

効用理論に基づく生活パターン選択行動を考慮したアクセシビリティ指標の開発

An accessibility index that accounts for activity pattern choice behavior based on utility theory

藤井 聡*, 長沢圭介**, 北村隆一***

Satoshi Fujii, Keisuke Nagasawa, Ryuichi Kitamura

1.はじめに

従来より、交通整備状況と都市施設整備状況の両者を考慮した地域評価指標として、アクセシビリティ指標が提案されてきた。アクセシビリティ指標が提案された当初では、集計的な考え方に基づいて、重力測度、累積機会測度、トポロジカル測度等が開発された¹⁾。近年では、個人の交通行動を考慮し、非集計的な効用理論に基づいたものも提案されている。一般に、それら効用理論に基づいたアクセシビリティ指標は、目的地選択や機関選択に離散選択モデルを適用して、期待効用を求めることで定式化される²⁾。この考えを発展させ、トリップチェーンを考慮したアクセシビリティ指標も提案されている³⁾。このようなアクセシビリティ指標によって、個人が交通行動を行う際に得る便益を考慮した地域評価が可能となった。

しかし、近年注目を集めるようになったフレックスタイム制、週休二日制等の既存の交通網の有効利用を目指した交通政策は、個人の交通行動ばかりでなく、生活行動にも影響を与える。したがって、従来の交通行動のみを考慮したアクセシビリティ指標では、これらの政策を十分に評価することはできない⁴⁾。そこで、本研究では、生活パターン選択問題に効用理論を適用する⁵⁾ことで、個人の生活行動を考慮したアクセシビリティ指標を提案する。本稿では、はじめに効用理論に基づいたアクセシビリティを理論的に構築し、次に、アクセシビリティ指標算定のはじめの試みとして、京阪神パーソントリップデータ(以下、PTデータ)を用い、都市人口に大きな比重を占める就業者を対象としたアクセシビリティ指標を、勤務地-居住地ペアごとに算定した結果を示す。

2. 生活行動を考慮したアクセシビリティ指標の定式化

本研究では、効用理論に基づいて個人の生活パターン選択行動をモデル化することで、アクセシビリティ指標を定式化する。本章では、はじめに生活パターンを定量的に表現する方法について述べ、次に生活行動を効用理論に基づいてモデル化する。そして、最後に、生活行

動モデルに基づいて得られる期待効用を、アクセシビリティ指標として定式化する。

(1)生活パターン選択肢の定量化

個人 n の生活パターンは、当日に実行される移動を含む複数の活動の連鎖で表現されるものと考ええる。また、個人の活動には、自らの意思では活動要素を決定できない仕事等の固定活動と、意思決定可能な自由活動の2種類があるものと考ええる。そして、個人 n の活動 l ($l=1, 2, \dots, L^n$) は活動内容 m_l^n 、活動場所 z_l^n (活動内容 m_l^n が移動の場合は定義しない)、開始時刻 t_l^n 、実行時間 d_l^n 、自由活動/固定活動を定義するダミー変数 c_l^n ($=1$: 固定活動, $=0$: 自由活動) で特定化されるものと考え、以下の行列 S^n で個人 n の生活パターンを定量的に表現する。

$$S^n = \begin{pmatrix} m_1^n & m_2^n & \dots & m_{L^n}^n \\ z_1^n & z_2^n & \dots & z_{L^n}^n \\ t_1^n & t_2^n & \dots & t_{L^n}^n \\ d_1^n & d_2^n & \dots & d_{L^n}^n \\ c_1^n & c_2^n & \dots & c_{L^n}^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{m}^n \\ \mathbf{z}^n \\ \mathbf{t}^n \\ \mathbf{d}^n \\ \mathbf{c}^n \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{m}^n, \mathbf{z}^n, \mathbf{t}^n, \mathbf{d}^n, \mathbf{c}^n$ は、それぞれ活動 l から活動 L^n までの内容、場所、開始時刻、実行時間、自由活動/固定活動を表すベクトルである。

