

統計的因果探索による公共施設立地の実態とまちの賑わいの因果分析

Causal Analysis of Public Facility Location and City's Liveliness by Causal Discovery

薄雪晴*・寺部慎太郎**・柳沼秀樹**・海野遥香**・鈴木雄**
Xueqing Bo*, Shintaro Terabe**, Hideki Yaginuma**, Haruka Uno**, Yu Suzuki**

Many cities are hollowing out due to the progress of motorization, population decline and aging. To revitalize local socio-economic activities and solve the current situation and problems of large cities, the creation of bustling towns is being studied repeatedly. In past studies, there are many studies that focus on commerce and pedestrian space maintenance. However, the analysis of public facilities is still insufficient. Many methods assume that there are no latent confounders. They do not work effectively if this assumption is not satisfied. Therefore, targeting cities in the Tokyo metropolitan area, we evaluated the location of each public facility around the four city centers of residence, administration, transportation, and commerce, and clarified the causal relationship between the location of public facilities and the liveliness of the city by causal discovery with latent confounders.

Keywords: compact city, public facility, city center, LiNGAM, RCD

コンパクトシティ、公共施設、拠点、LiNGAM、RCD

1. はじめに

近年、モータリゼーションの進展や人口減少・高齢化を背景に、多くの都市で空洞化が進んでいる。各都市は、少子高齢化に対応し、快適な生活空間の実現に努めている。そして、そこで暮らす人々の社会的、経済的、文化的な活動が活発に行われる、賑わいあふれる地域社会を目指している。

地域経済の活性化のために、各都市では多極ネットワーク型コンパクトシティ政策¹⁾に取り組んでいる。多極ネットワーク型とは、中心的な拠点だけではなく、各拠点到施設を集約して、生活を維持できるようにすることである。24 都市を対象とした調査²⁾によると、立地適正化計画で位置付けられた地域拠点について、駅が最も多く、次いで役場が多い。交通系の拠点と行政系の拠点だけでなく、商業系を位置づける都市もある。したがって、コンパクトシティを実現するために、1 か所の拠点到に着目するのではなく、各種類の拠点の周辺における、施設の立地状況を把握しなければならない。

一方、少子化を緩和するために、2023 年 3 月末政府は、「異次元の少子化対策」のたたき台³⁾を発表した。たたき台では、2024 年度からの 3 年間を集中期間として「経済支援」「保育支援」「働き方改革」の対策を掲げている。施設立地の視点から、各拠点周辺における、幼稚園・保育所等保育施設の把握が重要である。

施設の立地実態に関する既往研究としては、川口⁴⁾は、東京都市圏における集客施設に着目し、その立地と施設が及ぼす都市への影響を分析し、関連性を明らかにした。隋・趙⁵⁾は、福岡市の小規模鉄道駅の周辺に分布する小売業店舗に着目し、立地動向および業種分布の特性を明らかにし

た。これらの既往研究では、小売業や集客施設に着目しているが、公共施設には触れていない。定梶ら⁶⁾は、カーネル密度関数を用いて、公共施設も含めて、駅周辺における各施設の集積度を計算した。しかし、公共施設の空間分布パターンを考慮せずに、集積度のみを用いて、公共施設立地を評価する妥当性に疑問が残る。巖ら⁷⁾は、カーネル関数を用いて商業集積度を計算し、商業集積の中で公共施設の地理的な位置関係を定量化する総合立地合致度の指標を提案したが、公共施設とまちの賑わいの関連分析には触れていない。

一方で賑わいに関する既往研究としては、朴ら⁸⁾は、各道路の歩行者数を賑わいの指標として、歩行空間の状況に関する要素や駐車駐輪の存在に関する要素が各都心商業地区の賑わいに与える影響を定量的に明らかにした。濱名ら⁹⁾は、歩行者密度、及び商店街の賑わいを表す客観的なデータとして小売業年間販売額を分析の指標として用い、商店街の賑わいと歩行者空間の整備状況の関連性を分析した。中谷ら¹⁰⁾は、商業統計より、鉄道駅利用者の属性と鉄道駅周辺地域の空間構成をニューラルネットワークにより駅周辺地域の活性化を分析した。稲永ら¹¹⁾は、熊本市桜町周辺を対象に、文献調査と Space Syntax を用いて、街路網の変化と賑わいの変遷の関係を明らかにした。これらの既往研究では、商店街や商業地区を対象に、店舗密度や歩行空間に着目して、賑わい要因を明らかにする研究が多い。しかし、公共施設に着目して、まちの賑わいに与える影響を分析した研究は見当たらない。

