OR 事典 Wiki

競合着地モデル

本間　裕大

“競合着地モデル”とは，1983年にFotheringhamによって提案されたモデルであり，発生制約型の空間相互作用モデルの一種である．古典的な空間相互作用モデルと比較すると，当該モデルでは“目的地同士の近接性”を明示的に考慮したことが，新しい着眼点として挙げられる．上述のアイディアを導入することによって，近くに類似の目的地が多数存在すると相対的に選択されづらくなる，いわゆる“競合効果”を考慮した定式化が可能となる．また，パラメータの設定によって，目的地同士が密集することによる“集積効果”を記述するモデルへも，拡張することができる．

1.　競合着地モデルとは

“競合着地モデル”とは，1983年にFotheringhamによって提案されたモデルであり，発生制約型の空間相互作用モデルの一種である[2]．重力モデルやハフ・モデルといった古典的な空間相互作用モデル[5]と比較すると，当該モデルでは**“目的地同士の近接性”**を明示的に考慮したことが，新しい着眼点として挙げられる．上述のアイディアを導入することによって，近くに類似の目的地が多数存在すると相対的に選択されづらくなる，いわゆる“競合効果”を考慮した定式化が可能となる．また，パラメータの設定によって，目的地同士が密集することによる“集積効果”を記述するモデルへも，拡張することができる．以下では，当該モデルの概要に加えパラメータ推定法，さらには，その理論的背景について解説する．

2.　モデルの概要

都市モデルとして，I 個の出発地 $i(i=1,2,\cdots,I)$ と，J 個の目的地 $j(j=1,2,\cdots,J)$ を導入する．競合着地モデルでは，出発地 i から目的地 j への流動量 t_{ij} を推定・記述するに当り

$$t_{ij}=O_i\frac{S_j^{\alpha}A_j^{\beta}d_{ij}^{-\gamma}}{\sum_{j\in J}S_j^{\alpha}A_j^{\beta}d_{ij}^{-\gamma}} \tag{1}$$

$$A_j=\sum_{k\neq j}\frac{S_k}{d_{jk}^{\sigma}} \tag{2}$$

なる定式化で与えられる．ここで，O_i は出発地 i からの出発人数，S_j は目的地 j の魅力度，さらに d_{ij} は $i\to j$ への距離である．また A_j は，一般に**“アクセシビリティ”**と呼ばれ，その定義から明らかなように，対象の目的地 j の近くに魅力ある目的地が多く存在するほど大きい値をとる．すなわち，目的地 j が**どれだけ密集した地域に存在しているか（他の目的地からのアクセシビリティ）**を示す指標と解釈できる．

競合着地モデルの特徴として，上述の A_j が流動量 t_{ij} と関連付けられていることが挙げられる．モデルの具体的な振る舞いは，β の正負によって場合分けされ，それぞれ以下のごとく整理される：

(i) **競合効果の再現**（$\beta\leq 0$）

t_{ij} が A_j の減少関数となるため，目的地 j の周囲に他の目的地が多いほど，流動量 t_{ij} が相対的に少なくなる．すなわち，近接する他の目的地との“競合”を再現するモデルとなる．

(ii) **集積効果の再現**（$\beta\geq 0$）

t_{ij} が A_j の増加関数となるため，目的地 j の周囲に他の目的地が多いほど，流動量 t_{ij} も相対的に増える．この場合，複数の目的地が密集することによって，より魅力が増す“集積効果”を，再現しているといえる．

当該モデルを用いた多くの実証分析では，パラメータ推定の結果 $\beta\leq 0$ となることが報告されている（モデル名称の由来は，この事実に起因する）[4]．一般に β の正負は，取り扱う空間相互作用の種類に大きく依存することが多い．

3.　パラメータの推定方法

競合着地モデルのパラメータ推定法について，説明する．まず，A_j を決定する際に用いられる σ である

ほんま　ゆうだい
首都大学東京 システムデザイン学部
〒191-0065 日野市旭が丘 6-6

が，通常は $\sigma=1$ に固定される．このとき，A_j は S_j などと同様に定数と見なすことができるため，競合着地モデルにおける種々のパラメータは，他の空間相互作用モデルとほぼ同様の手法によって推定できる．

空間相互作用モデルにおけるパラメータ推定では大きく分けて，最小二乗法もしくは最尤法が用いられることが多い．$i \to j$ における空間相互作用の実測値を T_{ij} とすると，各々の目的関数は

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (T_{ij} - t_{ij})^2 \tag{3}$$

