店舗の空間的・業種的共起関係に基づいた 中心市街地の潜在構造分析

稲垣 和哉¹・原 祐輔²・桑原 雅夫³

¹正会員 東北大学大学院博士課程前期課程 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: inagaki@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院助教 情報科学研究科・JST さきがけ (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: hara@plan.civil.tohoku.ac.jp

³正会員 東北大学大学院教授 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究では、中心市街地内の店舗の共起関係に基づいて、店舗の集積メカニズムを説明できる潜在的な属性を実証的に明らかにした。店舗をノード、店舗間の共起関係をリンクとした店舗の共起ネットワークで店舗集積を表現し、店舗の共起ネットワークを生み出した店舗の潜在的な属性を推定する手法を開発した。ケーススタディとして大阪市難波駅周辺を取り上げ、難波駅周辺における店舗集積を生み出した店舗の潜在的な属性を推定した。結果として、1) 属性間の関係、2) 属性の性質、3) 店舗と属性の関係といった、店舗の集積メカニズムの定量的な性質を把握することができた。

Key Words: *facility accumulation, stochastic block model, latent structure analysis, network analysis*

1. 序論

(1) 背景

人口減少・少子高齢化や画一的な巨大開発などの影響により、多くの中心市街地は衰退し均質化が進んでいる。このような状況を受け、まちづくりやリノベーションなどの取り組みにみられるような既存の建物の用途変更や拡張により、中心市街地全体の活性化を図ろうとする動きがある。しかし、賑わいが持続しない、周辺店舗にまで波及しないといった事例が多く、取り組みがうまく機能していないのが現状である。その理由として、個々の店舗がどのような規則で集まっているのかという、店舗の集積メカニズムが明らかになっていないため、賑わいを生み出す施設や施策を打つことができていないことが挙げられる。

現在の中心市街地は既に様々な店舗で構成されている。今後行われるであろう中心市街地の開発では、その大小を問わず既存の店舗群のなかに新たな店舗をつくらなくてはならない。個々の店舗で完結するのではなく、周辺店舗と賑わいを共有し、中心市街地全体の活性化を効率的に推進していくにあたり、個々の店舗に着目した店舗の集積メカニズムは有用な知見となる。

(2) 着眼点

店舗の立地や集積に関する研究はこれまでに様々なアプローチによって行われている。しかし、業種や地

価といった外生的に与えられる属性によって予め店舗を分類しているため、業種ごとに集計され、個々の店舗の違いを捉えることが困難となる。しかし、現実には、都市内の店舗は同一業種であっても豊かな多様性を有しており、賑やかな地域ほどその傾向は顕著である。では、予め店舗を分類せず、個々の店舗に着目した店舗の集積メカニズムを明らかにするには何に着目すればよいのだろうか。

全国で類似した商業地区が形成されている一方で、東京における原宿や表参道、大阪における堀江や日本橋のように個性を持った商業地区もみられる。これらの地区では店主および顧客の価値観や趣味が反映された商品やサービスが展開されており、他の商業地区との差別化に成功している。このような商業地区の個性は1つの店舗のみでなく、周辺店舗との補完関係や相乗効果によって形成されていると考えられる。このように、中心市街地の店舗の集積状況は一樣ではなく、各店舗の周辺にどのような店舗が存在するのかという店舗間の相互作用に従っていると考えられる。

以上をふまえて本研究では個々の店舗と周辺店舗の関係性に着目する。そして、店舗の集積メカニズムを説明することができる店舗の潜在的な属性が存在する考える。この店舗の潜在的な属性が周辺店舗との共起関係を生み出しているとする。これにより、どのような属性の店舗同士が集まりやすいのか、または集まりにくいのかという傾向を表現することができる。

(3) 目的

本研究では、中心市街地内の店舗の共起関係に基づいて、店舗の集積メカニズムを説明できる潜在的な属性を実証的に明らかにすることを目的とする。具体的には、店舗をノード、店舗間の共起関係をリンクとした店舗の共起ネットワークで店舗集積を表現し、店舗の共起ネットワークを生み出した店舗の潜在的な属性を推定するという逆問題を解く。このアプローチは、店舗の位置座標のみを用いて作成した店舗の共起ネットワークに対して、Nowicki and Snijder¹⁾によって提案された Stochastic Block Model を基本とした枠組みを用いることで分析可能である。ケーススタディとして大阪市難波駅周辺を取り上げ、難波駅周辺における店舗集積を生み出した店舗の潜在的な属性を推定し、店舗の集積メカニズムの定量的・定性的な性質を実証的に明らかにする。

(4) 貢献

本研究の学術的な貢献は、店舗の共起関係に基づいた店舗の集積メカニズムを実証的に分析する手法を開発した点である。このアプローチにより、店舗集積を生み出す店舗の潜在的な属性をいくつかのパターンに分類することができる。新たな店舗の分類軸の発見によって、1) 属性間の関係、2) 属性の性質、3) 店舗と属性の関係といった、店舗の集積メカニズムの定量的な性質を把握することができる。

社会的な貢献として、店舗の集積メカニズムに基づいた店舗の立地計画が挙げられる。店舗運営者は、周辺店舗の属性をもとに取り扱う商品を決めたり、求める顧客層に一致する周辺店舗の属性を選択したうえで、最適な立地場所を決定できる。行政は、属性間の関係、属性の性質に基づいて、既存の各店舗の属性を強化・変化させるような店舗の誘致および規制を計画することができる。

2. 既往研究と本研究の位置付け

(1) 店舗の立地・集積に関する既往研究

本研究に関連する都市内施設の集積現象に関する研究を整理する。Regional Science の分野の研究の一例として、Jones and Simmons³⁾は、店舗を出店するかどうかは結節点からの距離に依存し、そしてその傾向は業種ごとに異なることを明らかにした。また、社会学においては松澤²⁾が、店舗業種の地理的分布をもとに、東京の繁華街は駅を中心とした三層構造を形成していることを発見した研究がある。これらの研究では、結節点などの場所の持つ利便性と各業種の立地傾向を明らかにしているが、店舗を業種で予め分類しているため、

個々の店舗に着目した店舗の集積メカニズムには関心が向けられていない。

特定の業種の集積に着目した研究として、山村・後藤⁴⁾は、東京大都市圏における知識産業の立地は一般的なサービス産業に比べて強い集積傾向が見られることを明らかにした。また、食・ナイトライフといった都市のアーバンティが知識産業の集積に大きな影響を与えていることを明らかにした。伊藤・有田⁵⁾は、原宿におけるアパレル小売店は時代ごとに異なるエリアで集積してきたことを明らかにした。また、不動産会社や行政といった主体の関与が集積に大きな影響を与えていることを明らかにした。これらの研究も、特定産業の集積に着目しており、多様性のある中心市街地には関心が向けられていない。

