時間-空間系におけるプリズムモデルの数学的定式化について

岐阜大学　正　員　森杉寿芳
岐阜大学　正　員　宮城俊彦
岐阜大学　学生員○大野栄治

1. はじめに

時間-空間系における交通行動研究には現在、大きく分けて2つのアプローチがあると思われる。その1つは、人間活動パターンの分析を中心に考え、交通行動は活動パターンに付随して生じるものであるとするアプローチで、一般に人間活動分析とよばれている。人間活動分析にも様々なアプローチがあるが、その中心課題は活動に費やす時間と空間をどのように取り扱うかという点であり、Lund大学のプリズムモデルがよく知られている[1]。しかし、プリズムモデルは人間行動の空間的、時間的制約領域を図的に説明するにとどまり、その数理的性質、および交通モデルとの関連はほとんど検討されていない。

他の1つは、活動への時間配分を考慮した効用モデルによるアプローチである。このモデルでは、活動に費やす時間は明確に認識されているが、活動の空間的な分布についての考察が欠けている。ただし、交通行動については、空間的要素も考慮した交通選択モデルが効用モデルによって誘導されることがすでに報告されている[2]。

本研究では、両者の特徴を考慮した交通選択モデルを検討しようとするもので、まず、プリズムモデルによって交通選択の可能領域を定め、その可能領域の中での交通選択確率を決定するモデルを提案している。

2. 効用理論による交通選択モデル

伝統的な効用理論においては、個人の効用関数は獲得される財の量のみの関数であり、選択行動は所得制約下での効用最大化行動として定式化されていた。それに対し、ある財の獲得に費やす時間も個人の効用に影響するものと仮定し、所得制約と利用時間制約のもとでの効用最大化行動を定式化したのがDeSerpa[3]とBruzelius[4]である。また、宮城はDeSerpa-Bruzeliusモデルを基礎にランダム効用理論によるJoin-Logitモデルあるいは Structured-Logitモデル[5]とよばれるモデルと等価なモデルを誘導している[2]。

$$P(k|ij) = \mathrm{Prob}\left[\tilde{U}(k|ij) \geq \tilde{U}(k'|ij)\right]$$
$$= \frac{\exp\cdot\bar{U}(k|ij)}{\sum_{k}\exp\cdot\bar{U}(k|ij)} \qquad (1)$$

$$P(j|i) = \mathrm{Prob}\left[a_{jo} + \max_{k}\tilde{U}(k|ij) \geq a_{j'o} + \max_{k}\tilde{U}(k|ij)\right]$$
$$= \frac{\exp\left\{a_{jo} + \ln\sum_{k}\exp\cdot\bar{U}(k|ij)\right\}}{\sum_{j\in J}\exp\left\{a_{jo} + \ln\sum_{k}\exp\cdot\bar{U}(k|ij)\right\}} \qquad (2)$$

$$P(i) = \mathrm{Prob}\left[a_i + \max_{j\in J}\tilde{U}(j|i) \geq a_{i'} + \max_{j\in J}\tilde{U}(j|i)\right]$$
$$= \frac{\exp\left\{a_i + \ln\sum_{j\in J}\exp\cdot\bar{U}(j|i)\right\}}{\sum_{i}\exp\left\{a_i + \ln\sum_{j\in J}\exp\cdot\bar{U}(j|i)\right\}} \qquad (3)$$

ただし、$\bar{U}(k|ij) = GC_{jk} + a_{ok}$ (4)

ここに、

$P(k|ij)$：トリップ目的i、目的地jが与えられた場合のモードkを選択する確率
$P(j|i)$：トリップ目的iが与えられた場合の目的地jを選択する確率
$P(i)$：トリップ目的iを選択する確率
GC_{jk}：目的地jへのモードkの一般化費用
a_{ok}：モード特性化定数
a_{jo}：目的地特性化定数
a_i：トリップ目的特性化定数

ところで、上述のモデルにおいて、目的地jの代替案集合Jをいかに定めるかは、目的地選択確率を計算する際に非常に重要となる。なぜならば、選択確率モデルではJに含まれるすべての要素に