あるいは

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} T_{ij} \ln t_{ij} \tag{4}$$

である[6]．これらは非線形の最適化問題であるので，例えば準ニュートン法などを用いて (α, β, γ) を求めることになる．

4．離散選択モデルからの解釈

1990年代以降，空間相互作用モデルと離散選択モデルの理論的関係に注目した研究が盛んに行われている．ここでは，競合着地モデルと離散選択モデルの等価性に着目することによって，その理論的背景について考察する[3]．

ある個人 i が，目的地の集合 N のなかから，ある目的地 j を選択する状況を考える．ただし，個人 i が目的地 j を選択したときの効用 U_{ij} を

$$U_{ij} = V_{ij} + \epsilon \tag{5}$$

と定義する．V_{ij} は効用の確定項，また ϵ は尺度母数 $1/\lambda$ のガンベル分布に従う確率変数である．以上は，非集計ロジット・モデルにおける効用の定義であり，個人が効用を最大化するよう選択行動を行うとき，ある目的地 j^* が選択される確率 p_{ij^*} は

$$p_{ij^*} = \Pr[U_{ij^*} > U_{ij} (j \in N, j \neq j^*)] = \frac{\exp[\lambda V_{ij^*}]}{\sum_{j \in N} \exp[\lambda V_{ij}]} \tag{6}$$

で与えられることが知られている[1]．なお，(6)は

$$V_{ij} = -a \ln d_{ij} + b \ln S_j \tag{7}$$

と仮定したとき，ハフ・モデルと等価な定式化となる．

さて，我々が日常行う選択行動を振り返ると，可能な選択肢すべてを認識していることはむしろまれであり，ある限定的な N の部分集合を形成し，それらの中から選択を行うことも多い．以上を考慮した場合，p_{ij^*} は

$$p_{ij^*} = \frac{\exp[\lambda V_{ij^*}] \cdot \delta_{ij^*}}{\sum_{j \in N} \exp[\lambda V_{ij}] \cdot \delta_{ij}} \tag{8}$$

と書き直せる．ただし δ_{ij} は，目的地 j が個人 i の選択対象となっているか否かを表す0-1変数で

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & (j\text{ が選択肢に含まれているとき}) \\ 0 & (j\text{ が選択肢に含まれていないとき}) \end{cases}. \tag{9}$$

すなわち，δ_{ij} によって，分母が認識された選択肢集合についてのみ，足しあげるようにすれば良い．

このとき，新たな問題となるのは，いかに個人 i の δ_{ij} を設定するかである．残念ながら，δ_{ij} を一意に特定することは極めて難しい．そもそも本人ですら，明確に認識していない可能性が高く，また，その時々の状況によって自ずと変化するはずである．その意味において，δ_{ij} は一意に特定すべきものではなく，むしろ確率的に捉えるほうが現実的と思われる．そこで，

$$l_{ij} = [\text{目的地 } j \text{ が個人 } i \text{ の選択肢となる尤度}] \tag{10}$$

なる新たな変数を導入し，(8)の δ_{ij} を l_{ij} に置き換える．さらに V_{ij}, l_{ij} の具体的な関数として，(7)に加え

$$l_{ij} = A_j^{\beta} \tag{11}$$

を想定すると

$$p_{ij} = \frac{S_j^{\alpha} A_j^{\beta} d_{ij}^{-\gamma}}{\sum_{j \in N} S_j^{\alpha} A_j^{\beta} d_{ij}^{-\gamma}} \tag{12}$$

となり（$\gamma=\lambda a$, $\alpha=\lambda b$ と仮定．また＊は省略），競合着地モデルと等価な定式化となる．すなわち，競合着地モデルとは，**目的地の密集具合が“選択肢として認識されるか否か”に影響を与える離散選択モデル**，とも解釈できることが判明する．

参考文献

[1] 土木学会編（1996）：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会．

[2] Fotheringham, A. S. (1983) : A new set of spatialinteraction models : The theory of competing destinations, *Enviroment and planning A*, 15, pp. 15-36.

[3] Fotheringham, A. S., Brunsdon, C. and Charlton, M. (2000) : Quantitative Geography : Perspectives on Spatial Data Analysis, SAGE Publications.

[4] 石川義孝（1988）：空間的相互作用モデル―その系譜と体系―，地人書房．

[5] Roy, J. R. (2004) : Spatial Interaction Modelling : A Regional Science Context, Springer.

[6] 杉浦俊夫（2003）：地理空間分析，朝倉書店．