道路ネットワーク上における商圈確定法

北村 賢之、岡部 篤行

A Method for estimating market areas on a network

Masayuki Kitamura and Atsuyuki Okabe

Abstract: This paper formulates Huff's model on a network, and develops a method for estimating market areas. The method uses an 'exponential distance', a transformation from a network space to an 'exponential distance space'. By the transformation, the estimation of market areas becomes tractable. Computational methods are also developed.

Keywords: ハフモデル、ネットワーク距離空間、指数ネットワーク距離空間

1. はじめに

エリアマーケティングの分野において、最も基本的な分析は、需要分析、すなわちある店舗にどの程度の来客があるかを推定する分析であろう。この分析のために従来用いられてきた代表的なモデルに、ハフモデル(Huff, 1962)がある。このモデルを用いると、ある商業施設を選択する確率が一定値以上であるような圏域(いわゆる商圈)を推定することが可能になる。

これまでハフモデルは、多くの場合、ユークリッド平面上で適用されてきた。モデル適用の初期の段階では、距離を直線距離で定義するのが最も容易であったためと推察される。しかし、距離を直線距離で定義することは、都市空間内の任意の2点間を無制約に移動できることを仮定しており、都市の実態には即していない。都市内においては、自由に移動できる空間は原則的として公道上しかありえないためである。

この問題を解決するためには、公道上しか移動で

きないという制約を加える必要があるが、それは、都市の道路ネットワークを唯一の移動可能な都市空間とみなすことによって実現する。このネットワーク空間においては、任意の2点間の距離はネットワークに沿った最短距離で定義される。本論文の主旨は、このネットワーク空間上でハフモデルを適用し、商圈を確定するというものである。

道路ネットワークを利用するもう一つの理由は、数理的な理由に基づいている。ユークリッド空間においてハフモデルを適用し、商圈を求めようとする従来の方法は、商圈の境界線が解析的に求められない曲線になるため、対象区域をメッシュに細分し、商圈をメッシュ単位で求めるか、対象区域内に代表点をいくつかとり、補間することで商圈を求めるかのいずれかのアプローチを取らざるを得なかった。しかし、前者にはメッシュのサイズに起因する誤差が、後者には補間に伴う誤差が不可避に生じ、いずれにせよ数学的な意味における誤差が生じてくことは避けられなかった。しかし、ネットワーク空間上でハフモデルを適用すれば、商圈の境界は、点の集合として表され、いかなる場合においても商圈境界を(解析的な意味においても)厳密に求めることが

北村：〒113 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部
都市工学科 Department of Urban Engineering,
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo
113 Tel. 03-3812-2111 ext. 6227

可能になるのである。

本論文では、ネットワークの特性を生かした商圈の効率的な確定方法について論じる。第2節では、ハフモデル式を定義し、 α 商圈、 α 境界の概念を導入し、都市をネットワーク空間と見ることのメリットについて論ずる。第3節では、本論文の骨子である、ネットワーク距離空間、および指数ネットワーク距離空間の概念を導入した上で、ネットワーク上の α 商圈境界の厳密解の導出と、厳密解を列挙する実用的なアルゴリズムについて論じる。第4節では、同様の手法によって α 商圈だけでなく、商業施設利用利便性が一定以上の領域(等効用面)も、効率的に求めることができることを示す。そして第5節でこの手法の適用可能性について論じる。

2. ハフモデルと α 商圈

2.1 ハフモデル

今、均質な平面上に商業施設が n_j 個立地している状況を考えよう。便宜上どの2つの商業施設も同一地点にはなく、また各商業施設は、魅力度 A_j という属性値以外は同質で互いに差がないとする。このとき、平面上の地点 i に立地している需要者は、魅力度がより高く、またより自分の近くに位置する商業施設を利用しようとするであろう。利用可能な情報が、商業施設の魅力度(A_j)と i から各商業施設 j までの距離(d_{ij})だけであるとするなら、 i にいる需要者が商業施設 j を利用する確率は、 A_j に比例し、 d_{ij} に反比例するような関数形で表すことができる。代表的な関数形としては、

$$A_j \exp(-\lambda d_{ij}) \quad (1)$$

が挙げられる。この関数形を仮定した上で、 n_j 個ある商業施設のうちの1つ(j)を選択する確率が、点 i から全ての商業施設へのこの関数値の総和に対する関数値 j の比率に比例すると考えるのがハフモデルの基本的な考え方である。

