71. 移動販売を組み込んだホテリングの立地競争モデル

Hotelling's Competitive Location Model with Mobile Sales

千葉晟和*, 栗田治**

Masakazu Chiba and Osamu Kurita

Recently, the use of mobile sales has been discussed to help residents who find it difficult to shop because of the shortage of regional retail stores. However, theoretical research on mobile sales has not been done very much, and there is almost no research focusing on the competitive location behavior. So, in this paper, assuming two retail stores, we formulate the Hotelling's location competition model of associated mobile stores. In this model, residents are supposed to choose one of stores according to the disaggregate logit model. As the result, we derived the Nash equilibrium of profit maximization behavior, the system optimum solution of minimizing total distance of residents and the system optimum solution of maximizing the total expected utility value of residents.

Keywords: ホテリングモデル, 非集計ロジットモデル, 移動販売

Hotelling's model, disaggregate logit model, mobile sales

1. はじめに

近年, 人口減少や少子高齢化の進行, 郊外型の大規模な店舗の出店に伴って規模の小さな小売店などが撤退を余儀なくされている例が多い. 結果的に買い物に困難をきたす高齢者が増加している. このような問題をフードデザート問題という¹⁾. またこのような問題は食料品のみならず, 医療や各種の公共サービスについても発生している.

現在, 買い物支援の手段として注目されているものの1つが移動販売である. 移動販売については多くの研究・調査が行われている. 服部ら^{2,3,4)}は出張商店街に着目し, 報告を行っている. また, 谷本ら⁵⁾は実際にアンケートを実施し, ハフモデルのパラメータ推定を行っている.

しかし, 移動販売についての理論研究, 特に移動販売の立地競争に関する研究は行われていない. 小売業は住民の生活を支える営みではあるが, 利益追求のための競争の構造も内に秘めている. そこで本研究では古典的ホテリングモデル^{6,7)}を拡張して, 線分都市上において固定した通常の店舗と別に移動することができる移動販売の店舗による立地競争を行わせ, ナッシュ均衡の成立を示す. 本研究は, 移動販売を組み込むことで, マーケティングの理論研究としての意義, さらにフードデザート対策としての移動販売の店舗間競争の特性を見出す意義も持つ.

また, 地域医療サービスにおける出張外来等のサービスや, 移動図書館サービスが実施され始めていることに鑑みて, 立地の評価指標として収入以外に移動距離と期待最大効用を考える. 本間⁸⁾は, Ben-Akivaら⁹⁾が提案した, 非集計ロジットモデルにおける期待最大効用であるログサム変数を拡張して施設の最適規模と最適数の解析を行っているが, 本研究でもログサム変数を拡張して客の総期待最大効用を考察対象とする. 移動距離や期待最大効用に着目

した場合は利益追求の観点とは異なり, 都市計画的観点からの特性を見出すことを目的としている. 最終的に, 利益追求の観点と都市計画の観点を比較し, 考察を行う.

なお, 本研究では移動販売が開設される複数の地点に固定店舗(通常の店舗)を加えた選択肢集合の中から, 住民がいずれか1つを選び買い物を行う, という選択モデルを記述した. これについては「移動販売はそれが開設されている時間内のみ選択し得る」のだから, 時間帯別に選択肢集合が変化するモデルを作成することにも意味があるものと考えられる. そちらも魅力的なモデリングであると思われるが本論文では取り上げず, 次の課題とする.

2. 非集計ロジットモデルとログサム変数

本研究では住民が複数の施設(店舗)から1つを選択するプロセスを非集計ロジットモデルで定式化する. そこで非集計ロジットモデルを簡単に紹介し, 分析のキーポイントのひとつであるログサム変数⁹⁾を導入しておこう.

まず, 住民に共通の選択肢集合を

$$C = \{1, 2, \dots, I\} \quad (1)$$

とする. 個人が選択肢 $i \in C$ を選ぶときの効用を U_i とし, これが確定項 V_i と, ガンベル分布に従う変数 X_i の和で表されるものとする ($i \neq j$ のとき X_i と X_j は独立であるものと仮定しておく):

$$U_i = V_i + X_i \quad (i \in C). \quad (2)$$

ただしガンベル分布の累積分布関数 $F(x_i)$ は簡単に位置母数をゼロとして与える ($\lambda > 0$ は尺度母数):

$$F(x_i) = \exp(-e^{-\lambda x_i}) \quad (-\infty < x_i < +\infty). \quad (3)$$

* 学生会員 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 (Keio University)