(2) Functional Region の推定に関する既往研究

一方、特定産業や行政区分に捉われずに、実質な地域区分を明らかにする研究が地理学を中心に行われてきた。この地域区分は Functional Region (機能地域) と呼ばれる。Functional Region とは様々な社会的活動 (e.g. 交通、経済取引) の相互作用を通じて、一体的・補完的に機能する空間領域である。Functional Region を設定し、各種統計を Functional Region 単位で集計することは、空間的な広がりをもつ人々の活動を正確に把握するうえで有益と考えられている。

Goddard⁶⁾は、ロンドンの中心市街地におけるタクシーの行動パターンと場所選択の関係を定量的に評価した。結果、タクシーの移動軌跡を用いて、明確な機能をもつ5つの地区 (e.g. ビジネス地区) を発見している。Ratti et al.⁷⁾は、イギリス国内の電話通信履歴から、行政で定められた地域の境界とよく一致した人々の相互交流を反映した地域の境界を推定している。その他にも近年は情報通信技術の発展に伴い、情報科学分野での研究が広がっている。位置情報 SNS の施設情報を用いた研究 (Cranshaw and Yano⁸⁾, Cranshaw et al.¹²⁾, Lawlor et al.¹⁵⁾, Noulas et al.¹⁸⁾), 携帯電話の通話履歴を用いた研究 (Soto and Frias-Martinez⁹⁾, Toole et al.¹⁴⁾), タクシーの移動軌跡を用いた研究 (Qi et al.¹⁰⁾, Yuan et al.¹⁷⁾, Yuan et al.¹⁹⁾), 位置情報及びテキスト情報を含む画像データを用いた研究 (Yin et al.¹¹⁾, Kling and Pozdnoukhov¹³⁾, Lee et al.¹⁶⁾) 等が盛んに研究されている。この研究のどれもが特定産業や行政区分でなく、実体的な交通行動や経済活動こそが地区を特徴づけていることを示唆している。

(3) 本研究の位置づけ

Functional Region に関する研究は入手可能なデータの分解能から、通勤圏や経済圏などに代表されるような広域地域区分を対象とすることが多い。そのため、中

図-1 店舗の共起ネットワークとして表される店舗集積

図-2 2種類の周辺店舗属性のみが存在する仮想的な都市

心市街地内の地区間の違いなどを捉えることが難しいという問題点がある。Functional Region の概念と同様、人々の交通行動や経済活動が中心市街地の店舗集積に表れていると考えれば、個々の店舗の集積関係から、中心市街地における店舗集積のマクロな構造（機能地域間の空間的な隣接関係）とミクロな構造（特定の機能地域を構成する店舗・業種パターン）を分析可能ではないかと本研究は考えた。そこで、本研究は、店舗を業種で予め分類せず、店舗の共起関係に基づいた潜在属性を用いて個々の店舗の集積メカニズム明らかにすることで、実証的に店舗の潜在属性を明らかにする研究を行う。

3. 本研究の問題設定と仮説

(1) 分析対象とする空間条件

本研究では、中心市街地における店舗とその店舗の集積状況を分析対象とする。対象とする中心市街地の各店舗を i 、店舗集合を N とする。店舗 i の業種を x_i とする。任意の店舗 i, j は両店舗が一定距離内に立地しているか否かによって分類できる。店舗 i, j がある一定の距離内に存在する場合、店舗 i, j は共起関係にあると定義する。共起関係の有無 a の集合を $\{0, 1\}$ とし、店舗 i, j に共起関係が存在するとき $y_{ij} = 1$ 、存在しない時 $y_{ij} = 0$ と表す。また、 $y_{ij} = 1, \forall j \in N \setminus \{i\}$ を満たす店舗 j の集合を店舗 i の周辺店舗 E_i と定義する。ここで、 $N \setminus \{i\}$ は店舗集合 N から要素である店舗 i を除いた集合を表す。以降、バックスラッシュ「 $\setminus$ 」は集合から特定の要素を取り除くときに用いる。中心市街地の各店舗 $i \in N$ をノード、店舗の共起関係 $y_{ij} = 1, \forall i, j \in N, i < j, i \neq j$ をリンクとし、これらで表されるネットワークを対象とする中心市街地の店舗集積 L と定義する。このイメージを図-1に示す。ここで表されている店舗の共起ネットワークが店舗集積 L である。

店舗の共起関係は、店舗間における補完関係や相乗

効果などの相互作用の有無を意味している。これは、来街者の商業地区内における消費の需要や回遊行動に起因するものであると考えることができる。従って本来店舗間の共起関係は、各来街者の店舗間移動履歴や滞在時間など実際の活動実態に基づいて設定することが望ましい。しかし、このような各個人の行動履歴データを入手することはプライバシーの観点から困難である。そこで、本研究では店舗間の相互作用は空間的に近いほど起こりやすいと仮定し、店舗間の空間的距離を上記の代理変数として用いた。

(2) 問題設定と仮説

本研究の問題設定は、対象とする中心市街地の店舗集積 L を生み出す要因を明らかにすることである。上記にて説明した空間条件のもと、店舗集積 L の生成要因を定量的に分析・把握するにあたり、以下の仮説を提示する。

- 前提：中心市街地の店舗集積 L は各店舗の業種 x_i に影響を受けている。
- 仮定 1：共通する周辺店舗属性をもつ店舗は空間的に共起しやすい。
- 仮定 2：各周辺店舗属性はそれぞれユニークな店舗・業種生成分布をもつ
- 仮説：店舗集積 L は周辺店舗属性によって生成された。

中心市街地の店舗集積 L の構成要素である共起関係 $y_{ij} \in L$ は、店舗 i, j の業種 x_i, x_j を用いて説明するよりも、店舗 i, j の周辺店舗 E_i, E_j との関係で規定される潜在属性 z_i, z_j を用いて説明するほうが説明力が高い。この潜在属性を「周辺店舗属性」と呼ぶ。

この仮説が検証された場合、「周辺店舗属性」という新たな店舗の分類軸を発見することができる。

(3) 本研究の概念のイメージ

上記の仮定，仮説の具体的なイメージを簡単な例を用いて説明する．仮想的な都市として，若者型とビジネスパーソン型の2つの周辺店舗属性のみが存在する都市を考える．店舗業種はカフェ，衣料品店，オフィス，銀行の4種類のみが存在するとする．周辺店舗属性ごとに異なる業種生起確率を持つとしよう．このとき，図-2に示すように，3つの衣料品店と1つのカフェに囲まれたカフェAと2つのオフィス，1つの銀行，1つのカフェに囲まれたカフェBを考える．周辺環境を考えない場合，カフェAもカフェBも，その潜在属性が若者型である確率，ビジネスパーソン型である確率は

$$P(\text{カフェ} = \text{teenager}) = \frac{0.3}{0.3 + 0.2} = 0.6 \quad (1)$$

$$P(\text{カフェ} = \text{business}) = \frac{0.2}{0.3 + 0.2} = 0.4 \quad (2)$$

である．しかし，周辺環境を考慮し，集積しているこれら5店舗の周辺店舗属性がすべて等しい場合を考えよう．周辺4店舗の周辺店舗属性が若者型またはビジネスパーソン型である場合，カフェAの潜在属性の事後確率は

$$\begin{aligned} P(\text{カフェ} A = \text{teenager} | \text{周辺4店舗} = \text{teenager}) \\ = \frac{0.6^3 \cdot 0.6 \cdot 0.3}{0.6^3 \cdot 0.3 + 0.05^3 \cdot 0.2} \approx 0.99 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P(\text{カフェ} A = \text{business} | \text{周辺4店舗} = \text{business}) \\ = \frac{0.05^3 \cdot 0.2}{0.6^3 \cdot 0.3 + 0.05^3 \cdot 0.2} \approx 0.01 \end{aligned} \quad (4)$$

