

## 業種別商業集積に基づく都心商業地域の回遊行動モデル

### A Pedestrian Model for Urban Shopping Area Based on Categorized Shop Data

加藤 憲一 東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻

山田 孝子 関西学院大学総合政策学部・メディア情報学科

中心市街地を買い物を行いながら歩行する回遊モデルを提案する。歩行者は業種訪問順序をシナリオとしてもち、ブロック単位に分割された新商業地域を、商圈モデルに基づき業種別商業集積と現在地からの距離によって確率的に選択をおこないつつ回遊する。青森市と山形市中心市街地を例に歩行者通行量の実測値を用いて商業集積規模の誘引と距離のパラメータの設定を行った。中心市街地の規模やブロックごとの商業集積の業種分布の違いがパラメータに反映異なることが明らかとなった。

We propose a pedestrian model in urban shopping area to describes perestrians who walk up and down in the downtown shopping area. For each pedestrian, we give a scenaio to defines shop categories to visit in order. In our model, the urban shopping area is devided into blocks and the size of shops are calculated at each shop categories. According to the scenario, for each visit of a pedestrian, one of the shopping block among the urban area is selected by a probability. We applied our model to the urban area of Aomori city and Yamagata city. As a result, we know that the parameters suggest the characteristics of Pedestrians in Aomori and Yamagata city respectively.

*Keywords:* urban area, pedestrian model, gravity model

キーワード: 都心商業地域, 歩行者回遊行動モデル, 重力モデル

#### 1. はじめに

近年、地方都市では郊外型の大型店の出店等により、既存の都心商業地域の空き店舗増加や、それに伴う商店街の魅力の低下が問題となっている。商業地域内では歩行者は様々な目的から、複数の店舗を渡り歩き商品の購買を行う。このような歩行者の渡り歩きは、商業地域内における店舗の配置や、駐車場や駅、バス停などの位置関係、経路となる歩道の歩きやすさなどの要因と関連すると考えられ、都心再活性化の施策として店舗間の連携や歩道整備などによる回遊性の向上が求められている<sup>3)</sup>。

都心商業地域の環境的要因と歩行者通行量や商業施設の販売額などの商業地域活性化の指標との関係を明らかにするためには、個々の歩行者の渡り歩きを回遊行動モデルとして表現し、様々な立場から目的地を選択する歩行者の意思決定を定量的に扱うことが必要となる。このような観点から、歩行者が現在地からの距離や店舗床面積等の商業施設の集積規模に応じて目的地を確率的に決定する重力モデルが提案されている。著者らがみつけた範囲では、重力モデルを用いた歩行者行動モデルの既存の研究は距離や集積規模のパラメータを適切に設定することで、歩行者通行量やパーソントリップデータ等の実測データに当てはまる歩行者の渡り歩きを再現している<sup>1),2),4)</sup>。しかし、都心商業地域は様々な歴史的経緯を経て発展してきたものである。

例えばかつて市場が所在した周辺に、食料品を扱う店舗が集中するなど、地区ごとに業種の住み分けなどがなされている事例が見られる。このような都市では歩行者は購買目的に応じて異なった目的地区の選択を行うと考えられる。また書店などの比較的小規模でも存立しうる業種の店舗が与える影響も考慮する必要がある。例えば Borgers<sup>1)</sup>らは重力モデルを、購買品目や店舗の種類による分類を設け、歩行者の移動先のノード選択が購買目的により異なる選択確率を持つモデルに拡張しているが、購買目的の時系列を再現することは意図していない。

本論文では重力モデルに購買シナリオを導入することで、都心商業地域における歩行者の回遊行動モデルを提案する。購買シナリオとは、歩行者の渡り歩きの際の購買を行う店舗の業種の順序を記述したものである。これにより歩行者は一定の業種の順に目的地を選択することが表現でき、前述のような地区ごとに業種による住み分けがなされている都心商業地域に対して、より現実にそった渡り歩きを表現することが期待できる。一般的に重力モデルのパラメータに定められた値はなく、適用する都市の状況に応じてその都度設定されるが、本論文では距離と誘引のパラメータについて歩行者通行量の実測値による当てはめを行い、これらの値が都心商業地域の特徴に由来する歩行者の渡り歩きの違いを反映しているものとみなす。提案モデルを青森市と

山形市の2つの都市に適用する。これらの都市は歴史的な経緯などにより、店舗業種の偏り、駅と都心商業地域の位置関係などが大きく異なる。2つの都市で当てはめたパラメータを比較し、都心商業地域の大きさや地域内の特定の業種の店舗分布が歩行者の渡り歩きに与える影響を考察する。

2章では、青森市都心商業地域の商業施設の集積状況と、歩行者通行量の調査結果を紹介する。3章では本論文で提案する業種別の購買シナリオに基づく回遊行動モデルを示す。4章では提案モデルを青森市と山形市に適用し結果を検討する。5章では提案モデルの特徴を検討する。