(2)効用理論に基づく生活行動モデル

個人は、時間的・空間的制約条件の中で生活行動を行っているものと考えられる。本研究では、その制約条件として、交通ネットワーク属性、固定活動のスケジュールを考える。

交通ネットワーク属性が与件である場合、活動内容が移動の場合の活動時間は、その前後の活動場所とネットワーク属性から移動時間として外生的に求められる。また、固定活動のスケジュールが存在する場合、 $c_l^n=1$ となる活動 l についてのベクトル $\mathbf{m}^n, \mathbf{z}^n, \mathbf{t}^n, \mathbf{d}^n, \mathbf{c}^n$ の要素(以下、これらで構成される行列を、 FS_n と表記する)が決定されている。さらに、活動 l の活動開始時刻が活動 $l-1$ の終了時刻であり、かつ、 $t_l^n = t_{l-1}^n + d_{l-1}^n$ なる関係があることを考慮すると、 $\mathbf{d}^n$ と最初の活動の開始時刻 t_1^n だけを定義すると $\mathbf{t}^n$ は定義されることとなる。

したがって、生活パターンを決定するために、個人の意思決定を必要とするものは、自由活動数(以下、 NF^n と表記する)と $c_l^n=0$ となる移動ではない活動 l についての $\mathbf{m}^n, \mathbf{z}^n, \mathbf{d}^n$ の要素である。

キーワード、アクティビティ分析、交通行動分析、目的地選択

* 正員,工修,京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

** 正員,工修,大阪ガス
(〒541 大阪府中央区平野町 4-1-2)

*** 正員,Ph.D.,京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

ここで、本研究では、個人は、時間的・空間的制約条件の中で、活動場所・活動内容の連鎖パターン⁹⁾の離散選択(どこで何を行うか?)と、活動場所と活動内容の連鎖パターンを与件とした場合の活動時間の決定(ある活動を実行するとしたら、その活動にどれだけの時間を費やすか?)を行っているものとする。すなわち、個人は複数の活動場所・内容連鎖パターンを想定し、それぞれのパターン毎に、それらに含まれる複数の活動に利用可能な時間を配分する。そして、配分された活動実行時間を要因として、活動場所・内容連鎖パターンの選択を行っているものとする。

この仮定に基づくと、行列 S^* の要素の中で、個人の意思決定を必要とする要素は、以下の手順で決定される。なお、以下では個人が想定する複数の活動連鎖パターンについて、引数 i を用いることとする。

Step1) $c_{il}^n=0$ となる移動でない活動 l についての m_i^n, z_i^n と自由活動数 NF_i^n の組み合わせ(以下、この組み合わせを活動連鎖パターンと呼ぶ)を複数想定する。ここで、個人 n が想定する複数の活動連鎖パターンの集合を TC_n と表記する。

Step2) 集合 TC_n に含まれる全ての活動連鎖パターンについて、 $c_{il}^n=0$ となる移動でない活動 l の活動時間 d_{il}^n を、効用を最大化することで決定する。この段階で、集合 TC_n に含まれる全ての活動連鎖パターンについて、行列 S_i^n が特定される。

Step3) 集合 TC_n の中から、最大の効用を与える活動連鎖パターンを選択する。

以下、上述の生活行動の意思決定に関する仮定に基づいた行動モデルについて述べる。

(3) 活動連鎖パターン集合 TC_n のモデル化(Step1)

集合 TC_n に含まれる各活動連鎖パターンは、以下の条件を満たしているものとする。

制約 1) 個人 n が実行する必要のある全ての固定活動が含まれる

制約 2) 個人 n に選択肢として認識されている

本研究では、以上の制約を考慮し、以下の手順で個人の活動連鎖パターン集合 TC_n をモデル化する。

まず、固定活動スケジュール FS_n と交通ネットワークに基づいて形成される時空間プリズム⁹⁾を考慮して、制約 1) で特定化される集合 C_n を特定化する。その際、集合 C_n を有限集合とするためには、自由活動数 NF_i^n に制約条件を設ける等が必要がある。

次に、制約 2) については、個人は全ての活動内容の連鎖パターンを認識していると考え、ある活動連鎖パターンを認識する/しないは、その活動連鎖パターンでの自由活動の実行場所を、その個人が「自由活動を実行する場所」として認識しているか否かのみに依存する。

一方、ある場所が自由活動の実行場所として認識されるか否かを直接観測することはできない。そこで、これを確率事象と捉え⁷⁾、プロビットモデルを適用し、

$$P_{rec}^n(k) = \Phi(BW_{nk} - \theta) \quad (2)$$

$P_{rec}^n(k)$: 個人 n が場所 k を自由活動場所として認識する確率

B : パラメータベクトル

θ : しきい値

W_{nk} : 外生変数ベクトル

$\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数

と定式化する。そして、活動連鎖パターン i が個人 n の集合 C_n に含まれる確率 $P_{in}^n(i)$ は、

$$P_{in}^n(i) = \prod_{k|k \in SZ_n} P_{rec}^n(k) \quad (3)$$

SZ_n : 個人 n の活動連鎖パターン i の自由活動連鎖パターンの中に含まれる自由活動場所集合

さらに、個人 n について選択肢集合 D_j^n が形成される確率、すなわち、個人 n の選択肢集合 TC_n に D_j^n が一致する確率 $P(TC_n = D_j^n)$ は、

$$P(TC_n = D_j^n) = \prod_{i|D_j^n} P_{IN}^n(i) \prod_{i \notin D_j^n} \{1 - P_{IN}^n(i)\} \quad (4)$$