であり，これらの事後確率からカフェAは若者型のカフェである確率が高いと推論することができる．同様に，カフェBの潜在属性の事後確率は

$$\begin{aligned} P(\text{カフェ} B = \text{teenager} | \text{周辺4店舗} = \text{teenager}) \\ = \frac{0.05^2 \cdot 0.05 \cdot 0.3}{0.05^2 \cdot 0.05 \cdot 0.3 + 0.6^2 \cdot 0.15 \cdot 0.2} \approx 0.00 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} P(\text{カフェ} B = \text{business} | \text{周辺4店舗} = \text{business}) \\ = \frac{0.6^2 \cdot 0.15 \cdot 0.2}{0.05^2 \cdot 0.05 \cdot 0.3 + 0.6^2 \cdot 0.15 \cdot 0.2} \approx 1.00 \end{aligned} \quad (6)$$

であり，これらの事後確率からカフェBはビジネスパーソン型のカフェである確率が高いと推論することができる．このように，空間的に共起している店舗間の潜在属性である周辺店舗属性というものを考えることで，同業種のカフェであっても，異なる特徴をもった店舗であると推論することができる．これが本研究が導入した周辺店舗属性という概念のイメージである．詳細なモデル化やデータからパラメータを推定する方法に関しては，4.に記述する．

(4) 仮説の検証方針

店舗業種に基づく中心市街地の店舗集積 $\mathbf{L}$ の生成確率を考える．業種集合を M ，各業種を $m, l \in M$ とす

る．店舗 i の業種が m のとき， $x_i = m$ と表す．業種 m の店舗と業種 l の店舗の共起確率を $\eta(m, l)$ とする．このとき，店舗集積 $\mathbf{L}$ の生成確率 (尤度) は

$$P(\mathbf{L}) = \prod_{m, l \in M} \eta(m, l)^{n_{m, l}^1} \cdot (1 - \eta(m, l))^{n_{m, l}^0}$$

と表すことができる．ここで， $n_{m, l}^1$ は業種 m の店舗と業種 l の店舗が共起している数， $n_{m, l}^0$ は共起していない数を意味し，次のように表される．

$$n_{m, l}^1 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \delta(x_i = m) \cdot \delta(x_j = l) \cdot \delta(y_{ij} = 1)$$

$$n_{m, l}^0 = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \delta(x_i = m) \cdot \delta(x_j = l) \cdot \delta(y_{ij} = 0)$$

$\delta(\cdot)$ はクロネッカーのデルタとする．店舗の業種による分類軸を用いた店舗集積 $\mathbf{L}$ の尤度よりも，本研究で提案する「周辺店舗属性」による分類軸を用いた店舗集積 $\mathbf{L}$ の尤度が大きいならば，中心市街地の店舗集積 $\mathbf{L}$ を生成する要因としては「周辺店舗属性」の方が説明力が高いことを検証することができる．

4. 拡張 Stochastic Block Model

(1) 店舗集積の生成モデルの仮定

3.にて示した仮説をもとに，店舗集積の生成過程を生成モデルとして表現する．本研究で提案する生成モデルは Nowicki and Snijders¹⁾ による Stochastic Block Model を拡張したものである．本モデルを拡張 Stochastic Block Model と呼ぶ．このモデルでは，各店舗が持つ潜在変数である周辺店舗属性が店舗の業種 x_i や共起関係 y_{ij} をそれぞれ生成することで，現状の店舗集積 $\mathbf{L}$ が生成されたと仮定する．図-3(左側)に店舗集積の生成過程のイメージを示す．まず，各店舗に対して周辺店舗属性が生成される．次に，業種が周辺店舗属性に基づいて生成される．最後に，店舗間の共起関係が両店舗の周辺店舗属性に基づいて生成される．以上の過程を繰り返し，現状の店舗集積 $\mathbf{L}$ が生成されたと考える．

店舗 i は周辺店舗属性を1つ持ち，その周辺店舗属性性を z_i とする．周辺店舗属性の集合を K ，各周辺店舗属性性を $k, h \in K$ とし，店舗 i の潜在変数が k であるとき $z_i = k$ と表す．

店舗集積 $\mathbf{L}$ の生成過程を以下に示す．まず，各店舗の周辺店舗属性の生成過程を説明する．各店舗 i に対して，周辺店舗属性 $z_i \in K$ はパラメータ θ の多項分布から生成される．店舗 i が周辺店舗属性 k を持つ確率は θ_k で表され各店舗が周辺店舗属性を持つ確率は互いに独立であると仮定すると，周辺店舗属性 $\mathbf{z}$ の同時分布は

$$P(\mathbf{z} | \theta) = \prod_{k \in K} \theta_k^{n_k} \quad (7)$$

図-3 本研究で仮定する店舗集積の生成過程のイメージ

図-4 拡張 Stochastic Block Model のグラフィカルモデル

と表せる． n_k は周辺店舗属性 k を持つ店舗の数を意味し，次のように表す．

$$n_k \equiv \sum_{i \in N} \delta(z_i = k) \quad (8)$$

$\delta(\cdot)$ はクロネッカーのデルタである．次に，各店舗の業種の生成過程を説明する．各店舗 i に対して，業種 $x_i \in M$ は周辺店舗属性 z_i によって決まり，パラメータ π_{z_i} の多項分布から生成される．店舗 i が業種 m を持つ確率は π_{m,z_i} で表され，各店舗が業種を持つ確率は周辺店舗属性 z_i が決まったもとは，互いに独立であると仮定すると，業種 x の同時分布は

$$P(x|z, \pi) = \prod_{m \in M} \prod_{k \in K} \pi_{m,k}^{n_{m,k}} \quad (9)$$

と表せる． $n_{m,k}$ は周辺店舗属性 k を持つ業種 m の数を意味し，次のように表す．

$$n_{m,k} \equiv \sum_{i \in N} \delta(x_i = m) \cdot \delta(z_i = k) \quad (10)$$

最後に，店舗の共起関係の生成過程を説明する．全店舗の組み合わせ集合を C とする．店舗の組 $ij \in C$ に対して，共起関係（リンク） y_{ij} は周辺店舗属性 z_i, z_j によって決まり，パラメータ $\eta(z_i, z_j)$ の二項分布から生成される．店舗 i, j が共起関係を持つ確率は $\eta_1(z_i, z_j)$ で表され，各店舗の組が共起関係を持つ確率は互いに独立であると仮定すると，共起関係 y の同時分布は

$$P(y|z, \eta) = \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{k,h \in K} (\eta_a(k,h))^{e_a(k,h)} \quad (11)$$