## 2. 青森市都心商業地域の商業集積と歩行者通行量

青森市都心商業地域として、青森駅前から東へ向かう新町通りと、南側に並行する2本の街路、それらと南北に交差する3本の街路から主に構成される青森駅東側の東西500m、南北150mの地域を対象とする。対象地域内の独立した屋号を持つ店舗1件ごとに該当する業種に分類し、店舗面積、通りに面する長さ、階数（フロア数）等のデータを現地調査等で収集した。店舗面積は簡単のため土地面積にフロア数を乗算したものとし、百貨店やテナントビルなど集合施設では、施設ごとに業種別構成比を算出し、施設全体の面積に乘算して各業種の店舗面積とした<sup>1</sup>。店舗の業種は、日常的な購買行動に直接結びつくものとして、衣料品関係（衣料）、スーパーや菓子店等の食料品関係（食料）、飲食店喫茶店（飲食）、書籍CD店（書籍）、ゲームセンター等の娯楽施設（娯楽）の5業種とした。対象地域内には他に美容院や文房具店、病院等もそれぞれ数件存在するがここでは考慮しない。また昼間の歩行行動を想定しているため、相当数存在する居酒屋等の飲食店も除外している。対象地域内全体で202件の店舗を登録した。次に対象地域を街路の交差点ごとに13の領域に分割した。以下では分割した領域をエリアと呼ぶ。簡単のために通りの両側に面する施設は同じエリアに属するものとし、交差点角に面する施設は通りの両方のエリアに属するものとした。また大型の商業施設は主な入口が面するエリアにその面積を加算する。これらの方法でエリアごとの業種別店舗面積を集計した。

青森市が平成16年6月の平日に実施した歩行者通行量データを用い、対象地域の歩行者通行量をエリア単位で算出した。エリア単位の歩行者通行量として算出するために、通りの両側に観測地点を持つエリアは、それを合算し、片方の通りのみを観測しているエリアではその値を2倍する。これにより図-1に示すエリア1,2,3,4,7,8,10,11,12に対して歩行者通行量が得られた。以後これを歩行者通行量の実測値と呼び、実測値が得られているエリアを観測エリアと呼ぶことにする。

観測エリアに対して全業種または業種別の店舗数、店舗面積、通りに面する長さといった商業集積規模に関する諸量と歩行者通行量に対して、多変量解析や相関分析などを

<sup>1</sup>本論文で提案する歩行行動モデルでは面積比のみを用いる。店舗として有効に使用できる面積は敷地面積に比例すると仮定すれば、敷地面積を集計することで十分である。

予備実験として行った。その結果、業種別店舗面積は歩行者通行量を説明する因子として高い説明力を持つことがわかった。調査により得られた各エリアの店舗面積の合計（太字）と業種別店舗面積（細字）、観測エリアの歩行者通行量実測値（斜体）を図-1に示す。

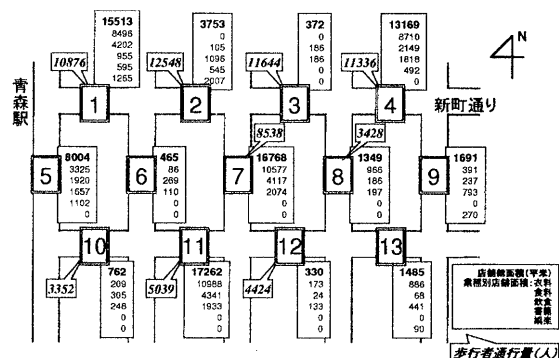


図-1. 青森市エリアごとの店舗面積 (m<sup>2</sup>) と歩行者通行量 (人).

各エリアの商業施設の集積の程度や業種のばらつきは、都心商業地域の形成の歴史的な経緯とも密接に関わっていると考えられる。例えばエリア1は歴史的に食料品を扱う市場が形成され、現在は複合商業施設が立地することにより食料品を主とした小規模な店舗が多い。業種別店舗分布は、衣料、食料、飲食業種の店舗については全業種の総店舗面積とほぼ同じ分布を持つが、書籍や娯楽の業種の店舗は一部のエリアに偏在する傾向が強い。

各エリアの歩行者通行量は、店舗面積と正の相関が認められるが、店舗総面積でみると商業施設は対象地域全体に不均一に分布し、新町通りに集中しているとは言えない。例えばエリア7とエリア11のように、全業種の総店舗面積がほぼ同規模でありながら、歩行者通行量は異なる箇所もあり、歩行者通行量とそのエリアの商業集積規模を、直接関連付けるのは困難である。また大通り（新町通り）の通行量が一律に大きいなど、歩行者通行量に影響を与える要素として経路としての利用形態も考慮する必要がある。これらの知見を踏まえ、本論文では購買店舗の業種によって区別する歩行者の回遊行動モデルを提案する。