** 正会員 慶應義塾大学 理工学部 管理工学科 (Keio University)

ここで、個人は効用 U_i が最大となるものを選択する、と想定して選択肢 i の選択確率 P_i を求めると、周知の非集計ロジットモデルの確率関数を得る¹⁰⁾：

$$P_i = \frac{e^{\lambda V_i}}{e^{\lambda V_1} + e^{\lambda V_2} + \dots + e^{\lambda V_I}} \quad (i \in C). \quad (4)$$

個人は効用が最大の選択肢を選ぶのだから、その際に手にする効用の値は

$$Y = \max_{i \in C} U_i \quad (5)$$

と定義される。Y の累積分布関数を $G(y)$ として計算すると

$$\begin{aligned} G(y) &= \text{Prob.}\{Y \leq y\} \\ &= \text{Prob.}\{U_1 \leq y, U_2 \leq y, \dots, U_I \leq y\} \\ &= \prod_{i \in C} \text{Prob.}\{V_i + x_i \leq y\} \\ &= \prod_{i \in C} F(y - V_i) \end{aligned}$$

となる。ここで式 (3) を代入・整理すると、次式に帰着する：

$$\begin{aligned} G(y) &= \prod_{i \in C} \exp\{-e^{-\lambda(y-V_i)}\} \\ &= \exp\left\{-e^{-\lambda(y-k)}\right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

ただし k の定義は次式の通りである：

$$k = \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{i \in C} e^{\lambda V_i}. \quad (7)$$

式 (6) は位置母数が k で尺度母数が λ のガンベル分布に他ならない。したがって周知のように、Y の期待値 $\langle Y \rangle$ は次式のように記述される ($\gamma \sim 0.577$ はオイラー一定数)：

$$\langle Y \rangle = k + \frac{\gamma}{\lambda}. \quad (8)$$

上式の第 2 項 γ/λ は効用関数に依らない定数なので、この部分は無視する。そして式 (7) の k をログサム変数と呼び、住民が受ける便益のひとつの代表値として用いる。

なお、パラメータ λ は効用関数 V_i の各項の係数に吸収されることになるので、 $\lambda = 1$ としても一般性は失われない。そこで、以下の記述では、特別に断ることなく $\lambda = 1$ として記述した。

3. 定式化

線分都市 $[0, L]$ 上に 2 つの店舗 A 店と B 店が存在するものとし、A 店および B 店が移動販売も行ふものとする。A 店が行う移動販売を a 店、B 店が行う移動販売を b 店とする。ここで客の効用に関わる要素は「店舗の品揃え」と「店舗への距離」の 2 つとする。このとき A 店の位置を x_A 、B 店の位置を x_B 、a 店の位置を x_a 、b 店の位置

を x_b とし、位置 r に存在する客の密度を以下のように与える。

$$\omega = \omega(r) \quad (0 \leq r \leq L). \quad (9)$$

A 店の客単価を σ_A 、B 店の客単価を σ_B 、a 店の客単価を σ_a 、b 店の客単価を σ_b とする。ここで移動販売では通常の店舗よりも客単価が小さいと考えられるので $\sigma_A \geq \sigma_a$ 、 $\sigma_A \geq \sigma_b$ 、 $\sigma_B \geq \sigma_a$ 、 $\sigma_B \geq \sigma_b$ とする。

A 店の品揃えを l_A 、B 店の品揃えを l_B 、a 店の品揃えを l_a 、b 店の品揃え l_b とする。具体的には、取り扱っている商品数や売り場面積を品揃えとして想定する。こちらも移動販売では通常の店舗よりも品揃えが少ないと考えられるので $l_A \geq l_a$ 、 $l_A \geq l_b$ 、 $l_B \geq l_a$ 、 $l_B \geq l_b$ とする。

本研究では、客は 1 回の買い物で 1 つの店舗からのみ商品を購入すると仮定する。客が購入したい商品は A 店ならびに B 店では必ず売られているものとする。以下では客が購入する商品が移動販売で売られている場合と移動販売で売られていない場合について考える。

3.1 客が購入する商品が移動販売でも売られている場合

まず客が購入する商品が移動販売でも売られている場合について考える。この場合には、客の選択肢集合は 4 つ ($C = \{A, B, a, b\}$) となる。このとき位置 r に存在する客がそれぞれの店舗を選ぶ際の効用は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} V_i(r) &= \theta_l l_i + \theta_t |x_i - r| \\ (0 \leq r \leq L; i = A, B, a, b). \end{aligned} \quad (10)$$