そこで、まちの賑わいを創出するために、本研究は主に多極ネットワーク型コンパクトシティの視点から、各拠点の周辺における公共施設の立地状況を分析して、賑わいに影響を与える公共施設という因果関係を明らかにすること

* 学生会員 東京理科大学大学院創域理工学研究科社会基盤工学専攻博士後期課程(Tokyo University of Science)

** 正会員 東京理科大学創域理工学部社会基盤工学科(Tokyo University of Science)

を目的とする。それにより、今後都市開発する際に、商業だけでなく、公共施設に関する立地分析の重要性を示す。

これらを踏まえた上で、本研究の特徴を以下に挙げる。

- ・首都圏の市を対象とする各公共施設の空間分布パターンを分析した。
- ・立地適正化計画の拠点づくりの特徴²⁾によって、4種類の拠点を定義し、拠点周辺の公共施設の立地とまちの賑わいとの関連性に基づき、変数間の因果関係を分析した。

2. データの概要と公共施設の立地実態

(1) 使用データ

濱名ら⁹⁾は、商店街の賑わいを表す客観的なデータとして、小売業年間販売額を用いた。まちの賑わいと商店街の賑わいは異なるので、小売業年間販売額だけではまちの賑わいの指標とするのは十分ではない。坂東ら¹²⁾は、都市の活力を表す指標として年少人口を用いた。また、2023年3月に「異次元の少子化対策」のたたき台³⁾が発表され、今後まちづくりや地域活性化の中で、子供の数が重要な評価指標の一つになると考えられる。そのため、本研究では、小売業年間販売額と子供の数をまちの賑わいの指標とする。

小売業年間販売額について、本研究では、各市内の拠点周辺のデータを集計するために、500m メッシュの商業統計を用いた。2018年に商業統計調査は中止されたので、最新データは2014年分のみである。公共施設の立地状況と小売業年間販売額の因果関係を把握するため、各データ年度も2014年を基準として、表-1に示す。

表-1 データの概要

	データ	出典	年度
公共施設	医療機関	国土数値情報	2014
	郵便局	国土数値情報	2013
	図書館	国土数値情報	2013
	福祉施設	国土数値情報	2011
	都市公園	国土数値情報	2011
	学校	国土数値情報	2013
	役場	国土数値情報	2014
	駅	国土数値情報	2014
他	バス停	国土数値情報	2010
	小売業事業所	商業統計	2014
	小売業年間販売額	商業統計(500m メッシュ)	2014
	人口	国勢調査(500m メッシュ)	2015

公共施設について、本研究では、医療機関・郵便局・図書館・福祉施設・都市公園・学校・役場を公共施設と定義した。そのうち、2015年度の福祉施設の詳細分類は細かすぎるため、通所介護事業所・老人短期入所介護事業所・養護老人ホーム（一般）・特別養護老人ホーム・軽費老人ホーム（A型、B型、介護利用型）・老人福祉センター（特A型、A型、B型）・在宅介護支援センター・老人福

祉センターを「高齢者福祉施設」と定義し、保育所・へき地保育所・認定外保育施設・幼稚園・認定こども園を「保育施設」と定義する。

(2) 各市での公共施設の空間分布パターン

本研究では、首都圏の117市（政令指定都市以外）を研究対象として、最近隣距離法を用いて各公共施設の空間分布パターンを明らかにした。最近隣距離法¹³⁾は、各施設から見た最近隣施設までの距離を測定して、すべての最近隣距離の平均値 \bar{D}_O を計算して、市ごとに仮説的なランダムで指定される各施設に期待される平均距離 \bar{D}_E と比較する。

$$\bar{D}_O = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad \bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}} \quad (1)$$

$\bar{D}_O < \bar{D}_E$ 場合、クラスター分布と見なされる。逆に $\bar{D}_O > \bar{D}_E$ 場合、分散分布であると見なされる。

そして、帰無仮説は、これらのポイントデータが CSR (Complete Spatial Randomness: 空間完全ランダム性) である。Zスコアとp値が、この帰無仮説を棄却できることを示す。これによって、ランダム分布かどうか分かる。

$$z = \frac{\bar{D}_O - \bar{D}_E}{SE}, \quad SE = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}} \quad (2)$$