## 3. 回遊行動モデル

### 3.1. モデル

歩行者が回遊行動を行う都心商業地域を、複数に分割したエリア（ノード）とエリア間を歩行者の移動経路として接続するリンクのグラフ構造によって表現する。エリアとは、交差点等の街路上の境界や、集合ビル内の店舗群のように一定まとまりをもった店舗の集合を想定している。歩行者は、適当なエリアを起点として、いくつかのエリアを訪問し起点エリアへ戻り行動を終える。このエリア間の一連の連鎖を歩行者の回遊行動と呼ぶ。1回のエリアの訪問は、1つの店舗での購買に対応し、これを店舗の業種によって区別する。歩行者が購買を行う業種の順序を購買シナリオと呼ぶ。購買シナリオは、購買を行う業種順に { 業

種 1, 業種 2, ...} のように記述する. 例えば, ある歩行者が購買シナリオ { 衣料, 食料 } に従うとは, 歩行者が起点エリアから出発し, 最初に衣料業種の店舗で購買を行うために訪問エリアを選択移動し, 次にそのエリアから食料業種の店舗で購買を行うために訪問エリアを選択し移動したのち, 起点エリアに戻ることを意味する. 以下では購買業種の順番を 1 ステップ, 2 ステップと順に呼び, 1 つの購買シナリオで購買を行う回数を回遊ステップ数と呼ぶ. 例えば, 先の例では 1 ステップ目の購買を行う業種は衣料, 購買シナリオの回遊ステップ数は 2 となる.

ここで  $\mathcal{J}$  を商業地域内のエリアの集合,  $\mathcal{G}$  を業種の集合,  $\mathcal{S}$  を購買シナリオの集合とする. また  $S_j^{(g)}$  をエリア  $j$  の業種  $g$  の商業集積規模,  $d(i, j)$  をエリア  $i$  と  $j$  の距離を表すものとする. 歩行者が行動を開始するエリア, 購買シナリオおよび購買を行うエリアは以下の A1, A2, A3, A4, A5 に基づいて確率的に選択する.

- A1 歩行者は 1 つのエリア  $j \in \mathcal{J}$  を確率  $p_j$  で選択し, これを出発エリアとする.
- A2 歩行者は購買シナリオ  $s \in \mathcal{S}$  を確率  $q_s$  で選択する. 歩行者の購買回数と, 購買店舗の業種の訪問順序は購買シナリオに基づく.
- A3 回遊行動の各ステップごとに歩行者は 1 つのエリアを確率的に選択する. エリア  $i$  にいて次に業種  $g$  の購買を行う歩行者がエリア  $j$  で購買を行う確率  $r^{(g)}(i, j)$  は式 (1) で与えられる.

$$r^{(g)}(i, j) = \frac{[S_j^{(g)}]^\gamma [d(i, j)]^{-\beta}}{\sum_{k \in \mathcal{J}} [[S_k^{(g)}]^\gamma] [d(i, k)]^{-\beta}}. \quad (1)$$

ここで  $\beta, \gamma$  は距離と商業集積規模がエリア選択に与える強さを表すパラメータで, 以下ではそれぞれ距離パラメータ, 誘引パラメータと呼ぶ.

- A4 エリア間の移動経路は現在のエリアと移動先のエリアのみに依存する確率に応じて選択する.
- A5 購買シナリオの全ての購買を終えた歩行者は起点エリアに戻り行動を終える.

仮定 A3 より訪問エリア選択は現在のエリアの位置関係に依存するため, 購買シナリオ { 衣料, 食料 } と { 食料, 衣料 } では歩行者の回遊行動は確率的に異なる. また 3.3 節で述べる歩行者通行量を用いたパラメータ推定のために以下の A6 を仮定する.

- A6 複数の歩行者は互いに独立に回遊行動を行う.

エリア間の移動経路や購買シナリオの集合  $\mathcal{S}$  は対象とする都心商業地域の性格に応じて設定する. 4.1 節では, 移動経路はリンク数による最短経路とし, 複数の最短経路を持つものは確率的に選択する.