と表せる． $e_a(k,h)$ は周辺店舗属性 k,h を持つ店舗間の共起関係が a であるリンクの数を意味し，次のように表す．

$$e_a(k,h) \equiv \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \delta(y_{ij} = a) \cdot \delta(z_i = k) \cdot \delta(z_j = h) \quad \forall a \in \{0,1\} \quad (12)$$

以上が店舗集積 L の生成過程である．

また，上記の多項分布のパラメータである θ, π はそれぞれ，ハイパーパラメータ α, γ のディリクレ分布から，二項分布のパラメータである η はハイパーパラメータ β のベータ分布から生成される．この生成モデルの変数間の依存関係をグラフィカル表現したものが図-4である．ここで，黒丸で表現された α, β, γ は各パラメータの事前分布のハイパーパラメータであり， x_i, y_{ij} は観測変数である．一方， θ, η, π, z_i はパラメータなどを表す潜在変数である．求めたい潜在変数・パラメータの事後分布を式展開する際に，変数の依存関係を視覚的に把握できる点でこのグラフィカルモデルは有用である．

図-4のグラフィカルモデルより，周辺店舗属性 z が生成されたもとは，共起関係 y ，業種 x は互いに条件付き独立であるので，この生成モデルにおける y, x, z の同時分布，すなわち店舗の業種をふまえた店舗集積 L の生成確率は，式 (7), (9), (11) より

$$\begin{aligned} P(z, y, x | \theta, \eta, \pi) &= P(y|z, \eta) \cdot P(x|z, \pi) \cdot P(z|\theta) \\ &= \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{k,h \in K} (\eta_a(k,h))^{e_a(k,h)} \\ &\quad \cdot \prod_{m \in M} \prod_{k \in K} \pi_{m,k}^{n_{m,k}} \cdot \prod_{k \in K} \theta_k^{n_k} \end{aligned} \quad (13)$$

で与えられる．

本研究にて提案した拡張 Stochastic Block Model は，ノードの特徴値が関係性ネットワークの生成に与える影響を明示的に考慮した点が Nowicki and Snijders による Stochastic Block Model と異なる．これは本研究における，店舗の業種が店舗の集積に与える影響に相当する．また，1) 中心市街地の店舗集積を店舗間の共起関係及び店舗業種による関係性ネットワークとして表現した点，2) 明示的には示すことが困難な店舗の潜在的な属性をノードの潜在クラスとして扱った点が本研究の独自性である．

(2) 潜在変数・パラメータの事後分布の導出

店舗集積 L と各店舗の業種 x_i が観測されたもとの周辺店舗属性 z , パラメータ θ, η, π の事後分布を導出する. 各潜在変数の事後分布は他の潜在変数を積分消去することで求めることができ, この手法は Collapsed Gibbs Sampling と呼ばれる. この過程は図-3の右側に相当し, 本節では周辺店舗属性 z の事後分布の導出過程を示す.

a) 周辺店舗属性 z の事後分布の導出

店舗 i の周辺店舗属性 z_i の事後分布は, ベイズの定理と周辺店舗属性 z_i に関係する分子により次のように表される.

$$\begin{aligned} P(z_i = k | \mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \\ = \frac{P(z_i = k, \mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} | \alpha, \beta, \gamma)}{P(\mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} | \alpha, \beta, \gamma)} \quad (14) \\ \propto P(z_i = k, \mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} | \alpha, \beta, \gamma) \end{aligned}$$

式 (14) を, 条件付確率によるチェイン・ルールを用いて積の形に分解すると, 周辺店舗属性 z_i の事後分布は4つの項の積で表せる.

$$\begin{aligned} P(z_i = k, \mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} | \alpha, \beta, \gamma) \\ = P(\mathbf{y}_i | \mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \\ \cdot P(z_i = k | \mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \quad (15) \\ \cdot P(x_i | \mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} \setminus \{x_i\}, \alpha, \beta, \gamma) \\ \cdot P(\mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} \setminus \{x_i\} | \alpha, \beta, \gamma) \end{aligned}$$

$\mathbf{y}_i$ は店舗 i の共起関係 y_{ij} の集合を表す. ここで, 図-4にて示したグラフィカル表現の変数間の依存関係に従い, 式 (15) の各項はそれぞれ依存関係のある変数のみを用いて, 次のように積の形で分解できる.

$$\begin{aligned} P(\mathbf{y}_i | \mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \\ = P(\mathbf{y}_i | z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \eta) P(\eta | \beta) \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(z_i = k | \mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \\ = P(z_i = k | \theta) P(\theta | \alpha) \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(x_i | \mathbf{y} \setminus \mathbf{y}_i, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x} \setminus \{x_i\}, \alpha, \beta, \gamma) \\ = P(x_i | z_i = k, \pi) P(\pi | \gamma) \quad (18) \end{aligned}$$

以上より, 周辺店舗属性 z_i の事後分布は式 (14) に式 (15), (16), (17), (18) を代入し, 周辺店舗属性 z_i に関係する項のみを残すと,

$$\begin{aligned} P(z_i = k | \mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \\ \propto P(\mathbf{y}_i | z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \eta) P(\eta | \beta) \cdot P(z_i = k | \theta) P(\theta | \alpha) \\ \cdot P(x_i | z_i = k, \pi) P(\pi | \gamma) \quad (19) \end{aligned}$$

と表せる. さらに, 式 (19) の θ, η, π を積分消去する

と, 周辺店舗属性 z_i の事後分布は

$$\begin{aligned} P(z_i = k | \mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \mathbf{x}, \alpha, \beta, \gamma) \\ \propto \iiint P(\mathbf{y}_i | z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \eta) P(\eta | \beta) \\ P(z_i = k | \theta) P(\theta | \alpha) P(x_i | z_i = k, \pi) P(\pi | \gamma) d\pi d\theta d\eta \\ = \int P(\mathbf{y}_i | z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \eta) P(\eta | \beta) d\eta \\ \cdot \int P(z_i = k | \theta) P(\theta | \alpha) d\theta \\ \cdot \int P(x_i | z_i = k, \pi) P(\pi | \gamma) d\pi \quad (20) \end{aligned}$$

と表せる. 以上より周辺店舗属性 z_i の事後分布は, パラメータ η, θ, π の事後分布の期待値に比例することがわかる. 以降, パラメータ η, θ, π の事後分布の期待値を導出する.

b) パラメータ η, θ, π の期待値の導出

式 (20) のパラメータ η に関する項は次のように表せる.