なお、式(4)で定義される $P(TC_n = D_j^n)$ は、集合 TC_n の空集合を除く全ての部分集合について定義可能である。

(4) 想定する活動連鎖パターン毎の最適活動時間配分に基づく生活パターンの特定のモデル化(Step2)

個人は、上述の Step1 を経て、活動連鎖パターン集合 TC_n を特定化しているものとする。この段階で、集合 TC_n に含まれる全ての活動連鎖パターンについて、未定の要素は、自由活動の活動時間($c_{il}^n=0$ となる移動でない活動 l の活動時間 d_{il}^n)である。本研究では、個人はそれぞれの活動連鎖パターンの自由活動時間を、効用最大化原理に基づいて配分している、すなわち、「単位財貨あたり(1ドルあたり)の限界効用均等の法則⁹⁾」に基づいて活動時間を決定している⁹⁾ものとする。したがって、個人は次節で述べる離散選択行動を行う際、集合 TC_n に含まれる全ての活動連鎖パターンについて、 S_i^n を特定しているものとする。すなわち、この段階以降では、活動連鎖パターン集合 TC_n を生活パターン集合と解釈することができる。

(5) 生活パターンの離散選択行動のモデル化(Step3)

個人は、Step1, 2 を経て特定した生活パターン集合 TC_n から、最大の効用を与える生活パターン i を選択するものとする。

ここで、個人 n が生活パターン i を選択した場合に得る効用(以下、生活効用)を次式のように定式化する。

$$U_i^n = V_i^n + \varepsilon_i^n \quad (5)$$

U_i^n : 個人 n の生活パターン i の生活効用

V_i^n : 個人 n の生活パターン i の確定効用
 ε_i^n : ガンベル分布に従う誤差項
 なお、 V_i^n を行列 S_i^n の関数として定義する。

$$V_i^n = f(S_i^n) \quad (6)$$

ここで、本研究では、式(4)で定式化した様に選択肢集合に不確実性を考慮しており、個人 n が選択肢 i を選択する確率 P_i^n は以下となる。

$$P_i^n = \sum_{D_j^n \in C_n} \left\{ P(TC_n = D_j^n) \frac{\exp(V_i^n)}{\sum_{k \in D_j^n} \exp(V_k^n)} \right\} \quad (7)$$

この式(7)を用いることで、生活行動を考慮した、交通需要予測が可能となる。

そして、その際の個人 n の期待効用(以下、生活期待効用)は、選択肢集合の不確実性を考慮すると¹⁰⁾、以下の式で定式化される。

$$A^n = \prod_{D_j^n \in C_n} \left[P(TC_n = D_j^n) \sum_{i \in D_j^n} \exp(V_i^n) \right] \quad (8)$$

A^n : 個人 n の生活期待効用

この式に、式(2)(3)(4)(6)を代入すると、

$$A^n = \prod_{D_j^n \in C_n} \left[\prod_{i \in D_j^n} \prod_{k \in S_{Z_n}} \Phi(BW_{nk} - \theta) \right] \left[\prod_{i \in D_j^n} \left\{ 1 - \prod_{k \in S_{Z_n}} \Phi(BW_{nk} - \theta) \right\} \sum_{i \in D_j^n} \exp\{f(S_i^n)\} \right] \quad (9)$$

この式より、個人間の A^n の相違は、集合 C_n 、変数ベクトル W_{nk} の個人間の相違で生じることとなる。ここで、集合 C_n の個人間の相違については、本章(3)で述べた制約1)が個人によって異なるために生じる。そして、個人間の制約1)の相違は、固定活動スケジュール FS_n の個人間の相違で生じる。