### 3.2. エリア期待訪問回数

1 人の歩行者が提案モデルに基づいて回遊行動をとるとき, 各エリアの訪問回数の期待値は以下の方法で容易に得

られる. エリア  $i$  から出発した歩行者が購買シナリオ  $s \in \mathcal{S}$  による回遊行動を行うものとする. ここで  $T^s$  を購買シナリオ  $s$  の回遊ステップ数,  $g_m^s$  を購買シナリオ  $s$  の  $m = 1, 2, \dots, T^s$  回目の購買店舗の業種,  $I(j; k, l)$  をエリア通過回数, 即ち 1 人の歩行者がエリア  $k$  からエリア  $l$  へ移動するときエリア  $j$  を通過する回数とする. ステップ  $m = 0, 1, \dots, T^s$  でエリア  $l$  にいる確率  $p_m^{(i,s)}(l)$  は以下で与えられる.

$$p_0^{(i,s)}(i) = 1, \quad p_0^{(i,s)}(l) = 0, \quad l \neq i, \\ p_m^{(i,s)}(l) = \sum_{k \in \mathcal{J}} p_{m-1}^{(i,s)}(k) r^{(g_m^s)}(k, l), \quad m = 1, 2, \dots, T^s.$$

従って歩行者がエリア  $k$  を訪問する回数の期待値  $E[V_j]_{i,s}$  は以下で与えられる.

$$E[V_j]_{i,s} = \sum_{m=1}^{T^s-1} \sum_{k, l \in \mathcal{J}} p_{m-1}^{(i,s)}(k) r^{(g_m^s)}(k, l) I(j; k, l) \\ + \sum_{k \in \mathcal{J}} p_{T^s}^{(i,s)}(k) I(j; k, i). \quad (2)$$

### 3.3. 歩行者通行量に基づくパラメータ推定

提案モデルを用いて一人の歩行者の渡り歩きを実現するためには, 歩行者の起点エリア確率  $\{p_i\}$ , 購買シナリオの選択確率  $\{q_s\}$  およびエリア選択時に距離と商業集積規模に関するべき係数  $\beta, \gamma$  を設定する必要がある. しかしこれら歩行者個別の行動に関するパラメータを事前を知ることは困難である. 既存の多くの研究では, べき係数  $\beta, \gamma$  などを対象とする都市の歩行者の回遊行動に特定の属性とみなし, これを歩行者通行量調査やアンケート調査等を用いて得られた外部データを用いて推定している. 本論文では 2 章で紹介した青森市都心商業地域のように, 対象地区のいくつかのエリアに対する既知の歩行者通行量に適合するように未知パラメータを推定する. その際に, エリア選択のべき係数  $\beta, \gamma$  に加え, 歩行者通行量の観測時の総歩行者数  $N$  をあらかじめ設定し, 歩行者の起点エリア確率, 購買シナリオ選択確率を以下の方法で推定する.

歩行者通行量が既知である観測エリア全体の集合を  $\hat{\mathcal{J}}$  とし, 観測エリア  $j$  の歩行者通行量実測値を  $\hat{N}_j$  とおく. 1 人の歩行者がエリア  $i \in \mathcal{J}$  から出発し購買シナリオ  $s \in \mathcal{S}$  で回遊を行い, エリア  $i$  に戻るまでに観測エリア  $j$  を訪問 (通過) する回数の期待値  $E[V_j]_{i,s}$  は式 (2) で与えられるので, 仮定 A6 から観測エリアの実測値と推定値の誤差二乗和  $\varepsilon^2$  は以下で与えられる.

$$\varepsilon^2 = \sum_{i \in \hat{\mathcal{J}}} \left( \hat{N}_i - N \times p_i q_s E[V_j]_{i,s} \right)^2 \quad (3)$$

式 (3) の右辺は起点エリア確率  $p_i$ , 購買シナリオ選択確率  $q_s$  に対し凸関数となる. 従ってべき係数  $\beta, \gamma$ , 総歩行者数  $N$  を適当にとることにより, 誤差二乗和を最小にする起点エリア確率, 購買シナリオ選択確率は逐次的なアルゴリズムにより容易に算出できる.

総歩行者数は式 (3) から起点エリア確率, 購買シナリオ選択確率と同時に算出することも可能であるが, この方法では総歩行者数が極端に大きくかつ購買シナリオのなかでステップ数が小さいシナリオに大きな確率を付与することによって誤差二乗和を小さくすることができる。このときの起点エリア確率は観測エリアの歩行者通行量比とほぼ一致し, 現実の市街地では起点となりえないようなエリアから歩行者が行動を開始する不自然な結果となる。都心商業地域での渡り歩き行動は, 交通機関を利用するものや周辺地域から徒歩で流入する形態が想定されるので, 駅の乗降客数や駐車場の利用台数, 周辺地域の居住人口等のデータから入り込む人数をある程度予測できる可能性がある。4章ではこれらのデータを参考にしつつ, 総歩行者数がある程度の幅で設定することでパラメータの推定を行う。