ハフモデルは関数形として式(1)を用いると次のように書ける。

$$P(i, j) = \frac{A_j \exp(-\lambda d_{ij})}{\sum_{k=1}^{n_j} A_k \exp(-\lambda d_{ik})} \quad (2)$$

ここで、

$P(i, j)$: 地点 i の需要者の商業施設 j の選択確率

i : 実空間上の任意の位置

j : 商業施設

d_{ij} : ij 間の距離

j : 商業施設 j の魅力度

λ : 係数(減衰度係数)¹⁾

2.2 α 商圈

式(2)によってある地点 i における商業施設 j の選択確率を計算することが可能であるが、逆に、この式を利用して、商業施設 j を選択する確率が一定値 α 以上であるような点 i の集合が作る領域 S_α を求めることを考えよう。数式で表すと、

$$S_\alpha = \left\{ i \mid \frac{A_j \exp(-\lambda d_{ij})}{\sum_{k=1}^{n_j} A_k \exp(-\lambda d_{ik})} \geq \alpha \right\} \quad (3)$$

となる。ここで領域 S_α を α 商圈と名付ける。

実際に α 商圈を求めるには、その境界線だけを求めればよい。 α 商圈の境界線を α 境界と呼ぶことにすると、明らかに α 商圈は α 境界の内側(商業施設 j を含む側)の領域である。 α 境界は式(3)の不等号を等号で置き換えた式、

$$(1 - \alpha) A_j \exp(-\lambda d_{ij}) - \alpha \sum_{k \neq j} A_k \exp(-\lambda d_{ik}) \quad (4)$$

を満たす。式(4)を α 境界条件式と呼ぶ。

ここで、空間をユークリッド平面上とすると、 $n_j > 2$ のケースでは、式(4)を解いて i の軌跡を解析的に求めることができないという問題が生ずる。すなわち、ユークリッド平面上では一般に α 境界を陽に求めることは難しいのである。

そこで次に、ネットワーク空間の場合を考えよう。

すなわち、都市空間を一様な平面としてでなく、道路ネットワークによって形作られる離散空間と解釈するのである。一般にユークリッド平面上では、 α 境界は一般の曲線となり、解析的に求めることが難しいが、ネットワーク上では、 α 境界は点の集合となり、 n_s によらず解析的に厳密な境界点を求めることができるのである。また、都市をネットワーク空間とみなすことは、前述したような理由から、実際の意味においても現実的に即しているといえる。都市内の全ての建築物は、必ず接道しているので、現実の商業施設を全てネットワーク上に写像することは原理的にはさほど困難ではない。

3. ネットワーク上での α 商圏境界点の導出

3.1 ネットワーク距離空間

本節では実際にネットワーク上での α 境界点を求める手続きについて論じる。

式(4)より、 α 境界の条件は、ある地点 i と商業施設との間の距離 d_{ij} のみによって定まり、 i や商業施設の x, y 座標などは α 境界点確定に直接必要ないことがわかる。そこで、各商業施設からの距離を座標軸に取った、新たな座標系²⁾を設定し、その座標系上にネットワークを写像してみることにしよう。この新たな座標系によって定義される空間をネットワーク距離空間と呼ぶことにすると、 α 境界点の確定をネットワーク距離空間上で行うことにより、問題を簡略化することができる。