(6) 生活行動を考慮したアクセシビリティの定式化

本研究では、同一の生活期待効用 A^n を共有する個人集合に対して、アクセシビリティ指標を定義することとする。上述の様に、 A^n は、 FS_n と W_{nk} の個人間の相違で生じる。換言すれば、 FS_n と W_{nk} が同一の複数の個人は、 A^n を共有する。すなわち、本研究では、アクセシビリティ指標を以下のように定義する。

$$Acce(FS_n, W_{nk}) = A^n(FS_n, W_{nk}) \quad (10)$$

$A^n(FS_n, W_{nk})$: FS_n と W_{nk} を共有する個人集合に属する任意の個人の生活期待効用

$Acce(FS_n, W_{nk})$: FS_n と W_{nk} を共有する個人集合にとってのアクセシビリティ

3. アクセシビリティ指標の算定

本研究では、京阪神地域の PT データを用いて、選択肢集合が形成される確率 $P(TC_n = D_j^n)$ に含まれるパラメータ B 、 θ を推定し、生活効用関数 $f(\cdot)$ を特定した。そして、京阪神地域の土地利用データ、交通ネットワークデータを用いて式(9)(10)に基づいてアクセシビリティ指標を算定した。その際、対象個人を都市人口の大きな割合を占める就業者のみに限定した。

(1) 選択肢集合形成モデル

式(2)の W_{nk} として、移動抵抗を表す指標として「地域 k に訪れる直前に存在していた場所 k から地域 k に移動する時間と、地域 k から直接帰宅する際の移動時間の差」を、目的地の魅力度を表す指標として「地域 k のサービス事業所数」を考えた。なお、後者は全ての個人について共通であるが、前者は固定活動スケジュール FS_n に依存する。したがって、今回の数値計算では式(10)は、

$$Acce(FS_n) = A^n(FS_n) \quad (11)$$

となる。

本研究では、パラメータ B 、 θ を推定するために、PT データから自由活動のトリップデータを抽出し、そのトリップ頻度に関する上記の2つの指標を要因とするクロス集計表を作成した。そして、クロス集計表の各セルを観測ケースとして、頻度0のセルは選択肢集合に含まれない、それ以外のセルは含まれると仮定して、プロビットモデルの枠組みでパラメータ B 、 θ を推定した。なお、推定時の適合度については、決定係数が0.67と良好な結果となった。

(2) 生活効用関数の特定化

PT データからは、直接的には生活パターン選択行動の選択結果しか得られない。本研究では、以下の手順にしたがって、代替生活パターンを生成し、推定計算を行った。

- 睡眠、仕事を固定活動として、それ以外を自由活動として、個人の固定活動スケジュール FS_n を特定する。
 なお、睡眠データについては、別途収集したダイアリーデータ³⁾を用いて、睡眠時間を内生変数として構築した重回帰式に基づいて生成した。
- FS_n と交通ネットワークに基づいて形成される時空間プリズムを考慮して、集合 C_n を特定する。その際、自由活動の連鎖パターンとしては、「在宅→仕事→在宅」「在宅→仕事→在宅→宅外での自由活動→在宅」「在宅→仕事→在宅→宅外での自由活動→在宅」の3パターン(これら3つで全体の89.2%を占めている)に限定した。以下、この3つの活動の連鎖パターンをそれぞれ、連鎖パターン1, 2, 3と呼ぶ。また、個人の生活パターン選択肢集合 TC_n には、必ず連鎖パターン1, 2, 3が含まれるものと仮定する。
- 連鎖パターン2, 3での宅外での自由活動の実行場

所について、対象とする全ての地域の確率 $P_{rec}^n(k)$ を式(2)に基づいて算定する。なお、対象地域としては京阪神地域の市区町村174地域とした。また、 $P_{rec}^n(k)$ の小数点以下2桁目を四捨五入する。これによって、 $P_{rec}^n(k)$ が0.05以下のkについては、0.0と処理でき、計算量が削減できる。

- 4) 活動連鎖パターン2, 3のそれぞれについて $P_{rec}^n(k)$ が0.0でないkをランダムに一つ抽出する。
- 5) 移動時間を算定し、 FS_n に基づいて、自由活動に費やせる時間(以下、余暇時間)を求める。
- 6) PTデータで得られる活動時間分布に基づいて、余暇時間を在宅と自由活動に配分する。

以上の手順で、連鎖パターン1, 2, 3のそれぞれについて一つずつ選択肢を生成し、推定計算のための選択肢集合を特定する。そして、ロジットモデルに基づいて、効用関数を推定する。その際、特定した選択肢集合が形成される確率を、式(2), (3), (4)から求め、これを補正項として確定効用に加えることで、不確実性を考慮したパラメータ推定を行った¹¹⁾。