4. 青森市, 山形市都心商業地域へのモデルの適用

4.1. 青森市都心商業地域のパラメータ推定

エリアグラフの設定: 3章で定義した回遊行動モデルを青森市都心商業地域に適用する。2章で設定した13個のエリアに青森駅(駅)とエリア北東端(NE), 南東端(SE), 南西端(SW)を新たに加えた17のエリアを構成する。ここで追加した駅, NE, SE, SWの4つのエリアは各業種の商業集積規模を0とし, 歩行者の起点としてのみ用いられるダミーエリアとする。他のエリアの商業集積規模は1章で算出した5業種の業種別店舗面積を用い, エリア間を図-2のように連結したグラフを考える。エリア間の距離は歩行者がエリア*i*にいるとき,  $d(i, i) = 1$ , すなわち現在いるエリアとの距離を1とし, 他のエリアとの距離はグラフ上のリンク数に1加算したものとする。またエリア間を移動する経路は最短経路をとるものとするが, 最短経路が複数ある場合は実際の街路の歩行のしやすさなどを考慮して, 図中で太線で示した新町通りに対応するリンクの利用距離が長い経路を優先することとした。例えばエリア1からエリア12へはエリア2,7を経由する距離4の経路をとる。また新町通りの通行距離が同じ経路が2つある場合は, 確率0.5でそれぞれ選択するものとした。例えばエリア1からエリア10へ移動する際にはエリア5を経由する経路とエリア6を経由する経路を確率0.5でそれぞれ選択する。

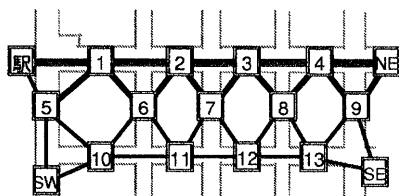


図-2. 青森市都心商業地域のエリアグラフ。

購買シナリオの設定: 一般に買い物を行う際には食料品などの持ち運びにくいものを後にすることや, 書籍や娯楽等の業種の店舗を複数回訪れるシナリオは一般的でないと考えられる。そこで購買シナリオの集合  $S$  として, i. 衣料を除く他の業種は高々1回のみ購買を行う, ii. 食料品の買い

回りが回遊に含まれる場合, 回遊の最後のステップで行う, iii. 回遊ステップ数は1以上4ステップ以下とする, 仮定をおくことで購買シナリオの個数を  $|S| = 176$  とした。パラメータのあてはめ: 距離パラメータ, 誘引パラメータとして, 斉藤ら<sup>4)</sup>やBorgersら<sup>1)</sup>はそれぞれ福岡市やマーストリヒト市のアンケート調査から0以上2未満の値を挙げている。そこで総歩行者数  $N = 5000, 6000, \dots, 15000$ , 距離と誘引パラメータを  $\beta = 0, 0.5, 1, 2, 3$ ,  $\gamma = 0.5, 1, 2, 3$  の対として以下の220組をとることとした。各パラメータセットに対して歩行者通行量の誤差二乗和を最小にする起点エリア確率, 購買シナリオ選択確率を推定する。

総歩行者数を固定し, 誤差二乗和を基準として最適な距離, 誘引パラメータを求める以下の4つの実験を行った。実験1は総歩行者数が同一なパラメータセットのなかで, 誤差二乗和を最も小さくするパラメータの組み合わせ  $(\beta^*, \gamma^*)$  を求めた。実験2は  $\gamma = 0$  としたとき  $\beta = 0, 0.5, 1, 2, 3$  の中で誤差二乗和を最小にする距離パラメータ  $\beta_0^*$  を求めた。実験3は  $\beta = 0$  としたとき  $\gamma = 0.5, 1, 2, 3$  の中で誤差二乗和を最小にする誘引パラメータ  $\gamma_0^*$  を求めた。実験4は, 提案モデルとの比較のため, 各エリアに対して5業種の面積の総和をそのエリアの商業集積規模として, 単一の業種(全業種)からなる購買シナリオによる回遊を行う全業種回遊行動モデルを考え, 誤差二乗和が最も小さくなるパラメータ  $(\hat{\beta}, \hat{\gamma})$  を求めた。このとき購買シナリオ集合は, 回遊ステップ数による区別のための4つの購買シナリオからなるものとした。

表-1に総歩行者数を9000人から12000人としたときの実験1~4から得られた距離, 誘引パラメータとそのときの歩行者通行量の誤差二乗和  $\epsilon^2$  を示す。また実験1から得た起点エリア確率, 購買シナリオ選択確率の推定値を表-2, 表-3にそれぞれ示す。表-2, -3に記載されていないエリアの起点確率, 購買シナリオの選択確率は0となった。

表-1. 青森市都心商業地域に対するパラメータあてはめの結果。

$N$	9000	10000	11000	12000
$(\beta^*, \gamma^*)$	(1,2)	(1,1)	(2,2)	(3,3)
$\epsilon^2 (\times 10^6)$	7.684	5.074	3.341	2.563
$(\beta_0^*, 0)$	(0,0)	(0.5,0)	(1,0)	(1,0)
$\epsilon^2 (\times 10^6)$	13.72	11.35	9.270	8.119
$(0, \gamma_0^*)$	(0,0.5)	(0,1)	(0,3)	(0,3)
$\epsilon^2 (\times 10^6)$	7.890	6.863	5.261	3.982
$(\hat{\beta}, \hat{\gamma})$	(0,0.5)	(0,0.5)	(0,0.5)	(0.5,0.5)
$\epsilon^2 (\times 10^6)$	12.06	10.46	9.049	8.043