実際に、ネットワークをネットワーク距離空間に写像するには、以下の操作を行えばよい。

- 1) 商業施設 j から最短距離木を張る。このとき、ネットワークリンクのうち最短距離木に含まれないリンク上には、両端点を經由した j までの2つの距離が等しくなるような点(衝突点と称する。

図1の点 a, b, c, d, e が必ず存在する。

- 2) 衝突点を新たなネットワークノードとして挿入し、ネットワークリンクを切断する。衝突点の挿入によって分けられた後のネットワークリンクを特に細分リンクと呼ぶ。細分リンク中では、各

商業施設への距離の変化が単調であることに注意されたい。

- 3) 以上の操作を全ての商業施設について繰り返した後、ネットワークノードをネットワーク距離空間に写像する。ネットワーク距離空間においてもネットワークノードを結ぶ位相的關係は変化しないので、ここまででネットワーク距離空間上のネットワークが得られる。

ここで、上記の操作に伴って生成される細分リンクの本数を求めてみよう。もし、細分リンクの本数がもとのリンク本数に対して指数的に増加するようでは、上記の操作は理論的には可能でも実際的には不可能となってしまふ。

もとのネットワークのリンク本数を L 、ノード数を N 、商業施設数を s とする。1つの商業施設から最短距離木を張るときに生成される衝突点は、もしネットワークがツリー($L=N-1$)ならば0個であり、そうでなければツリーと比べて冗長なリンクの本数($L-(N-1)$)個分しか高々増加しない。これが s 回繰り返されるので、最終的な細分リンク本数は、

$$L + s\{L - (N - 1)\} = (1 + s)L - s(N - 1) \quad (5)$$

となり、一般に $L \gg s$ であるから細分リンク数は高々もとのリンク数と同じオーダーにおさまることがわかる。

図1、図2にネットワークをネットワーク距離空間に写像した例を示す。

ネットワーク距離空間に写像されたネットワークの性質については四茂野(1991)によって導出された次の定理が重要である。

定理： ns 次元ネットワーク距離空間上では、ネットワークリンクの方向ベクトルは、

$$\left((-1)^{\delta_1}, (-1)^{\delta_2}, \dots, (-1)^{\delta_n} \right) \quad \delta_k = 1 \text{ or } 2 \quad (6)$$

に限定されている。従って、リンクの取りうる方向の数は、互いに一次独立な方向ベクトルの本数に等しく、 2^{n-1} 種類しかない。

ネットワーク空間内で、ある点から微小距離移動

した場合を考えると、移動により、各商業施設への距離は離れるか近づくかのいずれかであり(変化しないことはあり得ない)、しかもその変化量の絶対値は等しいという事実が、定理の直観的な証明を与える。また、仮に実空間上のネットワークが直線分によって構成されていなくても、ネットワーク距離空間上では必ず直線分で表されるという点も特筆される。

図1 実空間上のネットワーク

図2 ネットワーク距離空間上のネットワーク

3.2 指数ネットワーク距離空間

$n_s > 2$ のケースでは、ネットワーク距離空間においても式(4)を解析的に解くことは困難である。そこで、ネットワーク距離空間に、さらに次の変換を施した座標系を考える。

$$\exp(-\lambda d_{ij}) \rightarrow X_j \quad (7)$$

この新しい空間を指数ネットワーク距離空間と呼ぶ。指数ネットワーク距離空間上では、式(4)は次のようになる。

$$(1-\alpha)A_j X_j - \alpha \sum_{k \neq j} A_k X_k = 0 \quad (8)$$

この式の形からも明らかに、指数ネットワーク距離空間上において、 α 境界条件式は n_s 次元空間上の原点を通る超平面によって表現される。この超平面を α 境界面と呼ぶことにしよう。

α 境界面は、

$$0 \leq d_{ij} \leq \infty \text{ より } 0 \leq X_j \leq 1.$$

原点を通り、

$$A = (-\alpha A_1, \dots, -\alpha A_{j-1}, (1-\alpha)A_j, -\alpha A_{j+1}, \dots, -\alpha A_{n_s})$$