上式において θ_l は品揃えに乘じる係数、 θ_t は距離に乘じる係数である。店舗の品揃えが増加するほど、そして店舗への移動距離が減少するほど客にとって好ましいので $\theta_l > 0$ 、 $\theta_t < 0$ と想定する。位置 r に存在する客が各店舗を選択する確率を次のようなロジットモデルで与える。

$$\begin{aligned} P_i(r) &= \frac{e^{V_i(r)}}{e^{V_A(r)} + e^{V_B(r)} + e^{V_a(r)} + e^{V_b(r)}} \\ (i = A, B, a, b). \end{aligned} \quad (11)$$

3.2 客が購入する商品が移動販売で売られていない場合

次に客が購入する商品が移動販売で売られていない場合について考える。この場合には、客の選択肢集合は 2 つ ($C = \{A, B\}$) となる。このとき位置 r に存在する客がそれぞれの店舗を選ぶ際の効用は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \tilde{V}_i(r) &= \theta_l l_i + \theta_t |x_i - r| \\ (0 \leq r \leq L; i = A, B). \end{aligned} \quad (12)$$

上式においても $\theta_l > 0$ 、 $\theta_t < 0$ と想定する。位置 r に存在する客が各店舗を選択する確率を次のようなロジットモデルで与える。

$$\tilde{P}_i(r) = \frac{e^{\tilde{V}_i(r)}}{e^{\tilde{V}_A(r)} + e^{\tilde{V}_B(r)}} \quad (i = A, B). \quad (13)$$

4. 本研究で用いる評価指標

本研究では前節で定式化した状況下において3つの評価指標を最適化し、それぞれ比較する。評価指標は「A店の収入 S_A^* および B店の収入 S_B^* 」, 「客の総移動距離 T^* 」, 「客の総期待最大効用 H^* 」の3つである。

4.1 A店の収入 S_A^* および B店の収入 S_B^*

はじめにA店の収入 S_A^* およびB店の収入 S_B^* について記す。位置 r に存在する客の密度は式(9)の通り $\omega(r)$ だから、微小な区間 $[r, r+dr]$ の客の数は $\omega(r)dr$ である。

選択肢集合が4つ ($C = \{A, B, a, b\}$) の場合はこれらの客が確率 $P_A(r)$ でA店、確率 $P_B(r)$ でB店、確率 $P_a(r)$ でa店、確率 $P_b(r)$ でb店を選択する。よって客数の平均値はそれぞれ $P_A(r)\omega(r)dr$, $P_B(r)\omega(r)dr$, $P_a(r)\omega(r)dr$, $P_b(r)\omega(r)dr$ である。したがって、A店の収入の平均値を S_A , B店の収入の平均値を S_B , a店の収入の平均値を S_a , b店の収入の平均値を S_b とすると以下のように与えられる。

$$S_i = \sigma_i \int_0^L P_i(r)\omega(r)dr \quad (i = A, B, a, b). \quad (14)$$

選択肢集合が2つ ($C = \{A, B\}$) の場合も同様に考えることができるので、A店の収入の平均値を $\tilde{S}_A$, B店の収入の平均値を $\tilde{S}_B$ とすると以下のように与えられる。

$$\tilde{S}_i = \sigma_i \int_0^L \tilde{P}_i(r)\omega(r)dr \quad (i = A, B). \quad (15)$$

客が購入する商品がa店ならびにb店で売られている確率を α ($0 < \alpha \leq 1$) とすると、A店の収入の平均値 S_A^* およびB店の収入の平均値 S_B^* は以下の通りである。

$$S_A^* = \alpha(S_A + S_a) + (1 - \alpha)\tilde{S}_A. \quad (16)$$

$$S_B^* = \alpha(S_B + S_b) + (1 - \alpha)\tilde{S}_B. \quad (17)$$

4.2 客の総移動距離 T^*

続いて、客の総移動距離 T^* について記す。

選択肢集合が4つ ($C = \{A, B, a, b\}$) の場合、客のA店への総移動距離を T_A , 客のB店への総移動距離を T_B , 客のa店への総移動距離を T_a , 客のb店への総移動距離を T_b としたとき、前節と同様に以下のように表せる。

$$T_i = \int_0^L |x_i - r|P_i(r)\omega(r)dr \quad (i = A, B, a, b). \quad (18)$$

選択肢集合が2つ ($C = \{A, B\}$) の場合についても、客のA店への総移動距離を $\tilde{T}_A$, 客のB店への総移動距離を $\tilde{T}_B$ とすると

$$\tilde{T}_i = \int_0^L |x_i - r|\tilde{P}_i(r)\omega(r)dr \quad (i = A, B). \quad (19)$$