表-2. 実験1による起点エリア確率。

エリア	起点エリア確率			
	9000	10000	11000	12000
総歩行者数 $N$	9000	10000	11000	12000
駅	0	0.045	0.025	0.006
NE	0.270	0.221	0.286	0.332
5	0	0	0.005	0.008
6	0.016	0.061	0.108	0.147
9	0.101	0	0	0
12	0	0.100	0.146	0
13	0.517	0.303	0.491	0.507
SE	0.098	0.269	0.090	0

表-3. 実験 1 による購買シナリオ選択確率.

購買シナリオ	購買シナリオ選択確率			
	9000	10000	11000	12000
総歩行者数 $N$	9000	10000	11000	12000
衣料, 飲食, 書籍, 食料	0	0	0	0
衣料, 飲食, 書籍, 衣料	0	0	0	0
衣料, 書籍, 飲食, 衣料	0.532	0.694	0	0
衣料, 飲食, 書籍, 娯楽	0	0	0	0
衣料, 書籍, 娯楽, 衣料	0.401	0.095	0.365	0.487
衣料, 書籍, 衣料, 飲食	0.063	0	0	0
衣料, 書籍, 飲食, 娯楽	0.005	0	0	0
衣料, 書籍, 衣料	0	0.210	0	0
衣料, 書籍, 飲食, 食料	0	0	0.547	0.286
食料	0	0	0.072	0.144
衣料, 書籍, 食料	0	0	0.016	0
書籍, 娯楽, 衣料, 飲食	0	0	0	0.083

青森市の歩行者の渡り歩きの特徴：実験を通して、購買シナリオ選択確率、起点エリア確率にそれぞれ以下のような特徴があることがわかった。購買シナリオ選択確率では、総歩行者数が 8000 人から 10000 人程度するとき、1 回目のステップで衣料、2 回目のステップで書籍のシナリオに常に正の確率が付与される。この特徴については次章で考察する。起点エリア確率については総歩行者数によらず起点エリアは駅とその周辺のエリア、および駐車場やバス停が存在する東側地区に偏在する傾向が観察できる。これは対象地域北側が港湾に隣接していることを考慮すると、歩行者の発生状況としては妥当な結果といえる。

実験 1 で求めた距離パラメータ  $\beta^*$  から総歩行者数の適切な値を考える。一般に距離パラメータが大きいと、現在地に近いエリアが選択されやすくなり、歩行者の 1 ステップの移動距離が小さくなる。従って総歩行者数が大きいときは距離パラメータも大きくする必要はある。しかし既存の研究では距離パラメータとしては高々 1.5 を超えない値が多く、 $\beta^*$  がこれを超えるような総歩行者数の設定は適切ではないと考えられる。一方、総歩行者数が 8000 人以下の場合常に  $(\beta^*, \gamma^*) = (0, 0.5)$  となった。これはパラメータ設定の中で最も小さい値の組み合わせであり、エリア選択に距離や業種が殆ど考慮されないことを意味している。またこのときは歩行者通行量の誤差二乗和は総歩行者数が 9000 人以上の場合に比べ大きくなる。以上を勘案すると青森市都心商業地域の総歩行者数を  $N = 10000$  人程度とみなすのが適切である。実際の総歩行者数については、駅や駐車場、あるいは周辺部からの徒歩による都心商業地域への流入から決定することができれば、起点エリア確率や購買シナリオ選択確率のより精度の高い推定とその検証が可能であると考えられるが今後の課題である。

4.3. 山形市都心商業地域のモデル化とパラメータ推定  
 エリアグラフの設定：山形駅から東側に十日町交差点に至り、そこから北側に伸びる七日町通りの文翔館前の交差点までの総延長約 2200m の通りの両側を山形市都心商業地域とする。青森市と同様に、エリアを主要な交差点で分割し、通りの両側に面する商業施設の業種別店舗面積を集計した。十日町交差点南東から発生する歩行者を考慮するためのダ