対し必ず確率を割りふるからである。

3．プリズムモデルによる交通選択領域の決定

今、個人が活動iを選択する場合を考える。また、その人の1日の時間スケジュールより、その活動iに費やす時間は移動時間を含めてτ_iであるものとする。このとき、目的地が未定である場合と決定している場合とでは、その人の活動しうる領域は異なってくる。これを以下に示す。

(a) 目的地が未定である場合

個人の行動範囲を図1のように3次元座標系に示すと、プリズムができる。ここで、目的地が未定である場合、個人のプリズムは図中のプリズム1となる。また、個人の選択可能領域は図中の面積Jとなり、次式で与えられる。

$$J = (\pi/4)\cdot\{V(\tau_i - A_i)\}^2 \qquad (5)$$

ここに、V：選択可能モードの最高速度

A_i：活動iに消費する時間

(b) 目的地が決定している場合

この場合、個人のプリズムは図中のプリズム2となる。また、個人の選択可能領域は図中の面積J^*となり、次式で与えられる。

$$J^* = (\pi/8)\cdot V^2\cdot(\tau_i - A_i)\cdot\left\{(\tau_i - A_i)^2/4 - \ell^2/V^2\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (6)$$

ここに、ℓ：出発地と目的地間の距離

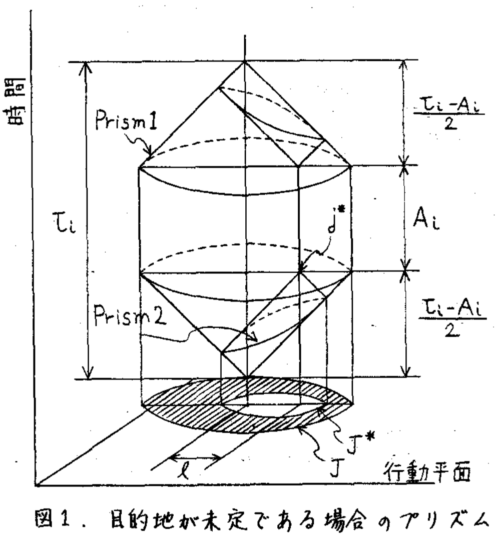

図1．目的地が未定である場合のプリズム1と、目的地が決定している場合のプリズム2

図1においては、起点から出発した人はτ_i時間後にまたもとの場所にもどってくる場合を図示しているが、式(5)(6)は、そうでない場合にも利用可能であることに注意する。

4．交通選択領域を考慮した選択確率の計算法

まず、目的地が未定である場合、目的地選択確率は式(5)を考慮すると次式のように変更される。

$$P(j|i) = \begin{cases} 0 & , j \notin J \\ \text{式}(2) & , j \in J \end{cases} \qquad (7)$$

式(5)によって選択集合Jが求められるが、しかし、目的地が決定されると個人の選択可能領域はさらに限定される。したがって、次のように再度選択確率を計算し直す必要がある。すなわち、

$$\max_{j\in J} P(j|i) = P(j^*|i)$$

となるとき、式(6)によってj^*に対応する領域J^*を求める。これを考慮すると、目的地選択確率はさらに次式のように変更される。

$$P(j|i) = \begin{cases} 0 & , j \notin J^* \\ \text{式}(2) & , j \in J^* \end{cases} \qquad (8)$$

5．まとめ

本研究では、交通選択確率公式における目的地選択集合の領域をプリズムモデルによって決定する考え方を提案した。この場合、領域JあるいはJ^*は連続変数で与えられる。しかし、実際にはJ・J^*は離散型集合であり、この点を実際計算でどのように扱うかが今後の課題である。

〈参考文献〉

(1) Hägerstrand, T. (1970). "What About People in Regional Science?", Papers of the Regional Science Association, 24. 7-21.

(2) 宮城俊彦 (1983).「時間-空間系における交通行動分析(その1)」, 第5回土木計画学研究発表会.

(3) DeSerpa, A.C. (1971). "A Theory of the Economics of Time", The Economic Journal, 8. 828-45.

(4) Bruzelius, N. (1979). The Value of Travel Time. London: Groom Helm.

(5) Domencich & McFadden. (1975). Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis, North-Holland, Amsterdam.