客が購入する商品がa店ならびにb店で売られている確率は α であるから、客の総移動距離 T^* は以下のように

与えられる。

$$T^* = \alpha(T_A + T_B + T_a + T_b) + (1 - \alpha)(\tilde{T}_A + \tilde{T}_B). \quad (20)$$

4.3 客の総期待最大効用 H^*

最後に客の総期待最大効用 H^* について記す。式(7)で与えられるログサム変数 k は特定の客にとっての期待最大効用であるので、ログサム変数 k から期待最大効用の総和(以下、総期待最大効用と呼ぶ) H^* を導出する。

選択肢集合が4つ ($C = \{A, B, a, b\}$) の場合における客の総期待最大効用を H , 選択肢集合が2つ ($C = \{A, B\}$) の場合における客の総期待最大効用を $\tilde{H}$ とすると前々節および前節の同様の考え方で

$$H = \int_0^L \ln(e^{V_A} + e^{V_B} + e^{V_a} + e^{V_b})\omega(r)dr. \quad (21)$$

$$\tilde{H} = \int_0^L \ln(e^{\tilde{V}_A} + e^{\tilde{V}_B})\omega(r)dr. \quad (22)$$

客が購入する商品がa店ならびにb店で売られている確率は α であるから、客の総期待最大効用 H^* は以下のように与えられる。

$$H^* = \alpha H + (1 - \alpha)\tilde{H}. \quad (23)$$

5. 数値例

ここでは先述したモデルのパラメータに数値を与えて計算を行う。現実世界において、店舗は一度出店すると移転が困難であるのに対し、移動販売は移転が容易であることが想定される。よって以下では通常の店舗は固定し、移動販売の位置は移動させることができるとして考える。

単純な数値例として、線分都市の長さを $L = 1$ とし、位置 r に存在する客の密度も一様 ($\omega(r) = 1$) であると考え。効用を算出する際に用いる θ_l および θ_t はそれぞれ $\theta_l = 1$, $\theta_t = -1$ とする。客が購入する商品が移動販売で売られている確率を $\alpha = l_a/l_A = l_b/l_B$ として考える。

ここで移動販売が自らの通常の店舗のすぐ近くに出店することは現実的ではない。そこで移動販売の出店位置に制約を設け、 $|x_A - x_a| \geq 0.1$ かつ $|x_B - x_b| \geq 0.1$ とする。本制約を与えないと、後の数値計算において通常の店舗と移動販売の出店位置が限りなく近づいてしまうことがあり、本制約はこの事態を回避する意味も持つ。ただし制約中の0.1という値は科学的に裏付けのある値ではない。人間が店を選択する際に異なる店舗を同じものとみなさない閾値は確実に存在すると考えられる。その閾値をあくまでも本研究では便宜的に0.1という値に設定している。

5.1 各店舗が自らの収入を最大化する場合

はじめに各店舗が自らの収入 (S_A^* または S_B^*) を最大化するように振る舞う場合について考える。具体的な計算方法としては、(A店およびB店を固定する) $\rightarrow$ (a店を任意の場所に出店する) $\rightarrow$ (A店, B店, a店が出店され

ている状況下で b 店を S_B^* が最大になるように出店する) → (S_A^* が最大になるように a 店を移動する) → (S_B^* が最大になるように b 店を移動する) → (S_A^* が最大になるように a 店を移動する) → ... という計算を収束するまで行う。つまり、既存店舗を前提として、移動販売がホテリングの立地競争的な行動をとるモデルを記述する。以下の図 1 に本モデルの計算イメージ【1】を記す。図 1 がナッシュ均衡に収束するまで繰り返す。

図 1 本モデルの計算イメージ【1】

単純な数値例として、はじめは通常の店舗同士の客単価は等しく ($\sigma_A = \sigma_B = 1$)、品揃えも等しい ($l_A = l_B = 1$) 状況を想定する。また移動販売同士も同様に、客単価が等しく ($\sigma_a = \sigma_b = 0.5$)、品揃えも等しい状況 ($l_a = l_b = 0.5$) を想定する。