ミーエリア SE をあわせた 13 個のエリアによってグラフを構成した。また山形市が平成 16 年に行った歩行者通行量調査をもとに、8 個のエリアの歩行者通行量実測値を算出した。エリアの分割と各エリアの店舗面積の合計 (太字) と業種別店舗面積 (細字)、観測エリアの歩行者通行量実測値 (斜体) を図-3 に示す。歩行者通行量はエリア 5,9 といった対象地域の間で小さくなる。これは商業集積の高い地区がエリア 9,10,11 の七日町地区と、エリア 1,3 の駅前地区に分かれており、両地区間の距離は徒歩移動としてはやや離れていることに起因すると考えられる。また山形市対象地域の店舗総面積は約 9 万 5 千平米と青森市対象地域の約 8 万平米に比べ大きい。従って山形市都心商業地域は青森市に比べ広い領域に商業施設が分布しているのが特徴と言える。また業種別店舗分布をみると、書籍業種の店舗分布が店舗総面積の分布と相関が高い点が青森市と異なる。パラメータのあてはめ：総歩行者数  $N = 4000 \sim 10000$  人とし、青森市と同様に距離パラメータと誘引パラメータを変化させて起点エリア確率と購買シナリオ選択確率を算出する実験 1~4 を行った。表-4 に総歩行者数が 7000~10000 人のときの実験結果を示す。また実験 1 から得た起点エリア確率、購買シナリオ選択確率を表-5、表-6 に示す。山形市の歩行者の渡り歩き特徴：距離パラメータに対し誘引パラメータによる誤差二乗和に与える影響は青森市に比べ相対的に小さい。これは図-3 から山形市都心商業地域は商業集積規模、歩行者通行量ともに駅周辺地区と七日町地区に分かれ、両地区をまたがって移動する歩行者は少ない特徴を反映したものと考えられる。一方、表-6 のように、確率が付与される購買シナリオは衣料業種に限られる。これは青森市と異なり山形市では衣料業種が比較的歩行者通行量の少ないエリアにも分布しているのに対し、大規模商業施設の有無に依存して山形駅周辺と七日町地区に偏在している。そのため、両地区の間を何度も行き来するような不自然な状況避けるために、歩行者通行量に対する当てはまりが良い購買シナリオとしては衣料業種のみが選択される結果となったと考えられる。

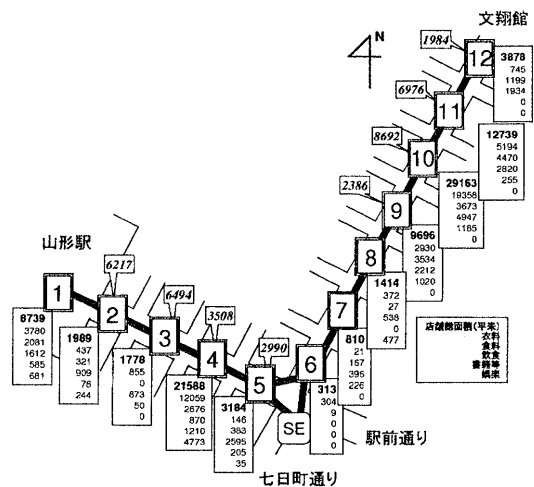


図-3. 山形市都心商業地域のエリアグラフ.

表-4. 山形市のパラメータ推定結果.

$N$	7000	8000	9000	10000
$(\beta^*, \gamma^*)$	(2,3)	(2,3)	(2,3)	(2,3)
$\varepsilon^2 (\times 10^6)$	3.818	2.750	2.121	1.613
$(\beta_0^*, 0)$	(2,0)	(2,0)	(3,0)	(2,0)
$\varepsilon^2 (\times 10^6)$	17.18	15.42	8.833	3.863
$(0, \gamma_0^*)$	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)
$\varepsilon^2 (\times 10^6)$	21.51	21.05	21.05	21.05
$(\hat{\beta}, \hat{\gamma})$	(2,3)	(2,3)	(2,3)	(2,3)
$\varepsilon^2 (\times 10^6)$	5.010	3.502	2.628	2.231

表-5. 実験 1 による起点エリア確率.

エリア	起点エリア確率			
	7000	8000	9000	10000
1	0.414	0.396	0.384	0.371
10	0	0	0.072	0.135
11	0.252	0.354	0.323	0.295
12	0.334	0.250	0.221	0.199

表-6. 実験 1 による購買シナリオ選択確率.

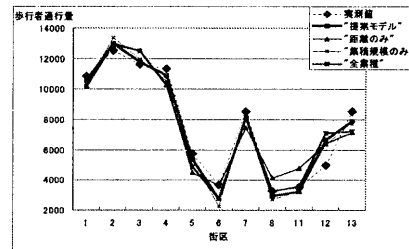
購買シナリオ	購買シナリオ選択確率			
	7000	8000	9000	10000
衣料	0	0.277	0.636	0.911
衣料, 衣料	0.899	0.672	0.288	0
衣料, 衣料, 衣料	0	0	0	0
衣料, 飲食, 衣料, 衣料	0.101	0.051	0.076	0.089

