1～3より、回遊性が高まると、アクセシビリティが高くなることがわかる。また、回遊性がない場合と比べ、回遊性が備わった場合でのアクセシビリティは大きく向上していることから、回遊性の確保が公共交通の利便性に大きく貢献していることがわかる。

図-5に示すネットワークを対象とした計算では、向きによる距離の違いがないことから、 A_α と A_β は同じ値になった。一方、図-6に示すネットワークでは目的地1と2の所要時間が向きによって違うため、 A_α と A_β の値が異なっていることがわかる。表-2より、次式が成立している。

$$\begin{aligned}
 e^{-\lambda L_{01}} &< e^{-\lambda L_{14}} \\
 e^{-\lambda l_{14}} &= e^{-\lambda l_{01}}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

つまり、直接もしくは複数の目的地を回遊して目的地1に行き、その後に直接基準地点に帰るより、直接目的地1に行き、複数の目的地を回遊した後もしくは直接基準地点に帰る方がアクセスしやすいことがわかる。これは目的地2から1へ行く場合と比べて1から2へ行く場合の所要時間が短いことに起因する。基準地点と目的地2の間も同様の結果が得られている。

表-4, 5より逆向きに回る巡回バスを導入することにより、導入前と比較し、アクセシビリティが大きく向上していることがわかる。これは、地点間を少ない所要時間で双方に移動できることから、アクセシビリティの値が高くなっている。

5. おわりに

本研究では、既存のアクセシビリティ指標である累積機会に基づく指標を改良し、ネットワーク理論の情報中心性の計算手法を適用することで回遊性を考慮したアクセシビリティ指標を開発した。その上で、向きによる距離の違いを反映するために、ネットワークを一括して計算するのではなく、部分グラフに分割し、指標を計算する方法を取ることによって、実質的に向きによる距離の違いを反映した。具体的な計算方法として、距離をネットワーク全体に

与えるのではなく、基準地点から目的地、目的地から基準地点の二つの部分グラフに分割してアクセシビリティを算出し、統合することにより基準地点のアクセシビリティを算出した。

その指標を鳥取県鳥取市において運行している路線バス、巡回バスを用いた観光地の回遊性を取りあげて、アクセシビリティの算出を試み、回遊性が備わっていない場合に比べ、回遊性が備わっている場合でのアクセシビリティを定量的に評価した。本研究の計算結果より、回遊性が高まると、アクセシビリティが高く評価されていることがわかり、また、回遊性が備わっていない場合と比べ、回遊性が備わった場合でのアクセシビリティは大きく向上していることから、回遊性の確保が公共交通の利便性に大きく貢献していることがわかった。

本研究の実証分析の例では基準地点に加え、三か所の目的地を例に計算し、その上で、一つのリンクが向きによって距離が違ふことをダミーのノードを加えることにより、向きによる距離の違いを反映した。しかし、一般的にダミーのノードを加えることで向きによる距離の違いが反映できるか、また、できる場合であってもどのようにダミーを付加すればよいのかについては必ずしも明確でない。このため、今後の課題としたい。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 17H03325 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ものである。計算については、信沢健一氏の助力を得た（鳥取大学工学部社会開発システム工学科）。付して謝辞と致します。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) Hansen, W. G.: How accessibility shapes land use, *Journal of the American Planning Institute*, Vol. 25, pp. 73-76, 1959.
- 5) Ingram, D. R.: The concept of accessibility: a search for an operational form, *Regional Studies*, Vol. 5, pp. 101-107, 1971.
- 6) 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.
- 7) Wilson, A. G.: A family of spatial interaction models, and associated developments, *Environmental and Planning A*, Vol. 3, pp. 1-32, 1971.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Hägerstrand, T.: What about people in regional science?, *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 24, pp. 7-21, 1970.
- 11) Lenntorp, B.: Paths in time-space environments: a time geographic study of movement possibilities of individuals, In: *Lund Studies in Geography*, Vol. 4, Sweden: C. W. K. Gleerup, 1976.
- 12) Department for Transport [2004], "Technical Guidance On Accessibility Planning In Local Transport Plans".
- 13) Jones, P. and Sugden, R.: Evaluating choice, *International Review of Law and Economics*, Vol. 2, pp. 47-65, 1982.
- 14) Pattanaik, P. K. and Xu, Y.: On ranking opportunity sets in terms of freedom of choice, *Rècherches Economiques de Louvain*, Vol. 56, No. 3-4, pp. 383-390, 1990.
- 15) Pattanaik, P. K. and Xu, Y.: On preference and freedom, *Theory and Decision*, Vol. 44, No. 2, pp. 173-198, 1998.
- 16) Pattanaik, P. K. and Xu, Y.: On diversity and freedom of choice, *Mathematical Social Sciences*, Vol. 40, No. 2, pp. 123-130, 2000.
- 17) Carter, I.: *A Measure of Freedom*, Oxford University Press, Oxford, 1999.
- 18) Sugden, R.: Opportunity as a space for individuality: its value and the impossibility of measuring it, *Ethics*, Vol. 113, No. 4, pp. 783-809, 2003.
- 19) van Hees, M.: Freedom of choice and diversity of options: some difficulties, *Social Choice and Welfare*, Vol. 22, No. 1, pp. 253-266, 2004.
- 20) Rosenbaum, E. F.: On measuring freedom, *Journal of Theoretical Politics*, Vol. 12, No. 2, pp. 205-277, 2000.
- 21) Bervoets, S. and Gravel, N.: Appraising diversity with an ordinal notion of similarity: an axiomatic approach, *Mathematical Social Sciences*, Vol. 53, No. 3, pp. 259-273, 2007.
- 22) Puppe, C.: An axiomatic approach to "preference for freedom of choice", *Journal of Economic Theory*, Vol. 68, No. 1, pp. 174-199, 1996.
- 23) 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.
- 24) 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 D, Vol. 65, No. 4, pp. 534-543, 2009.
- 25) 谷本圭志, 喜多秀行: 公共交通計画の計画情報とサービス格差に関する考察, *IATSS Review*, Vol. 32, No. 3, pp. 199-205, 2007.

- 26) 例えば, Sen, A. K.: *Inequality Reexamined*, 析, 共立出版, 2011.
- 27) Oxford, Clarendon Press, 1992. (池本幸生, 野上裕生, 佐藤仁訳: 不平等の再検討: 潜在能力と自由, 岩波書店, 1999.) (2017. 4. 28 受付)
- 28) 鈴木努, R で学ぶデータサイエンス ネットワーク分

ACCESSIBILITY MEASURE FOR DESTINATION HOPPING TRIPS

Keishi TANIMOTO, Satoshi TSUCHIYA and Madoka CHOSOKABE

Accessibility measure has been used for evaluating the convenience of public transportation service. Among several measures, cumulative opportunities measure is one of well-known and widely-used measures by which reachability to destination from specific point can be evaluated in terms of the number of destinations and the distance to them. However it cannot measure for the case where an individual makes hopping trip such as going shopping after visiting hospital. In this study, cumulative opportunity measure is extended based on the network theory so as to take into account destination hopping trips.