を法線ベクトルとする平面の $0 \leq X_j \leq 1$ の部分。

という性質を持っている。

一方、指数ネットワーク距離空間において、ネットワークはどのように表されるのであろうか。ネットワーク距離空間上の細分リンクを L とし、 L の両端点を $\mathbf{v}_s = (d_{s1}, \dots, d_{sn_s})$, $\mathbf{v}_e = (d_{e1}, \dots, d_{en_s})$ とすると、 L 上の動点 $\mathbf{p}$ は、 t ($0 < t < 1$) をパラメータとしたベクトル表示で、

$$\mathbf{p} = (1-t)\mathbf{v}_s + t\mathbf{v}_e = \mathbf{v}_s + t(\mathbf{v}_e - \mathbf{v}_s) \quad (9)$$

と書け、定理より、リンク L の方向ベクトルが、

$$\mathbf{v}_e - \mathbf{v}_s = l_0 \left((-1)^{\delta_1}, \dots, (-1)^{\delta_{n_s}} \right) = l_0 \mathbf{n}$$

$$\left(l_0 = \frac{\|\mathbf{v}_e - \mathbf{v}_s\|}{\sqrt{n_s}} \right) \quad (10)$$

(12)

と書けることから、式(9)は

$$\mathbf{p} = \mathbf{v}_s + t \mathbf{l}_0 \mathbf{n} \quad (11)$$

となる。

次に、この細分リンク L を、指数ネットワーク距離空間上に変換することを考える。リンク L 上の動点 p を指数変換すると、

$$\begin{aligned} \exp(-\lambda p) &= \exp\{-\lambda(\mathbf{v}_s + t \mathbf{l}_0 \mathbf{n})\} \\ &= \left(\exp\{-\lambda(d_{s1} + t l_0 (-1)^{\delta_1})\}, \dots, \exp\{-\lambda(d_{sn_s} + t l_0 (-1)^{\delta_{n_s}})\} \right) \\ &= (X_1, \dots, X_{n_s}) \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

リンク L の指数ネットワーク距離空間上における表現は、式(12)からパラメータ t を消去することで得られる。式(12)より、

$$\begin{cases} X_1 = \exp\{-\lambda(d_{s1} + t l_0 (-1)^{\delta_1})\} \\ \vdots \\ X_{n_s} = \exp\{-\lambda(d_{sn_s} + t l_0 (-1)^{\delta_{n_s}})\} \end{cases} \quad (13)$$

辺々自然対数を取ることで、

$$\begin{aligned} t &= \frac{-\ln X_1 - \lambda d_{s1}}{\lambda l_0 (-1)^{\delta_1}} = \dots = \frac{-\ln X_{n_s} - \lambda d_{sn_s}}{\lambda l_0 (-1)^{\delta_{n_s}}} \\ -\lambda l_0 t &= (-1)^{\delta_1} (\ln X_1 + \lambda d_{s1}) \\ &= \dots = (-1)^{\delta_{n_s}} (\ln X_{n_s} + \lambda d_{sn_s}) \end{aligned} \quad (14)$$

辺々指数を取ると、

$$E_1 X_1^{(-1)^{\delta_1}} = \dots = E_{n_s} X_{n_s}^{(-1)^{\delta_{n_s}}} = T \quad (15)$$

ただし、

$$\begin{aligned} E_i &= \exp((-1)^{\delta_i} \lambda d_{si}) \\ T &= \exp(-\lambda l_0 t) \\ (0 \leq t \leq 1, \exp(-\lambda l_0) \leq T \leq 1) \end{aligned}$$