$$\begin{aligned} \int P(\mathbf{y}_i | z_i = k, \mathbf{z} \setminus \{z_i\}, \eta) P(\eta | \beta) d\eta \\ = \int \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{h \in K} \eta_a^{d_a(i,h)} P(\eta | \beta) d\eta \\ = \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{h \in K} \int \eta_a^{d_a(i,h)} P(\eta_a(k, h) | \beta) d\eta_a(k, h) \\ = \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{h \in K} E_{P(\eta_a(k, h) | \beta)} [\eta_a(k, h)^{d_a(i,h)}] \\ = \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{h \in K} (E_{P(\eta_a(k, h) | \beta)} [\eta_a(k, h)])^{d_a(i,h)} \\ = \prod_{a \in \{0,1\}} \prod_{h \in K} \frac{e_a(k, h) + \beta_{(k,h)}^a}{\sum_{k', h' \in C} (e_a(k', h') + \beta_{(k',h')}^a)} \quad (21) \end{aligned}$$

ここで, $d_a(i, h)$ は店舗 i と店舗 $j \in N \setminus \{i\}$ の共起関係の有無 a を, 店舗 j の周辺店舗属性 z_j ごとに集計した数であり, 次のように表される.

$$\begin{aligned} d_a(i, h) = \sum_{h \in K} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \delta(y_{ij} = a) \delta(z_j = h) \\ \forall a \in \{0, 1\} \quad (22) \end{aligned}$$

次に, 式 (20) のパラメータ θ に関する項も同様に次のように表せる.

$$\begin{aligned} \int P(z_i = k | \theta) P(\theta | \alpha) d\theta \\ = E_{P(\theta_k | \alpha)} [\theta_{i,k}] = \frac{m_k + \alpha_k}{\sum_{k' \in K} (m_{k'} + \alpha_{k'})} \quad (23) \end{aligned}$$

最後に, 式 (20) のパラメータ π に関する項も同様に

次のように表せる。

$$\int P(x_i|z_i = k, \pi)P(\pi|\gamma)d\pi$$

$$= \mathbf{E}_{P(\pi|\gamma)}[\pi_{m,k}] = \frac{n_{m,k} + \gamma_k}{\sum_{k' \in K} (n_{m,k'} + \gamma_{k'})} \quad (24)$$

以上より、式 (20) に式 (21), (23), (24) を代入して、周辺店舗属性 z_i の事後分布

$$P(z_i = k|\mathbf{y}, \mathbf{z} \setminus \{i\}, \mathbf{x}, \mathbf{c}, \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\epsilon})$$

$$\propto \prod_{a \in A} \prod_{h \in K} \frac{e_a(k, h) + \beta_{(k, h)}}{\sum_{k, h' \in C} (e_a(k, h') + \beta_{(k, h')})} \quad (25)$$

$$\cdot \frac{m_k + \alpha_k}{\sum_{k'=1}^K (m_{k'} + \alpha_{k'})} \cdot \frac{n_{f,k} + \gamma_k}{\sum_{k'=1}^K (n_{f,k'} + \gamma_{k'})}$$

が得られる。

このように、店舗集積 $\mathbf{L}$ と各店舗の業種 x_i が観測されたもとで、周辺店舗属性 z の事後分布を求めることができる。また、パラメータ $\boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\pi}$ の事後分布も同様に求めることができる。

5. 実データを用いた店舗集積の基礎分析

(1) 対象エリア

本研究では大阪市難波駅周辺の約 2.5km 四方で囲まれた地区を分析対象エリアとする (図-5)。南北に御堂筋、東西に長堀通が通っており、御堂筋を境として東側に心斎橋エリア、西側にアメリカ村及び堀江エリアが広がっている。心斎橋エリアは商店街を中心とした繁華街、アメリカ村は若者をターゲットとした小規模小売店が集積しているエリアである。堀江エリアも小規模小売店が集積しているエリアであるが、アメリカ村よりも一世代上の客層に支持されている点で異なる。御堂筋の起点には難波駅が位置しており、駅を中心とした商業ビル・ショッピングモールが集積する駅前エリアとなっている。また駅前エリアの南東には電器店が数多く集積する日本橋エリアが広がっている。

(2) データ概要

本研究で用いるデータは位置情報 SNS である foursquare²⁰⁾ から入手したデータであり、主として商業店舗や公共施設のデータである。このデータは店舗名、業種、緯度、経度の情報で構成されている。データ数は 9032 個、業種数は 276 個である。業種は foursquare 利用者により観測可能な範囲で詳細に設定されている。例えば、飲食店として大きく分類できる場合であっても、イタリア料理店や中華料理店などに細かく分類されている。店舗数が多い順に和食店 (954 店)、バー (565 店)、カフェ (436 店)、ラーメン・麺類店 (249 店)、居酒屋 (220 店)、美容院・床屋 (209 店)、イタリア料理店 (197 店)、衣料品店 (187 店) となっている。この店舗データ

図-5 大阪市難波駅周辺

を基に、対象エリアの店舗集積 $\mathbf{L}$ を作成した (図-6)。

(3) 店舗の共起関係を規定する直線距離の設定

本研究では、1) 分析対象エリアにおける 5 車線以上の大通り (約 50m) 及び一街区の大きさ (大きい街区で一辺が約 100m)、2) 大通りをはさんで立地している店舗間には共起関係が存在しにくい、また街区内の店舗間には共起関係が存在しやすいと考えられること、を考慮し店舗の共起関係を規定する直線距離を 50m に設定した。

分析対象エリアの境界条件の設定に際して、北は長堀通という大通りを境界として設定した。東西及び、南の境界に関しては図-6 に示すネットワーク内の最も大きなグラフが単独で成立するような範囲として設定した。

各店舗の位置情報は、利用者がアプリ内の地図で直接位置を指定することで決定されている。そのため、位置座標を店舗のどの部分に設定するかは店舗を登録する利用者に左右されるが、ほとんどの場合店舗の敷地内に設定されている。本研究ではこの利用者によって設定された位置座標を店舗の代表点とみなし、店舗間の直線距離を算出した。なお、2 階以上や地下に存在する店舗に対しては高さの情報を考慮せず、1 階に存在する店舗同様に利用者によって設定された位置座標を代表点として直線距離を算出した。また、位置情報は世界測地系で小数点 10 桁まで得られているため、共起関係を規定する直線距離 50m に対して誤差が分析結果に与える影響は無視できるほど小さいと考えられる。

(4) 基礎分析

a) 店舗集積 $\mathbf{L}$ における業種間の共起関係

まず、2.(2) にて示した仮説の前提である、店舗業種がどのように集積しているかを分析する。業種の大分類には Foursquare で定められている以下の 9 種類を用いた。A: 飲食店、B: 小売店・サービス、C: 夜の娯楽、

図-6 難波駅周辺の9032店舗のネットワーク表現

図-7 業種の共起関係を表すブロック図

D: 芸術・娯楽, E: 旅行・交通, F: アウトドア・レクリエーション, G: 専門店・その他, H: 大学, I: 住宅. この業種間の共起関係をブロック図で表したものが図-7である. 業種間の共起確率が0.12以上の場合, 業種間の共起関係を表すブロックを灰色で表示し, 業種間に共起関係が存在するとみなす.