なお、上の式で、 d_i はある施設から最近隣の同種類施設までの距離、 n はある施設の合計数、 A は市の面積である。

図-1は、首都圏の117市における、各公共施設の空間分布パターンの割合を示している。図-1によって、首都圏の市では、医療機関、福祉施設はクラスター分布傾向があり、学校・郵便局・図書館はランダム分布の傾向があり、役場が分散分布の傾向があることがわかる。

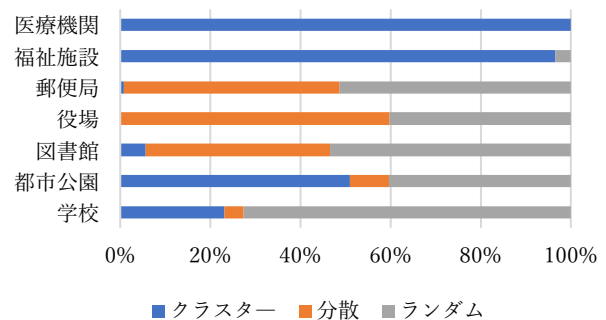


図-1 公共施設の空間分布パターン

図-1から、医療機関と福祉施設はクラスター分布の傾向があることを示している。次に医療機関と福祉施設はどこに集積しているかを明らかにするために、定規ら⁹⁾と嚴ら⁷⁾の研究を参考にして、GISのカーネル密度解析を用いて、医療機関・福祉施設を集積度を計算した。

カーネル密度を計算する場合は、カーネル関数とバンド幅を定義することが必要である¹⁴⁾。カーネル関数 $K(u)$ を用いて各標本点の影響度の広がり方を定義し、バンド幅 h を用いてカーネル関数の広がり幅を定義する。

$$f_h(y) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{y-x_i}{h}\right) \quad (3)$$

なお、 h :バンド幅、 K :カーネル関数、 $y-x_i$:推定するところから標本点ポイント i までの距離である。

カーネル関数は、QGIS のデフォルト Quartic カーネル関数を用いて計算した。

$$K(u) = \frac{15}{16} (1-u^2)^2 \quad (4)$$

バンド幅は、3 章と同じ徒歩圏 800m を設定した。

図-2、図-3 に、首都圏 117 市の医療機関・福祉施設の集積度を示す。赤線は首都圏の鉄道路線であり、緑色の分布が集積度を表す。色が濃いほど、集積度が高い。図-2、図-3 によって、首都圏における医療機関・福祉施設がほぼ鉄道路線の周辺に集積していることがわかる。



図-2 医療機関集積度

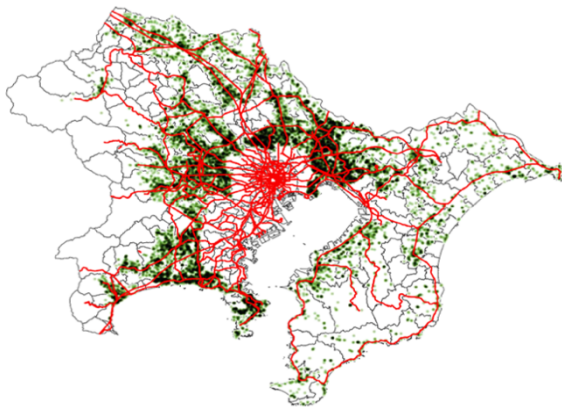


図-3 福祉機関集積度

3. 本研究の分析対象

(1) 分析対象とコンパクトシティの拠点

本研究では、首都圏の 117 市（政令指定都市以外）を研究対象として、立地適正化計画で拠点づくりの特徴²⁾によって、各市内で居住拠点・行政拠点・交通拠点・商業拠点の 4 種類の拠点を定義し、徒歩圏 800m 以内の各公共施設の立地状況を評価する。

具体的には、GIS で、市別に人口最多メッシュの重心を

居住拠点として、市役所本庁舎の所在地を行政拠点として、乗降客数最多駅の所在地を交通拠点として、小売業年間販売額最多メッシュの重心を商業拠点として分析する。

(2) 各拠点間の距離

各拠点の分離状況を把握するために、GIS を用いて、市別に各拠点間の直線距離を計算した。表-2 の中位数から見ると、乗降客数最多駅は、小売業年間販売額最多点に近い。人口最多点は、他の拠点から離れていることがわかる。