となって、細分リンクの指数ネットワーク距離空間上における表現式が得られた。

式(15)の概形を直観的に理解するために、 $n_s = 3$ 、のケースについて考えてみよう。このとき、式(15)は、係数を無視すれば、

$$X_1 = \frac{1}{X_2} = X_3 \quad (16)$$

となる(係数 E_i は必ず正になり概形には影響を与えない)。これは、 X_1 と X_3 が比例し、 X_1 と X_2 、 X_3 と X_2 が反比例の関係にあることを意味しており、この図形は、平面 $X_1 = X_3$ 上にあつて直線 $X_1 = X_3 = 0$ (X_2 軸)と直線 $X_1 = X_3$ 、 $X_2 = 0$ に漸近する双曲線(の一部)を表している。

図3 指数ネットワーク距離空間上のネットワーク

このように式(15)は、 $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{n_s}$ のとき n_s 次元空間内の「直線分」となり、それ以外の時には原点に対して凸な双曲線分を表すことがわかる。指数ネットワーク距離空間におけるネットワークリンクの性質

$$\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{n_s} \text{ のとき}$$

原点を通り方向ベクトルが、

$$\begin{cases} (E_1, E_2, \dots, E_{n_i}) & (\delta_i = 1) \\ \left(\frac{1}{E_1}, \frac{1}{E_2}, \dots, \frac{1}{E_{n_i}} \right) & (\delta_i = 2) \end{cases}$$

であるような直線の一部。

それ以外るとき

原点に対して凸な双曲線の一部。

3.3 α 境界点導出

前項までの議論で、指数ネットワーク距離空間という新しい空間を定義すると、 α 境界条件式が超平面、ネットワークリンク(細分リンク)が直線分、もしくは双曲線分で表されることがわかった。ネットワーク上における α 境界点は、二つの図形の交点で表される。すなわち、指数ネットワーク距離空間上においては、 α 境界点確定問題は超平面と直線分もしくは双曲線分の交点を列挙する問題に帰着する。数学的には、これはまさに式(8)と式(15)を連立させてパラメータ t を求める問題である。前項で述べた、 α 境界面が原点を通る超平面であるという性質から、1本の細分リンクと α 境界面の交点の個数は高々1個であることが予想される。

式(15)は、

$$X_k = \left(\frac{T}{E_k} \right)^{(-1)^{\delta_k}} = \exp(-\lambda d_{sk}) T^{(-1)^{\delta_k}}$$

と変形できる。これを式(8)に代入すると、

$$\begin{aligned} (1-\alpha)A_j \exp(-\lambda d_{sj}) T^{(-1)^{\delta_j}} \\ - \alpha \sum_{k \neq j} A_k \exp(-\lambda d_{sk}) T^{(-1)^{\delta_k}} = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

が得られ、ここで、

$$\begin{cases} B_k = -\alpha A_k \exp(-\lambda d_{sk}) & (k \neq j) \\ B_k = (1-\alpha)A_k \exp(-\lambda d_{sk}) & (k = j) \end{cases} \quad (18)$$

を導入すると、式(17)は、

$$\sum_i^{n_i} B_i T^{(-1)^{\delta_i}} = 0 \quad (19)$$

となる。

ここで、式(19)は、各項が δ_k の値(1または2)によって、 B_k/T 、または $B_k T$ と書けるという点に着目すると、次のように整理できる。

$$B_{sum1}/T + B_{sum2}T = 0 \quad (20)$$

ただし、

$$B_{sum1} = \sum_{\{k|\delta_k=1\}} B_k, \quad B_{sum2} = \sum_{\{k|\delta_k=2\}} B_k$$

両辺に T を掛けて整理することにより、

$$T^2 = -\frac{B_{sum1}}{B_{sum2}} \quad \therefore T = \left(-\frac{B_{sum1}}{B_{sum2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

となる($\exp(-\lambda l_0) \leq T \leq 1$ より)。

$T = \exp(-\lambda l_0 t)$ より、求めるパラメータ t は、

$$t = \frac{1}{2\lambda l_0} \ln \left(-\frac{B_{sum1}}{B_{sum2}} \right) \quad (21)$$