このブロック図より次の2点が明らかとなった. 1) 同業種は共起しやすい, 2) 小売店・サービス (B) と芸術・娯楽 (D), 飲食店 (A) と夜の娯楽 (C) など, 業種間には共起しやすい組み合わせが存在する. 以上より, 店舗集積 L は業種間の共起関係に影響を受けていることが分かり, 3. にて提示した仮定の前提の妥当性が示された.

(5) 各エリアにおける業種間の共起関係

店舗集積 L は特定の業種間の共起関係に影響を受けていることが示されたが, 各エリアの部分的な店舗集積においても同様の共起関係がみられるのだろうか. ここでは例としてカフェを取り上げ, 対象エリア全体, 堀江エリア, 日本橋エリアにおけるカフェの共起傾向をみることで上記を明らかにする.

対象エリア全体, 堀江エリア, 日本橋エリアにおけるカフェの共起傾向を図-8に示す. 横軸には全業種と大分類, 縦軸にはカフェと共起する業種の割合を表している. 対象エリアのカフェは全般的に様々な業種と共起する傾向が見て取れるが, 特にデパートや複合映画館などと共起しやすいという傾向を有していることが分かる. 次に, 堀江エリアのカフェは特定の業種と共起する傾向が見て取れるが, 特にリサイクル/ビンテージストアやベーグルショップなどと共起しやすいという傾向を有していることが分かる. 最後に, 日本橋エリアのカフェは特定の業種と共起する傾向が見て取れるが, 特にその他の夜の娯楽やゲームカフェなどと共起

しやすいという傾向を有していることが分かる. このように, カフェの共起傾向は対象エリア全体と堀江エリア・日本橋エリアで異なり, 堀江エリアと日本橋エリア間でも異なることが分かった. この傾向は他の業種の店舗でも同様である.

以上より, 業種は店舗集積 L の大局的なメカニズムを説明することができるが, 各エリアの部分的な店舗の集積メカニズムを説明することはできない. 個々の店舗に着目した店舗の集積メカニズムを説明するにあたり, 業種ではなく周辺店舗属性を用いるほうが望ましいという仮説を検証するために, 拡張 Stochastic Block Model を用いて対象エリアにおける店舗集積の潜在構造分析を行う.

6. 分析結果と考察

(1) 本研究の仮説の検証

本研究では, 周辺店舗属性の数を $|K| = 10$ と設定した. この設定は分析後の各周辺店舗属性の解釈のしやすさから決定している. 拡張 Stochastic Block Model を用いた分析の結果, パラメータ θ, η, π , 周辺店舗属性 z を推定することができ, 9032 の各店舗それぞれの周辺店舗属性が明らかとなった. 本研究では, Collapsed Gibbs Sampling における繰り返し計算毎に店舗集積 L の対数尤度を計算した. そして繰り返し計算 50 回程度で対数尤度が収束したことを確認し, パラメータの推定が適切になされたと判断した.

次に本研究の仮説の検証として, 業種による店舗の分類軸を用いた場合と, 周辺店舗属性による店舗の分類軸を用いた場合の店舗集積 L の生成確率 (尤度) を比較する. (1) 業種を用いた場合の対数尤度は -396902 , (2) 周辺店舗属性を用いた場合の対数尤度は -290761 とな

図-8 対象エリアにおけるカフェの共起傾向

り、周辺店舗属性を用いた方が対数尤度を大幅に改善していることがわかる。店舗集積 L を (1) 業種を用いて説明する場合、パラメータ数は $|M| \times |M| = 76176$ 個である。一方で (2) 周辺店舗属性を用いる場合、パラメータ数は $|K| \times |K| + |K| + |K| \times |M| = 2870$ 個であり、本手法は (1) と比べて大幅に少ないパラメータ数で店舗集積を表現している。これより、(2) 周辺店舗属性を用いるモデル化が、(1) 業種によるモデル化に比べ

てより縮約された店舗の集積メカニズムを捉えることができています。以上より、本研究の仮説の妥当性が示された。

(2) π の推定結果とその解釈

パラメータ π の推定結果から、各周辺店舗属性に割り当てられた店舗の特徴的な業種を明らかにする。周辺店舗属性 k における各業種の生起確率を表すパラメータ π_k は 276 の要素を持つ非負ベクトルである。これらをすべて記述することは紙面の関係上難しいため、 π_k の特徴的な業種をもとに解釈を行う。パラメータ π の推定結果に基づく、周辺店舗属性の解釈を表-1 に示す。ここでは、特徴的な業種を以下の指標 H で評価し、特徴的な業種上位 10 種を表示している。

$$H(m_k) = \frac{\frac{n_{m,k}}{n_k}}{\frac{n_m}{|M|}}$$

ここで、 m_k は周辺店舗属性 k に割り当てられた業種 m 、 n_m は業種 m の店舗数、 $n_{m,k}$ は周辺店舗属性 k に割り当てられた業種 m の店舗数、 $|M|$ は全店舗数、 n_k は周辺店舗属性 k に割り当てられた店舗数を表す。 $n_{m,k}/n_k$ は周辺店舗属性 k に割り当てられた店舗の内、業種が m である店舗の割合を表し、 $n_m/|M|$ は全店舗数の内、業種が m である店舗の割合を表している。これらの比をとることで、業種 m の周辺店舗属性 k に対する集中度合 $H(m_k)$ を表すことができる。

特徴的な業種をもとに各周辺店舗属性の解釈を行った。ここでは、例として周辺店舗属性 1, 2, 3, 4, 5 を取り上げる。周辺店舗属性 3 にみられる特徴的な業種として、おもちゃ/ゲーム店、ホビーショップ、電器店、金物屋が挙げられる。これらは、特定の目的を持った人々が訪れる業種と考えられるため、周辺店舗属性 3 は「専門店型」と解釈できる。周辺店舗属性 5 にみられる特徴的な業種として、ブティック、衣料品店、美容院/床屋が挙げられる。これらは、流行に敏感な若い人々が訪れる業種と考えられるため、周辺店舗属性 5 は「若者型」と解釈できる。周辺店舗属性 1 にみられる業種は全て、店舗数が多い業種の上位 15 に含まれている。これらは対象エリアにおいてよくみられる平均的な業種であると考えられるため、周辺店舗属性 1 は「平均型」と解釈できる。周辺店舗属性 2 にみられる特徴的な業種として、銀行、ドラッグストア/薬局、書店が挙げられる。また、他の周辺店舗属性に比べ、周辺店舗属性 2 には鉄道駅が多く含まれている。これらは、鉄道駅などの交通結節点を中心として、利便性や人の多さを生かした業種と考えられる。従って、周辺店舗属性 2 は「結節点型」と解釈できる。周辺店舗属性 4 にみられる業