表-2 各拠点間の直線距離

拠点間の直線距離 (m)	第一四分位数	中位数	第三四分位数
人口最多点——小売業年間販売額最多点	730.5	1446.2	2802.3
人口最多点——市役所本庁舎	958.1	1631.9	2508.0
人口最多点——乗降客数最多駅	619.0	1336.0	2075.3
市役所本庁舎——乗降客数最多駅	649.5	976.1	1974.9
市役所本庁舎——小売業年間販売額最多点	615.2	1124.3	2236.0
乗降客数最多駅——小売業年間販売額最多点	315.2	884.2	2371.8

4. 公共施設の立地とまちの賑わいの関連分析

(1) 分析の概要

本研究では、まちの賑わいを創出するために、各拠点の周辺にどの公共施設を立地すべきかという因果関係に着目する。変数間に因果関係があれば関連性もあるので、まちの賑わいに影響を与える公共施設を明らかにする前に、まず、重回帰分析（ステップワイズ法）を用いて、各拠点の周辺における、小売業年間販売額、子供の数に関連がある施設を明らかにした。具体的に、各拠点別に 800m 徒歩圏内における小売業年間販売額の総額、子供の数を目的変数とする。本研究では、14 歳以下の人口を子供として定義する。小売業年間販売額と子供の数のデータはメッシュデータのため、集計する際に、メッシュ面積によって、面積按分を行った。

公共施設に関する説明変数は、各拠点の 800m 徒歩圏内に存在する公共施設の数である。

商業に関する説明変数は、各拠点の 800m 徒歩圏内に存在する各種商品小売業事業所数、衣服等小売業事業所数、飲食料品小売業事業所数、機械器具小売業事業所数、その他の小売業事業所数、無店舗小売業事業所数である。

交通に関する説明変数は、最寄り駅までの直線距離、最寄り駅の乗降客数、最寄りバス停までの直線距離、各拠点の 800m 徒歩圏内にバス停密度である。乗降客数が一番多い駅拠点に対して、最寄り駅の乗降客数の代わりに、その駅の乗降客数を説明変数とする。

コンパクトシティによって、地域活性化をすすめるために、単一の機能だけでなく、複数機能の組み合わせも重要である。そのため、本研究では、生物多様性を評価する定量的な方法を参考にして、Simpson の多様度指数 $1/\lambda$ ¹⁵⁾を用いて、施設多様度を定量化した。具体的には、本研究では、医療機関・郵便局・図書館・福祉施設・都市公園・学校・役場・商業の組み合わせを評価して、説明変数とする。

$$\lambda = \sum n_i(n_i - 1) / N(N - 1) \quad (5)$$

なお、 N =総施設数、 n_i =種類*i*の施設数である。

(2) 小売業年間販売額を目的変数とした分析結果

小売業年間販売額を目的変数とした分析の結果を表-3に示す。どの拠点においても、決定係数は 0.8 以上であるので、あてはまりはよい。4 種類の拠点の周辺における、各小売業事業所が、その周辺の小売業年間販売額と正の関連がある。標準化した係数から見ると、各小売業事業所の値はほぼ各公共施設より大きい。これは、小売業年間販売額に対して、商業系施設の影響力が強いと考えられる。

市役所本庁舎と、乗降客数最多駅の周辺における、「病院の数」、「診療所の数」のような医療機関が、その周辺の小売業年間販売額と正の関連がある。これは、乗降客数最多駅の周辺に、多くの小売業事業所が立地していて、人々は医療機関に行った後で、その周辺で経済活動が行われる可能性もある。「広場公園の数」も同じ理由と考えられる。表-2 の中位数から、市役所本庁舎拠点と、乗降客数が最多駅の直線距離(997.8m)は、800m 以上だが、それほど遠くないので、小売業年間販売額に対して似ている結果を示した。

乗降客数が最多の駅の周辺における、「保育施設の数」「高齢者福祉施設の数」のような福祉施設の係数が負の値を示しているのは、小売業年間販売額に対して、商業施設の影響力が強く、土地利用の制約から、福祉施設が多くなると、商業施設の事業所の数が少なくなる。そのため、商業施設の減少に伴って、小売業年間販売額も減るためと考えられる。乗降客数が最多の駅と、小売業年間販売額最多点の周辺における、小売業年間販売額に対して、「最寄り駅の乗降客数」の係数が正の値を示しているのは、交通利便性により駅周辺の集客力が高いためと考えられる。