通常の店舗 (A 店および B 店) が中央で対峙している場合

まず通常の店舗が都市の中央付近に立地する場合 ($x_A = 0.45$, $x_B = 0.55$) について考える。このとき、A 店の収入 S_A^* の等値線、a 店の最適配置、b 店の最適配置および立地競争の推移は図 2 の通りとなった。図 2 の色を塗り分ける曲線は A 店の収入 S_A^* の等値線、赤線は x_b を所与として S_A^* を最大化する a 店の位置 x_a の軌跡 $x_a = x_a^*(x_b)$ をなぞったものである。一方で、青線は x_a を所与として S_B^* を最大化する b 店の位置 x_b の軌跡 $x_b = x_b^*(x_a)$ をなぞったものである。また、黄線は $x_a = 0.2$ から始めた場合における交互の立地競争での x_a および x_b の推移を示したものである。図 2 において白抜きの部分が存在するが、これは移動販売の出店できない範囲を白く塗っている。例えば、a 店は $|x_A - x_a| \geq 0.1$ の条件より $0 \leq x_a \leq 0.35$, $0.55 \leq x_a \leq 1$ の範囲にしか出店できないので、 $0.35 \leq x_a \leq 0.55$ の範囲は白抜きになっている。

図 2 を見ると移動販売のナッシュ均衡において、a 店は B 店の近くに、b 店は A 店の近くに立地しており、移動販売が互いに競合店舗の近くに立地する結果となっている。これは、移動販売を線分都市の両端側に出店するよりも競合店舗の近くに立地して、客を奪い取ることをの方が収入に繋がるためと考えられる。この結果は現実の都市において

図 2 立地競争の収束へ様子

($x_A = 0.45$, $x_B = 0.55$,

$l_a/l_A (= l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B) = 0.5$ に固定)

見られる「通常の店舗が都市の中央付近に立地し、縁辺部を移動販売で補う」という状況に反する結果である。現実社会における移動販売を、収入最大化を目指した立地競争にまかせてしまうと、住民サービスの向上にはつながらないことが理解できる。

通常の店舗 (A 店および B 店) が離れて立地している場合

次に、 $x_A = 0.1$ と固定したうえで $x_B = 0.9$, $x_B = 0.7$, $x_B = 0.5$ と 3 つのケースについて考える。以下の図 3 に本モデルの計算イメージ【2】を示す。

図 3 本モデルの計算イメージ【2】

このとき、A 店の収入 S_A^* の等値線、a 店の最適配置、b 店の最適配置および立地競争の推移は図 4 の通りとなった。図 4 において色を塗り分ける曲線、赤線、青線、黄線、白抜き部分が表すものは図 2 と同様である。

図 4 を見ると、ナッシュ均衡において移動販売が線分都市の中央付近に収束していない。図 2 ではナッシュ均衡において移動販売が線分都市の中央付近に収束していた。また、ナッシュ均衡における移動販売の立地は、競合する通常の店舗よりも線分都市の外側となっている。しかし図 4 の【1】に注目すると、ナッシュ均衡における移動販売の立地は競合する通常の店舗よりも線分都市の中央側になっている。これは通常の店舗が線分都市の両端側に近づいたことで、移動販売を線分都市の中央側に立地して、移動販売によって競合する通常の店舗の邪魔をすべく出店しているためと考えられる。本論文では詳述しないが、 $\beta = |x_A - 0.5| = |x_B - 0.5|$ として、 β の値を増加させてナッシュ均衡を順次求めていくと、 $(x_A, x_B) = (0.3, 0.7)$ 付近でナッシュ均衡における移動販売の立地が、競合する通常の店舗の外側から内側に切り替わる。このように 2 つの通常の店舗のなす距離の多寡によって、移動販売のナッシュ均衡のモードが切り替わるのである。

続いてパラメータに与える数値を変化させて様子を観

察する。 $l_A, l_B, \sigma_A, \sigma_B$ は固定して、 $l_a/l_A = l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B = 0.1$, $l_a/l_A = l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B = 0.2$, $\dots$, $l_a/l_A = l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B = 0.9$ と変化させる。このとき、ナッシュ均衡 $(x_a, x_b) = (x_a^*, x_b^*)$ の推移は図5の通りとなった。