5. 提案モデルの考察

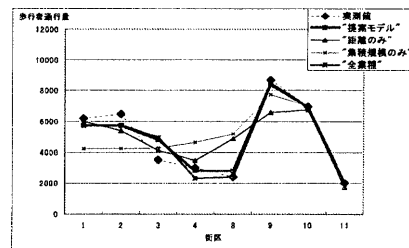
距離パラメータ, 誘引パラメータの歩行者通行量実測値に対する誤差を分析することで, 提案モデルの特徴を明らかにする. 図-4(a) は青森市で総歩行者数を 10000 人とし, パラメータを  $(\beta, \gamma) = (\beta^*, \gamma^*)$  (実験 1:提案モデル),  $(\beta_0^*, 0)$  (実験 2:距離のみ),  $(0, \gamma_0^*)$  (実験 3:集積規模のみ),  $(\hat{\beta}, \hat{\gamma})$  (実験 4:全業種) としたときの観測エリアにおける歩行者通行量推定値と実測値を比較したグラフである. 同様に山形市で総歩行者数を 8000 人としたときのグラフを図-4(b) に示す. 青森市に対する実験 2 の歩行者通行量の推定精度はエリア 8,11 など低い. 一方, 実験 1,3 ではエリア 12 のように実測値からはずれるエリアもあるが, 新町通りに相当するエリア 1,2,3,4 の歩行者通行量が一樣に大きくなるなどのおおよその傾向を再現している. 山形市に対しては実験 1,4 の結果に大差はなく, 業種による区別しない既存の重力モデルで歩行者通行量をある程度説明できる. 一方, 実験 2,3 では歩行者通行量の誤差二乗和が大きく, 当てはまりが悪くなる. 図-4(b) から山形市都心商業地域は商業集積規模, 歩行者通行量ともに駅周辺地区と七日町地区の 2 つのピークを持ち, 中間のエリア 8,9 付近で落ち込む特徴を持つことがわかる. しかし, 距離や商業集積規模の一方のみに基づくモデルでは, 2 つの地区を結ぶエリア間移動が発生する可能性が高く, 中間エリアにおける歩行者通行量の落ち込みを表現することができないためである.

購買シナリオ選択確率の推定値を観察する. 青森市都心商

業地域に対する実験結果では, 総歩行者数が 8000~10000 人程度の場合, 1 回目のステップで衣料業種の購買を行い, 次に書籍の業種店舗へ移動する購買シナリオを高い確率でとることがわかった. 書籍に該当する業種の店舗は, エリア 1,3,4 とエリア 5 にのみ存在し, 新町通りのような人通りの多いエリアにのみ存在する. 書店の業種の所在を情報として持つことにより, 歩行者通行量の推定精度を高くとることができるものと考えられる. 一方で山形市を対象とした実験結果では, 表-6 に示したように購買シナリオには衣料以外の業種は殆ど含まれない. これは, 山形市では娯楽業種以外の業種の店舗面積のエリア分布は総店舗面積のそれと高い相関を持つため, 業種による店舗分類が回遊行動に影響する要因として青森市ほど強くはたらかなかったと考えられる. これらのことから, 店舗が連続して存在し, ひとつの徒歩圏の中に集積している都心商業地域に対しては提案モデルにより歩行者通行量をよりよく説明することができることを確認した.



(a). 青森市, 総歩行者数  $N = 10000$ .



(b). 山形市, 総歩行者数  $N = 8000$ .

図-4. 距離, 商業集積規模係数による推定精度の比較.

6. まとめ

距離や商業集積規模といった要素が都心商業地域の歩行者の渡り歩きに与える影響は, 対象とする地域の大きさにより異なることがわかった. 青森市のような奥行きが 1km を超えない比較的コンパクトな都心商業地域を考える場合現在地からの距離はあまり影響を与えないが, 比較的大きな地域では歩行者のエリア選択には距離と商業集積規模の両方の要素を考慮することが必要である. また特定の業種の店舗配置パターンが全体の商業施設のそれと異なる場合には, 店舗を業種により分類し, 歩行者の回遊行動に購買シナリオの概念を導入することにより, より実態にみあう回遊行動を表現できることがわかった.

## 参考文献

- [1] Borgers, A. and Timmermans, H.(1986), A Model of Pedestrian Route Choice and Demand for Retail Facilities within Inner-City Shopping Areas, *Geographical Analysis*, 18(2), 115-128, Ohio State University Press.
- [2] Borgers, A. and Timmermans, H.(1986), City Centre Entry Points, Store Location Patterns and Pedestrian Route Choice Behaviour: A Microlevel Simulation Model, *Socio-Economic. Planning. Science.* 20(1), 25-31, Ohio State University Press.
- [3] 木下瑞夫, 牧村和彦, 山田春利, 浅野光行 (2001), 歩行回遊行動からみた地方都市における都心歩行者空間計画に関する一考察, *都市計画*, 232, 86-95.
- [4] 斉藤参郎, 石橋健一 (1992), 説明変数を含んだマルコフチェインモデルによる都心再開発に伴う消費者回遊行動の変化予測, 第 27 回日本都市計画学会学術研究論文集, 439-444.