(3) 子供の数を目的変数とした分析結果

子供の数を目的変数とした分析の結果を表-4に示す。どの拠点においても、決定係数は 0.7 以上であるので、あてはまりはよい。4 種類の拠点の周辺における、「保育施設の数」が有意な値を示し、正の標準化係数も示している。本研究の人口データは 2015 年である。待機児童の問題で、幼稚園・保育園のような保育施設が多いなら、そこに移住した子育て世帯が多いと考えられる。そして、保育施設が多いなら、子育てする環境も豊かなので、子供の数も多いと考えられる。

全体的に見れば、「街区公園の数」「地区公園の数」「運動

公園の数」のような都市公園が、正の標準化係数を示しているのは、緑が多い公園が多いなら、子育て世帯に対して、住みやすく、子育てする環境も豊かだと考えられる。本研究は、14 歳以下を子供として分析し、小学生も含めるため、「小学校の数」も正の関連があると考えられる。「施設多様度」の係数は正の値を示しているのは、子育て世帯に対して、コンパクトシティのような複数機能の連携が重要であると考えられる。

その他の結果では、「歯科の数」の係数も正の値を示し、標準化係数の値も大きいのは、本研究では、子供の数に関連がありそうな施設を抽出するため、他の変数は入っていないためである。田村¹⁶⁾、吉城¹⁷⁾によって、施設の立地に関して、都市人口は最も基本的で重要な要因と考えられる。「歯科の数」は人口や他の未観測共通変数との関連が強く、その代わりに有意の結果を示していると考えられる。「バス停密度」も同じ理由と考えられる。人口や他の未観測共通要因のため、子供の数と関連性を示した。

5. 統計的因果探索によるまちの賑わいに関する因果グラフの推定と考察

前章の結果で、変数間の相関関係を示したが、相関関係があっても因果関係があるとは限らない。そのため、本章では、前章の相関関係に基づいて変数間の因果関係を検討する。統計的因果推論¹⁸⁾は、背景知識等を元に因果関係を仮説として設定し、データからその妥当性を定量的に検証する形で因果効果を推定することが多い。代表的な手法としては、例えば、回帰分析や操作変数法、差分の差分法、共分散構造分析などが挙げられる。

しかし、これらの手法にも限界はある。例えば、共分散構造分析では、あらかじめ変数間の因果関係を仮定する手続きが必要である、その他の手法も 1. 多くの変数が扱えない、2. 特定の変数に関する比較的単純な因果関係しか扱えない、3. 適用に当たって強い仮定をおく必要がある、などの制約が存在する¹⁸⁾。

この因果推論の中でも、因果関係自体をデータから自動的に推測する因果探索手法が存在する。これは、その他の手法と比較して背景知識の必要性が低く、より多くの要素間の複雑な関係性も探索できるメリットがある。本章では、統計的因果探索を用いて、施設立地の視点から、まちの賑わいに関する因果グラフを推定する。

(1) 統計的因果探索¹⁹⁾

1 つの相関関係に複数の因果関係が対応するので、相関係数を手がかりに、それら因果関係を区別することはできない。清水によって、相関係数は同じでも、その以外の違いが観測変数の分布に現れる場合があることがわかってきた。そして、構造的因果モデルは、因果推論のための代表的な枠組みとして、関数形と外生変数の分布が重要な構成要素である。そのため、統計的因果探索の基本問題は、関

表-3 小売業年間販売額に対する重回帰分析の結果

目的変数： 小売業年間販売額	人口最多点		市役所本庁舎		乗降客数最多駅		小売業年間販売額最多点	
	標準化係数	有意確率	標準化係数	有意確率	標準化係数	有意確率	標準化係数	有意確率
病院の数			0.16	***	0.13	***		
診療所の数			0.18	**	0.48	***		
高齢者福祉施設の数					-0.08	**		
保育施設の数					-0.16	***		
広場公園の数			0.08	**	0.11	***		
運動公園の数	0.18	***						
緑道の数							0.08	***
図書館の数					0.10	***		
各種商品小売業事業所の数	0.27	***	0.36	***	0.36	***	0.25	***
衣服等小売業事業所の数	0.46	***	0.24	***	0.33	***	0.44	***
無店舗小売業事業所の数	0.27	***	0.27	***			0.15	***
機械器具小売業事業所の数								
その他の小売業事業所の数					-0.25	***		
最寄り駅の乗降客数					0.15	***	0.25	***
決定係数	0.85		0.88		0.90		0.90	