という形で得られる。ここで、もし、 $k < 0$ または $k > 1$ ならば α 境界点はそのリンク上には存在せず、なら、この t 値は細分リンク上の α 境界点を示すベクトルパラメータとなる。

3.4 効率的なアルゴリズム

以上の操作をネットワークを構成する全てのリンクに適用すれば、 α 境界点を全て求めることができる。しかし、単純に全てのリンクに適用するよりも効率の良いアルゴリズムが存在する。

式(4)の左辺を $f(a, i, j)$ とおく。すなわち、

$$f(a, i, j) = (1-\alpha)A_j \exp(-\lambda d_{ij}) - \alpha \sum_{k \neq j} A_k \exp(-\lambda d_{ik}) \quad (22)$$

f は、商圈を調べる商業施設 j 、確率 α が与えられたとき、ネットワーク上の任意の点 i における j 利用確率に関する正の増加関数であり、 $f(a, i, j) > 0$ なら i の j 利用確率は α 以上、 $f(a, i, j) = 0$ ならば i は α 一境界点である。すなわち、 $f=0$ は α 一境界面そのものに対応している。

細分リンク上で f は明らかに連続であるから、あるネットワークリンクの両端ノードの f の値を求め、もし符号が逆ならばそのネットワークリンク中には必ず α 境界点が含まれる。

このことを利用すると、 α 境界点を全て列挙するためには、 f の値が正(または負)であるノードから出るリンクだけをチェックすればよいことがわかる。具体的には、例えば、下のようにノード j から幅優先探索(腰塚他,1993)を用いることによって、効率的なアルゴリズムが実現できる。

図4 $f(a, i, j)$ とネットワーク

ノード j からの幅優先探索による α 境界列挙アルゴリズム³⁾

- 1) 次ノード候補セット W を準備する。 W には最初ノード j を入れておく。
- 2) 以下を W が空になるまで繰り返す。
 - 2-1) W 中で $f(a, i, j)$ が最大のノードをノード a とする。
 - 2-2) a と接続するノードを結ぶリンク上に α 境界がないかどうかを前述の方法で調べる。
 - 2-3) a と接続するノードのうち、 $f(a, i, j) > 0$ のものを全て W に入れる。 $(f(a, i, j) < 0$ のノードは α 境界の外側)

このアルゴリズムは、 f 値が正であるノード(α 商圏に含まれるノード)の数が少ないほど効率が高くなる。

なる。言い換えると、 α が大きいほど、また A_j が小さいほど効率が高くなる。

4. 等効用面の確定

4.1 等効用面

本節では、ネットワークと商業施設の配置が所与であるとき、ネットワーク上の地点 i における商業施設の利用利便性について考えてみる。

式(2)の右辺の分母、すなわち、

$$u_i = \sum_{k=1}^{n_s} A_k \exp(-\lambda d_{ik})$$

は、地点 i において、需要者のある商業施設への利用度を全ての商業施設について合計した値である。一般に、この値(u_i)が大きければ大きいほど、地点 i は商業施設を利用しやすい、言い換えると商業施設利便性の高い地点であると考えることができる。そこで、 u_i を地点 i の利便性(あるいは効用)と呼ぶことにすると、 u_i が等しい点の集合、すなわち、等利便性面(等効用面)は、次式、

$$\sum_{j=1}^{n_s} A_j \exp(-\lambda d_{ij}) = u$$

u : 効用レベル(定数)

を満たす i の集合となる。これは指数ネットワーク距離空間上では、

$$\sum_{j=1}^{n_s} A_j X_j = u \quad (23)$$

と、前節の α 境界面同様超平面として表現される。

4.2 ネットワーク上における等効用点の確定

ネットワーク上における等効用点は、指数ネットワーク距離空間上において、式(15)で表される細分リンクと、式(23)で表される等効用面との交点として表現される。この交点を求める操作は、境界面が原点を通らない超平面になる(の場合)という点を除けば、前節の α 境界点の確定となんら変わるところはない。