効用関数の要因としては、時間利用効用を定式化する際、一般に要因として取り入れられる活動時間¹²⁾に加えて、自由活動場所でのサービス事業所数も導入した。効用関数を特定化する際には、事前にこれらの説明変数を離散化してダミー変数を作成し、ダミー変数のみで推定計算を行った。そして、それらダミー変数のパラメータ推定値に基づいて各要因の生活効用への効果の非線型性を考慮した効用関数を定式化した。なお、推定時の適合度については、決定係数が0.44と、良好なものとなった¹²⁾。

(3) アクセシビリティ指標による地域評価

式(9)(10)に基づいて、大阪市、京都市に居住し、京都市、枚方市、藤井寺市、大阪市のそれぞれに勤務する就業者にとってのアクセシビリティを算定した結果を図-1に示す。なお、算定する際、就業者の勤務時間帯を9時から17時とした。なお、本研究では、アクセシビリティ指標を期待効用から定式化しているため、その値の絶対は意味を持たない。また、各個人は効用関数を共有するものと仮定しているため、期待効用の個人間での比較が可能である。

図-1より、大阪市居住者、京都市居住者のいずれにとっても、勤務地が居住地と一致している場合にアクセシビリティが最も高く、遠方の勤務地になるほど低くなる傾向が読み取れる。これは、通勤時間が短いと多様な生活パターンを選択できるためである。また、全般的に京都市居住者よりも、大阪市居住者の方が高いアクセシビリティが得られることがわかる。これは、商業施設が十分存在する

都心に勤務地を持つ場合には自由活動で得られる効用が大きいためである。

4. おわりに

本研究では、生活行動を効用理論でモデル化してアクセシビリティ指標を定

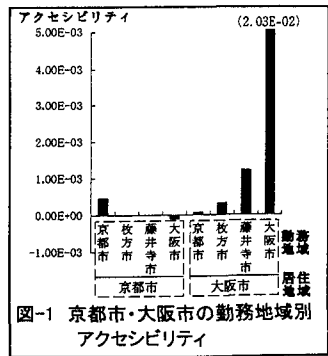


図-1 京都市・大阪市の勤務地域別アクセシビリティ

式化した。そして、PTデータを用いて選択肢集合の不確実性を考慮したパラメータ推定を行い、アクセシビリティを算定した。その結果、勤務地、居住地がアクセシビリティに影響を与えていることが示された。今後、1) 複数の交通政策を考え、それらが実施された場合のアクセシビリティ変化量を求めることで、本研究で提案したアクセシビリティ指標の政策評価の能力についての検討を行う、2) 生活機関連選、経路選択等を考慮することで通勤時の混雑の程度等をアクセシビリティに反映させる、3) 生活行動をモデル化する際、年齢、性別等の個人属性を要因として考え、性別・年齢別にアクセシビリティを算定する、等が課題として残されている。

参考文献

- 1) Pirie, G.: Measureing accessibility - a review and proposal, *Environment and Planning A*, 11, pp. 299-312, 1979.
- 2) Richardson, A.J. and Young, W.: A measure of linked-trip accessibility, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 7, pp. 73-82, 1982.
- 3) 石上肇, 藤井聡, 北村隆一: 個人の交通行動を考慮したアクセシビリティに基づいた都市モデルの構築, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 490-491, 1995.
- 4) 北村隆一: 時間利用データを用いた交通行動分析一次世代の交通計画に向けて, 交通工学, Vol. 29, No.1, pp. 11-13, 1994.
- 5) 藤井聡, 瀬戸公平, 北村隆一: 交通政策の質的評価を目指した生活行動モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, No.18(1), pp. 301-304, 1995.
- 6) Hagerstrand, T.: What about people in regional science?, *Papers of the Regional Science Association*, 24, pp. 7-21, 1970..
- 7) 森川高行, 竹内博史, 加古裕二郎: 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.117-124, 1991.
- 8) Samuelson, P.A.著, 都留重人訳: サムエルソン経済学(上), 岩波書店, pp. 716-719, 1967.
- 9) Kitamura, R, Supernak, J.: Temporal utility property of activities and travel, uncertainty and decision making, *Transportation Research B*, Vol. 26B, No. 1, pp. 61-76, 1992.
- 10) 原田哲郎, 多々納裕一, 小林潔司, 喜多秀行: 選択の多様性を考慮した地方バス路線の整備便益評価モデル, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 892-893, 1994.
- 11) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, 1985.
- 12) 長沢圭介, 藤井聡, 北村隆一: 個人の選択肢集合の不確実性を考慮した生活パターン選択モデルの構築, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第4部, 印刷中, 1996.