図5を見ると、 $x_B = 0.9$ の場合、 $x_B = 0.7$ の場合、 $x_B = 0.5$ の場合すべてにおいて、 $l_a/l_A = l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B$ の値が大きくなるにつれてナッシュ均衡 $(x_a, x_b) = (x_a^*, x_b^*)$ は線分都市の外側から線分都市の中央に近づいていく。特に、 $l_a/l_A = l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B$ の値がかなり小さいうちは、ナッシュ均衡 $(x_a, x_b) = (x_a^*, x_b^*)$ が通常の店舗よりも線分都市の外側に位置している。これは、移動販売の品揃え (l_a および l_b) が小さいうちは競争力がないことに加えて、客単価 (σ_a および σ_b) が小さいために通常の店舗の外側に立地することでできる限り客に移動販売を選択させないという戦略を互いに取っているためと考えられる。移動販売の店舗が通常よりも線分都市の外側に存在していることは、住民の移動距離を減らすことができず、移動販売が買い物支

援として成り立っていないことを意味している。一方で $l_a/l_A = l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B$ の値が大きくなって移動販売のパラメータが通常の店舗のパラメータに近づいていくと、ナッシュ均衡 $(x_a, x_b) = (x_a^*, x_b^*)$ は線分都市の中央に近づいている。これは移動販売の魅力が大きくなると、自由競争の結果として店舗が都市の中心部に偏ってしまうことを示唆している。

5.2 客の総移動距離を最小化する場合

続いて客の総移動距離 T^* を最小化するように各店舗を出店する場合を考える。

通常の店舗 (A 店および B 店) が中央で対峙している場合

はじめは、 $l_A = l_B = 1$, $l_a = l_b = 0.5$ の状況下で通常の店舗が都市の中央付近に立地する場合 ($x_A = 0.45$, $x_B = 0.55$) について考える。ここで、2つの店舗が客の総移動距離を最小化するように移転を繰り返すことは現実的ではないため、本節では立地競争のナッシュ均衡ではなく、システム最適を計算する。このとき、客の総移動距離 T^* の等値線およびそれを最小化する立地は図6の通りとなった。図6の色を塗り分ける曲線は客の総移動距離 T^*

図4 立地競争の収束への様子 ($x_A = 0.1$, $l_a/l_A (= l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B) = 0.5$ に固定)

図5 パラメータに与える数値を変化させたときのナッシュ均衡の推移 ($x_A = 0.1$ に固定)
(図中の数値は $l_a/l_A (= l_b/l_B = \sigma_a/\sigma_A = \sigma_b/\sigma_B)$ の値)

図6 総移動距離 T^* の等値線および最適立地 ($x_A = 0.45$, $x_B = 0.55$, $l_a/l_A (= l_b/l_B) = 0.5$ に固定) の等値線, 赤丸はそれを最小化する a 店および b 店の立地を示している. また, 図6の白抜きの部分も移動販売の出店できない範囲を白く塗っている.

図6を見ると, 図2の結果と同様に, 移動販売が互いに競合店舗の近くに立地する結果となっている. これは移動販売の魅力が通常の店舗の魅力と比較すると小さいがために, 線分都市の両端側に立地すると客に選択されなくなってしまうことから, 結果的に都市の中央付近に寄ったものと考えられる. この結果は, 客の総移動距離最小化の観点から見ても, 都市の郊外を移動販売で補うことのメリットが必ずしも大きくないことを示唆している.

通常の店舗 (A 店および B 店) が離れて立地している場合

次に, $l_A = l_B = 1$, $l_a = l_b = 0.5$ の状況下で $x_A = 0.1$ と固定したうえで $x_B = 0.9$, $x_B = 0.7$, $x_B = 0.5$ と3つのケースについて考える. このとき, 客の総移動距離 T^* の等値線および客の総移動距離を最小化する立地は図7の通りとなった. 図7において色を塗り分ける曲線, 赤丸, 白抜き部分が表すものは図6と同様である.

図7を見ると, 客の総移動距離 T^* を最小化する立地は線分都市の中央付近になっている. この結果は従来の社会的最適配置 (Weber 問題の解) と異なっている. 先述したように線分都市における社会的最適配置は $1/4$ と $3/4$ で

ある. 移動販売の魅力が低い場合には, 移動販売が選択されず, 通常の店舗が選択されてしまい, 結果として客の移動距離が増えてしまう. よって移動販売の魅力を増加させるために最適立地が中央付近となったと考えられる.

続いてパラメータに与える数値を変化させて様子を観察する. l_A , l_B は固定して, $l_a/l_A = l_b/l_B = 0.1$, $l_a/l_A = l_b/l_B = 0.2$, $\dots$, $l_a/l_A = l_b/l_B = 0.9$ と変化させる. このとき, 客の総移動距離 T^* を最小化する立地の推移は図8の通りとなった.