式(15)より、

$$X_j = \left(\frac{T}{E_j} \right)^{(-1)^{d_j}} = \exp(-\lambda d_{ij}) T^{(-1)^{d_j}}$$

となるので、これらを式(23)に代入することにより、

$$\sum_{j=1}^{n_2} B_j T^{(-1)^{d_j}} = u \quad (B_j = A_j \exp(-\lambda d_{ij})) \quad (24)$$

を得る。等効用点を求めるには、式(24)を、 T について、 $\exp(-\lambda_0) \leq T \leq 1$ の範囲で解けばよい。

d_j の値によって、 B_j を別々に集計する。すなわち、

$$B_{sum1} = \sum_{\{k|\delta_k=1\}} B_k, \quad B_{sum2} = \sum_{\{k|\delta_k=2\}} B_k$$

すると、式(24)は、

$$B_{sum2} T + B_{sum1} \frac{1}{T} = u$$

となり、両辺に T を掛けると、

$$B_{sum2} T^2 - uT + B_{sum1} = 0 \quad (25)$$

となる。このとき、 $u^2 - 4B_{sum1}B_{sum2} \geq 0$ を満たしていれば、これを解いて、交点の T 値、

$$T = \frac{u \pm \sqrt{u^2 - 4B_{sum1}B_{sum2}}}{2B_{sum2}} \quad (26)$$

を得る。ただし、 T がの範囲内になければその解は不適当であり、適当な解が1つもなければその細分リンク上には等効用点は存在しないことになる。

式(26)より、対応する t 値は、

$$t = -\frac{1}{\lambda_0} \ln T_\alpha = -\frac{1}{\lambda_0} \ln \left(\frac{u \pm \sqrt{u^2 - 4B_{sum1}B_{sum2}}}{2B_{sum2}} \right)$$

となり、実空間上における等効用点も、これらの t 値から求めることができる。

ある細分リンク上に等効用点が存在する条件は、

$$u^2 - 4B_{sum1}B_{sum2} \geq 0 \text{ かつ、} \\ \exp(-\lambda_0) \leq T \leq 1 \text{ なる}$$

$$T = \frac{u \pm \sqrt{u^2 - 4B_{sum1}B_{sum2}}}{2B_{sum2}} \text{ が存在すること。}$$

1本の細分リンク上に存在する等効用点の個数は高々2個であることは自明である。

5. まとめ

本論文では、ハフモデルを用いた商圈確定問題が、ネットワークの利用と指数ネットワーク距離空間への変換によって、きわめて容易に解けることを示した。この手法は、単に商圈の確定のみならず、4で示したようなある種の施設の等効用面の確定(施設は商業施設だけに限られない)など、様々な用途に拡張できる可能性を持っており、エリアマーケティングや都市計画分野において特に有用であろうと思われる。

謝辞

なお、本論文をまとめるにあたり、長岡造形大学の四茂野英彦氏より貴重な示唆を得た。紙面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- Huff, David L. "Determination of Intra-Urban Retail Trade Areas". Los Angeles: Real Estate Research Program, Univ. of California, 1962
- 四茂野 秀彦 (1991) 「空間の最近隣距離変換」未発表
- 腰塚 武志他 (1993) 「計算幾何学と地理情報処理第2版」共立出版

注)

- 1) 本論文で取り上げるモデルでは、 λ は常に一定値をとることとする。そのため、潜上現象(2商業施設間の商圈境界が相手の背後側にも生じる現象)が発生する恐れはなく、求められるネットワーク上の商圈は常に連結なグラフになる。
- 2) 商業施設が ns 個あるケースでは、距離空間は ns 次元空間となる。
- 3) このアルゴリズムを実空間上で見ると、商業施設 j から始まってネットワーク上を幅優先探索で探索し、 α -商圈内にある全てのノードを調べ終えた時点で探索を終了している。