表-1 各周辺店舗属性の特徴的業種とその解釈

周辺店舗属性 1	周辺店舗属性 2	周辺店舗属性 3	周辺店舗属性 4	周辺店舗属性 5
1 イタリア料理店	メガネ店	おもちゃ/ゲーム店	家具/家財店	ブティック
2 レストラン	パン屋	ホビーショップ	電器店	衣料品店
3 ラーメン/麺類店	デザートショップ	電器店	ホビーショップ	イタリア料理店
4 バー	化粧品店	CD ショップ	衣料品店	居酒屋
5 カフェ	銀行	金物屋	定食屋	美容院/床屋
6 焼肉/バーベキュー料理店	婦人服店	書店	ブティック	焼肉/バーベキュー料理店
7 和食店	ドラッグストア/薬局	ライブハウス	オフィス	和食店
8 衣料品店	紳士服店	食料品店	ラーメン/麺類店	カフェ
9 居酒屋	ショッピングモール	アートギャラリー	その他	その他
10 美容院/床屋	書店	ファーストフード店	美容院/床屋	バー
解釈	平均型	結節点型	専門店型	専門店型緩衝帯

周辺店舗属性 6	周辺店舗属性 7	周辺店舗属性 8	周辺店舗属性 9	周辺店舗属性 10
1 ラウンジ	ホテル	寿司屋	ラウンジ	ガソリンスタンド/ガレージ
2 カラオケバー	バー	バー	その他の夜の娯楽	集合住宅
3 ナイトクラブ	焼肉/バーベキュー料理店	韓国料理店	カラオケバー	公園
4 バー	レストラン	居酒屋	寿司屋	クリーニング店
5 焼肉/バーベキュー料理店	中華料理店	焼肉/バーベキュー料理店	アジア料理店	駐車場
6 居酒屋	イタリア料理店	和食店	ナイトクラブ	橋
7 和食店	衣料品店	レストラン	焼肉/バーベキュー料理店	歯科医院
8 その他	居酒屋	美容院/床屋	バー	ペットショップ
9 ラーメン/麺類店	韓国料理店	ラーメン/麺類店	和食店	史跡
10 カフェ	和食店	イタリア料理店	ラーメン/麺類店	学校
解釈	飲み屋型	飲食店型	飲食店型緩衝帯	大人型

表-2 各周辺店舗属性に属する店舗数

周辺店舗属性	解釈	店舗数	割合 (θ_k)
1	平均型	505	0.056
2	結節点型	1488	0.165
3	専門店型	1179	0.131
4	専門店型緩衝帯	621	0.069
5	若者型	651	0.072
6	飲み屋型	586	0.065
7	飲食店型	698	0.077
8	飲食店型緩衝帯	590	0.065
9	大人型	519	0.057
10	日常生活型	2195	0.243

図-9 周辺店舗属性間の共起関係を表すブロック図

種には、周辺店舗属性 3 と 5 における特徴的な業種が共に含まれている。これは両者が接する場所に立地する店舗群であると考えられ、両者の特徴の変化を緩和するような役割を果たしていると考えられる。従って、周辺店舗属性 4 は「専門店型緩衝帯」と解釈できる。同様に他の周辺店舗属性も解釈することができ、その結果を表-1 に整理した。このように、対象エリアでは多様な業種が存在している一方で、周辺店舗属性ごとにみると一部の業種が集まりやすいという偏りが存在することが分かった。

(3) θ の推定結果

次にパラメータ θ の推定結果から、各周辺店舗属性に属する店舗数を表-2 に示す。表-2 から、日常生活型には最も多くの店舗が属しており (2195 店舗)、平均型に属している店舗数は最も少ない (505 店舗) ことがわかる。これは難波駅周辺の地区を構成する店舗のマクロ的属性として解釈できる。

(4) η の推定結果

パラメータ η の推定結果より、周辺店舗属性間における共起関係の有無を示す。図-9 は周辺店舗属性ごとにまとめて共起関係の行列表示を行ったブロック図であり、各セルは店舗間の共起関係を表している。ここで、本研究では、周辺店舗属性間の共起確率が 0.02 以上の場合、周辺店舗属性間の共起関係を表すブロックを灰色で表示し、周辺店舗属性間に共起関係が存在するとみなす。

対象エリアにおける、周辺店舗属性に基づく店舗集積のマクロ構造を把握するために、上記のブロック図を図-10 のようにネットワーク表示した。図-10 より、結節点型・専門店型緩衝帯・若者型・飲み屋型、平均型・

図-10 周辺店舗属性の共起関係

飲食店型・飲食店型緩衝帯・大人型，周縁部にある専門店型・日常生活型という，店舗の共起関係から店舗の位置情報を捨象した潜在構造が明らかとなった。

(5) z の推定結果と地理的分布

各店舗の周辺店舗属性 z の推定結果を示す。図-11 は全店舗を周辺店舗属性ごとに色分けし，地図上にマッピングしたものである。図-11 より，各周辺店舗属性は難波駅周辺の対象エリアにおいてモザイク状にクラスタを形成している。また，同一クラスタであっても地理的に離れた分布をしており，1つ1つのクラスタの地理的サイズは高々半径 250m 程度である。これにより，難波駅周辺エリアでは異なる周辺店舗属性が街区ごとに切り替わる特徴を持っていることが示される。この特徴により，御堂筋に沿って歩行する際に異なる商業店舗パターンを持つエリアを横断していると来訪者に感じさせる効果があると考えられる。

また，図-10 で明らかにした周辺店舗属性の共起関係が空間的に表現されていることがわかる。例えば，結節点型は飲み屋型と直接隣接する傾向にある。これは飲み屋街に対するアクセスのし易さ，また飲んだ後の帰宅のしやすさという消費者の需要に合致する。一方で，専門店型と若者型は直接は隣接しにくく，専門店型緩衝帯を介して位置している。これは，両者で提供されているサービスや消費者の需要が異なるため，両者の個性を互いに消さないように離れて位置していると考えられることができる。

最後に，各店舗の周辺店舗属性がどのように推定されたのかについて，5.(5) と同様，カフェを対象として見てみよう。その結果，駅前エリアに立地しているチェーン店のカフェは結節点型(周辺店舗属性 2)に，堀江エ

図-11 周辺店舗属性の地理的分布

リアに立地しているアパレル店に併設されたカフェは若者の街型(周辺店舗属性 5)に，日本橋エリアに立地しているメイドカフェは専門店型(周辺店舗属性 3)にそれぞれ分類されている。以上から本手法によって店舗を業種ではなく周辺店舗の存在を考慮して分類できていることが確認できた。

7. 結論

本研究では，店舗の共起関係に基づいて，店舗の集積メカニズムを説明できる潜在的な属性を実証的に明らかにすることを試みた。

まず，店舗集積を店舗をノード，店舗間の共起関係をリンクとした店舗の共起ネットワークとして定義した。次に，店舗集積は店舗の潜在的な属性(周辺店舗属性)によって生成されたという仮定のもと，店舗集積の生成モデルを構築し，観測可能な店舗の業種および共起関係から周辺店舗属性の事後分布を推定するという拡張 Stochastic Block Model を提案した。ケーススタディとして大阪市難波駅周辺を取り上げ，難波駅周辺における店舗集積を生み出した周辺店舗属性を推定し，店舗の集積メカニズムの定量的・定性的な性質を実証的に明らかにした。