図8を見ると, $x_B = 0.9$ の場合を除いて $l_a/l_A = l_b/l_B$ の値が大きくなるにつれて最適立地は線分都市の中央付近に近づいている. また, $x_B = 0.9$ の場合は $l_a/l_A = l_b/l_B$ の値に関わらず, 線分都市の中心が最適立地となっている. 以上のことから, 移動販売の質が高まるにつれて, 最適立地は線分都市の中央に近づき, 既知の社会的最適配置から乖離した結果になっていくことがわかる.

5.3 客の総期待最大効用を最大化する場合

最後に, 客の総期待最大効用 H^* を最大化するように各店舗を出店する場合について考える.

通常の店舗 (A 店および B 店) が中央で対峙している場合

はじめは, $l_A = l_B = 1$, $l_a = l_b = 0.5$ の状況下で通常の店舗が都市の中央付近に立地する場合 ($x_A = 0.45$, $x_B = 0.55$) について考える. ここで, 前節と同様の理由から, 本節でもシステム最適を計算する. このとき, 客の総期待最大効用 H^* の等値線およびそれを最大化する立地は図9の通りとなった. 図の色を塗り分ける曲線, 赤丸はそれを最大化する a 店および b 店の立地を示している. また, 図9の白抜きの部分も移動販売の出店できない範囲を白く塗っている.

図9を見ると, 図2および図6の結果と同様に, 移動販売が互いに競合店舗の近くに立地する結果となっている. これは図6の場合と同様に, 移動販売の魅力が通常の店舗の魅力と比較すると小さいがために, 線分都市の両端側に立地すると客に選択されなくなってしまうことから, 結果的に都市の中央付近に寄ったものと考えられる. この結果

図7 総移動距離 T^* の等値線および最適立地 ($x_A = 0.1$, $l_a/l_A (= l_b/l_B) = 0.5$ に固定)

図8 パラメータに与える数値を変化させたときの客の総移動距離を最小化する立地の推移 ($x_A = 0.1$ に固定)
(図中の数値は $l_a/l_A (= l_b/l_B)$ の値) [結果をわかりやすくするために縦軸, 横軸の範囲が異なっていることに注意]

は, 客の総期待最大効用最大化の観点から見ても, 都市の郊外を移動販売で補うことのメリットが必ずしも大きくないことを示唆している。

通常の店舗 (A 店および B 店) が離れて立地している場合

次に, $l_A = l_B = 1$, $l_a = l_b = 0.5$ の状況下で $x_A = 0.1$ と固定したうえで $x_B = 0.9$, $x_B = 0.7$, $x_B = 0.5$ と 3 つのケースについて考える。このとき, 客の総期待最大効用 H^* の等値線および客の総期待最大効用を最大化する立地は図 10 の通りとなった。図 10 において色を塗り分ける曲線, 赤丸, 白抜き部分が表すものは図 9 と同様である。

図 10 を見ると, 客の総期待最大効用 H^* を最大化する立地は線分都市の中央付近になっている。この結果も前節の客の総移動距離を最小化する立地の場合と同様に, 線分都市の外側に移動販売を出店すると, 通常の店舗が選択されてしまい, 結果として期待最大効用が低くなってしまうために図 10 のような結果が得られたと考えられる。

続いてパラメータに与える数値を変化させて様子を観察する。 l_A , l_B は固定して, $l_a/l_A = l_b/l_B = 0.1$, $l_a/l_A = l_b/l_B = 0.2$, $\dots$, $l_a/l_A = l_b/l_B = 0.9$ と変化させる。このとき, 客の総期待最大効用 H^* を最大化する立地の推移は図 11 の通りとなった。

図 11 を見ると, 前節の客の総移動距離を最小化した場合と同様に, $x_B = 0.9$ の場合を除いて $l_a/l_A = l_b/l_B$ の値が大きくなるにつれて最適立地は線分都市の中央付近に近づいており, $x_B = 0.9$ の場合は $l_a/l_A = l_b/l_B$ の値に関わらず, 線分都市の中心が最適立地となっている。

5.4 3 つの最適立地の比較

ここまで計算した 3 つの最適立地を比較する。3 つの最適立地の共通点として, 移動販売の質が高くなると, 最適立地が線分都市の中央に近づいていくことが挙げられる。これは各店が自店の収入を最大化しようと振る舞う自由競争の果てに, 客の総移動距離が小さくなる立地や客の総期待最大効用が大きくなる立地が現れることを意味している。よって移動販売を導入することで, 店の収入を向上

図9 総期待最大効用 H^* の等値線および最適立地 ($x_A = 0.45$, $x_B = 0.55$, $l_a/l_A (= l_b/l_B) = 0.5$ に固定)

するだけでなく, 自由競争に干渉せずとも客にとっての利便性を増大させることができると示された。

3 つの最適立地の相違点は, パラメータに与える数値を変化させたときの最適立地の推移である。客の総移動距離 T^* を最小化した場合と客の総期待最大効用 H^* を最大化した場合の最適立地は, パラメータに与える数値を変化させた際にも, 大幅に変わることはないことが図 8 および図 11 からわかる。しかし, 自由競争によるナッシュ均衡は, パラメータに与える数値が変化すると, 大きく変わることが図 5 からわかる。よって, 自由競争の結果が住民サービスの向上をもたらすようにするためには, パラメータ (品揃えと客単価) を上手くコントロールする必要がある。つまり, あまりにも品揃えや客単価が小さいと, 集客力不足のために, 不便な位置に立地するのが得策となってしまう。ただし, これはあくまでも 2 つの主体 (A 店および B 店) が移動販売 (a 店および b 店) を提供するときの結果である。今後, 店舗数が多い場合や 2 次元平面への拡張を通じて, さらなる研究をすすめる必要がある。

6. おわりに

古典的ホテルリングモデルに移動販売を組み込むことで,

図 10 総期待最大効用 H^* の等値線および最適立地 ($x_A = 0.1$, $l_a/l_A (= l_b/l_B) = 0.5$ に固定)

図 11 パラメータに与える数値を変化させたときの客の総期待最大効用を最大化する立地の推移 ($x_A = 0.1$ に固定)
(図中の数値は $l_a/l_A (= l_b/l_B)$ の値) [結果をわかりやすくするために縦軸、横軸の範囲が異なっていることに注意]

移動販売について数値的根拠に基づく知見を得ることができた。特に、移動販売のパラメータが通常の店舗に近づくとき、自由競争の結果として現れるナッシュ均衡と、客の利便性を高める都市計画的観点に基づく立地が類似した立地となることを示すことができた。

今後の展望として、店舗数を増やすこと、2次元平面に拡張が挙げられる。また、本モデルを現実社会に適用し、比較することができればよりリアリティのある出力を得られると考えられる。さらには、時間軸を組み込んで分析を行うことにより移動販売の特徴を顕にすることが喫緊の課題として挙げられる。

謝辞

匿名の査読者の懇切なるアドバイスのお陰で、論文の読みやすさを向上させることができました。深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 岩間信之 (2013): フードデザート問題—無縁社会が生む「食の砂漠」, 農林統計協会.
- 2) 服部 忠, 加藤浩司 (2015): 出張商店街の実施をめぐる全国的動向, 都市計画報告集, No.14, pp.202–205.

- 3) 服部 忠, 加藤浩司 (2016): 福岡県大牟田市における出張商店街の取り組み—「よかもん商店街」による活動の現状と経過(その1)—, 都市計画報告集, No.15, pp.176–179.
- 4) 服部 忠, 加藤浩司 (2017): 福岡県大牟田市における出張商店街の取り組み—「よかもん商店街」による活動の現状と経過(その2)—, 都市計画報告集, No.15, pp.289–292.
- 5) 谷本志圭, 土屋 哲, 長宗我部まどか (2017): 移動販売のサービス水準に着目した店舗選択に関する実証分析, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.429–434.
- 6) Eaton, B. C. and R. G. Lipsey (1975): The Principle of Minimum Differentiation Reconsidered: Some New Developments in the Theory of Spatial Competition, Review of Economic Studies, Vol.42, pp.27–49.
- 7) Hotelling, H. (1929): Stability in Competition, Economic Journal, Vol. 39, pp.41–57.
- 8) 本間健太郎 (2012): 期待最大効用を最大化する施設の最適規模と最適数の解析解, 都市計画論文集, Vol.47, No.3, pp.865–870.
- 9) Ben-Akiva M., Lerman S. R. (1985): Discrete Choice Analysis, MIT press Cambridge, MA.
- 10) 栗田 治 (2013): 『都市と地域の数理モデル—都市解析における数学的方法—』, 共立出版.