得られた知見を以下に示す。

- 「周辺店舗属性」の性質：各「周辺店舗属性」は，特徴的業種という定量的な性質を持っている。そして，各「周辺店舗属性」はこの定量的な性質をふまえてそれぞれ解釈することができる。
- 「周辺店舗属性」間の関係：店舗集積は「周辺店舗属性」間の共起関係で表現できる。これにより，店舗の共起関係から店舗の位置情報を捨象した，店舗集積の潜在構造を把握することができる。
- 店舗と「周辺店舗属性」の関係：業種に依らず，

「周辺店舗属性」を用いて店舗を分類することができる。

本研究によって明らかにした店舗の集積メカニズムより、中心市街地における賑わいを生み出す要因として次の2点が考えられる。1点目は、同じ周辺店舗属性の店舗による数街区程度の空間的な広がりを持った集積である。これにより歩行圏内に複数の特徴を持つ地区が存在することになり、対象エリアにおける賑わいや多様性を生み出していると考えられる。2点目は、周辺店舗属性間の共起関係である。異なる周辺店舗属性が隣接することで、両者の相乗効果からさらに賑わいを生み出す場合もあれば、空間的に距離をとることで各周辺店舗属性ごとに特徴を生かした賑わいを生み出す場合もあると考えられる。

以上より、中心市街地に賑わいをもたすための施策として次の2点が可能性として示唆される。1) 同じ周辺店舗属性の店舗が近くに立地することにより街区の特徴的な雰囲気形成されていると考えられるので、類似する雰囲気をもつ店舗・業種を近くに立地させることで街区の雰囲気を強化することが重要である。2) 離れて立地したほうが良い周辺店舗属性の場合、異なる周辺店舗属性が混ざらないように1)をふまえて緩衝帯を意図的につくり出すことが重要である。

今後の課題を整理する。1つ目は、店舗の集積メカニズムにおける普遍性の発見である。本研究では大阪市難波駅周辺の一事例についてのみしか分析していないため、得られた知見が他の中心市街地でも共通して当てはまるのかは不明である。今後は他の中心市街地についても分析を行い、普遍的な周辺店舗属性や周辺店舗属性間の共起関係を発見する必要がある。2つ目は時間的な変化を考慮した店舗集積メカニズムの解明である。本研究では大阪市難波駅周辺における現状の店舗集積を説明できているが、店舗集積の時間的な変化を考慮していない。今後は各店舗の時間的な変化を考慮し、店舗が集積する過程や要因を明らかにする必要がある。

謝辞：本研究の一部はJST さきがけの支援を受けたものです。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Nowicki, K. and Snijders, T. A. B. : Estimation and prediction for stochastic blockstructures, *American Statistical Association Journal of the American Statistical Association*, Vol. 96, No. 455, pp. 1077-1087, 2001.
- 2) 松澤光雄: 繁華街を歩く東京編—繁華街の構造分析と特性研究—, pp. 13-46. 総合ユニコム選書, 1986.
- 3) Jones, K. G. and Simmons, J. W. (藤田直晴, 村山祐司監訳): 商業環境と立地戦略, pp. 86-91, 大明堂, 1992.
- 4) 山村崇, 後藤春彦: 東京大都市圏における知識産業集積の形成メカニズム, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 78, No. 689, pp. 1523-1532, 2013.
- 5) 伊藤彰良, 有田智一: アパレル小売集積地区の成長と空間特性に関する研究, 都市計画論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 831-836, 2014.
- 6) Goddard, J. B.: Functional regions within the city centre: A study by factor analysis of taxi flows in central London, *Transactions of the Institute of British Geographers*, pp. 161-182, 1970.
- 7) Ratti, C., Sobolevsky, S., Calabrese, F., Andris, C., Reades, J., Martino, M., Claxton, R. and Strogatz, S. H.: Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions, *PloS ONE*, Vol. 5, No. 12, 2010.
- 8) Cranshaw, J. and Yano, T.: Seeing a home away from the home: Distilling proto-neighborhoods from incidental data with latent topic modeling, *CSSWC Workshop at NIPS*, Vol. 10, 2010.
- 9) Soto, V. and Frias-Martinez, E.: Automated land use identification using cell-phone records, *Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on MobiArch*, pp. 17-22, 2011.
- 10) Qi, G., Li, X., Li, S., Pan, G., Wang, Z. and Zhang, D.: Measuring social functions of city regions from large-scale taxi behaviors, *Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 384-388, 2011.
- 11) Yin, Z., Cao, L., Han, J., Zhai, C. and Huang, T.: Geographical topic discovery and comparison, *Proceedings of the 20th International Conference on World Wide Web*, pp. 247-256, 2011.
- 12) Cranshaw, J., Schwartz, R., Hong, J. I. and Sadeh, N. M.: The livelihoods project: Utilizing social media to understand the dynamics of a city, *ICWSM*, 2012.
- 13) Kling, F. and Pozdnoukhov, A.: When a city tells a story: Urban topic analysis, *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 482-485, 2012.
- 14) Toole, J. L., Ulm, M., Gonzalez, M. C. and Bauer, D.: Inferring land use from mobile phone activity, *Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*, pp. 1-8, 2012.
- 15) Lawlor, A., Coffey, C., McGrath, R. and Pozdnoukhov, A.: Stratification structure of urban habitats, *Pervasive Urban Applications Workshop*, 2012.
- 16) Lee, R., Wakamiya, S. and Sumiya, K.: Urban area characterization based on crowd behavioral lifelogs over Twitter, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 17, No. 4, pp. 605-620, 2013.
- 17) Yuan, J., Zheng, Y., Xie, X., Wang, Y., Zheng, K. and Xiong, H.: Discovering urban functional zones using latent activity trajectories, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 27, No. 3, pp. 712-725, 2015.
- 18) Noulas, A., Scellato, S., Mascolo, C. and Pontil, M.: Exploiting semantic annotations for clustering geographic areas and users in location-based social networks, *The Social Mobile Web*, 2011.
- 19) Yuan, J., Zheng, Y. and Xie, X.: Discovering regions of different functions in a city using human mobility and POIs, *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 186-194, 2012.
- 20) foursquare, <https://ja.foursquare.com>, 閲覧年月日: 2014年7月2日

(2016. 2. 26 受付)

A LATENT STRUCTURE ANALYSIS OF A CITY CENTER USING SPATIAL AND CATEGORICAL CO-OCCURRENCE INFORMATION OF FACILITIES

Kazuya INAGAKI, Yusuke HARA and Masao KUWAHARA

This paper aims at evaluating the facility accumulation of city center, focusing on spatial and categorical co-occurrence information of facilities. We expressed the co-occurrence information by relational data. We revealed the latent structure of the co-occurrence information by Extended Stochastic Block Model. We validated our approach by a case study in Osaka city center (around Namba station). We conclude that 1) the facility accumulation of the target area was classified by latent classes based on the co-occurrence information, 2) each latent class indicates its quantitative property, 3) the relationship between the latent classes correspond with their geographic distribution.