有意確率 *** : 1%、** : 5%、* : 10%

表-4 子供の数に対する重回帰分析の結果

目的変数：子供の数	人口最多点		市役所本庁舎		乗降客数最多駅		小売業年間販売額最多点	
	標準化係数	有意確率	標準化係数	有意確率	標準化係数	有意確率	標準化係数	有意確率
歯科の数	0.63	***			0.54	***		
診療所の数	-0.27	**						
高齢者福祉施設の数					-0.20	***		
子育て福祉施設の数	0.42	***	0.34	***	0.24	***	0.45	***
都市公園の数			0.17	**	0.23	***		
(街区公園の数)	0.24	***					0.18	***
(地区公園の数)	0.14	***						
(運動公園の数)							0.15	***
(特殊公園の数)	-0.10	**						
小学校の数			0.18	***			0.28	***
大学の数							-0.12	**
役場ダム					0.11	**		
図書館の数	-0.18	***						
施設多様度			0.19	***	0.23	***		
衣服等小売業事業所の数					-0.28	***		
無店舗小売業事業所の数	0.16	***	-0.58	***				
バス停密度			0.16	***	0.17	***	0.21	***
決定係数	0.81		0.72		0.76		0.70	

有意確率 *** : 1%、** : 5%、* : 10%

数形と外生変数の分布にどのような仮定が成り立てば、もとの因果グラフを推測できることである。

(2) LiNGAM モデルと拡張型

LiNGAM¹⁹⁾ (Linear non-Gaussian acyclic model) モデルは、

因果グラフに有向非巡回を、関数形に線形性を、外生変数に独立を、外生変数の分布に非ガウス連続分布を仮定するモデルである。

p 個の観測変数 x_1, x_2, \dots, x_p に対する LiNGAM モデルは、式(6)で定式化される。

$$x_i = \sum_{j \neq i} b_{ij} x_j + e_i \quad (i = 1, \dots, p) \quad (6)$$

ここで、それぞれの観測変数 x_i は、その変数以外の観測変数 $x_j (j = 1, \dots, p; j \neq i)$ とその誤差変数 e_i の線形和である。それぞれの係数 b_{ij} が 0 なら、 x_j から x_i への直接的な因果効果はない($j = 1, \dots, p; j \neq i$)。そして、誤差変数 $e_i (i = 1, \dots, p)$ が独立で、非ガウス分布連続分布に従うと仮定する。行列を使うと、式(7)のように表される。

$$x = Bx + e \quad (7)$$

LiNGAM モデルの係数行列 B の推定法は、2つのアプローチがある。1つは、独立成分分析の手法を援用する推定アプローチ、もう1つは、回帰分析と独立性の評価を繰り返すアプローチ(DirectLiNGAM)である。

LiNGAM のような手法は、未観測共通原因がない場合で変数間の因果関係を分析する。しかし、この仮定が満たされないと、因果関係の推定にはバイアスがある。Maeda ら²⁰⁾は、より厳密な因果探索を明らかにするために、未観測共通原因がある場合で因果グラフを推定する RCD (Repetitive causal discovery) を提案した (LiNGAM モデル拡張型)。RCD の特徴は2つある。一つは、同じ未観測共通原因の影響を受ける変数ペアを示す。もう一つは、未観測共通原因を受けない変数ペアの因果方向を明らかにする。そのため、RCD の因果グラフの目的は、LiNGAM と違って、全て変数の因果的順序を明らかにした上で、厳密な因果関係を分析するために、未観測共通原因を受けない変数ペアの因果方向を明らかにすることである。

本研究では、人口・施設立地以外の未観測共通原因も小売業年間販売額、子供の数に影響を与えるため、RCD を用いて、変数間の因果グラフを推定する。双方向矢印で未観測共通原因の影響を受ける変数ペア (因果の方向は定義不能) を示し、有向矢印は未観測共通原因の影響を受けない変数ペアの因果方向を示す。

LiNGAM の適合度について、高山ら¹⁸⁾は、推定された因果グラフおよび各因果関係についての確からしさを評価するために、DirectLiNGAM とブートストラップ法を組み合わせた手法を用いた。しかし、Thamvitayakul ら²¹⁾は、ブートストラップ法を用いて、LiNGAM の適合度を評価する時に、DirectLiNGAM の結果として正しい因果順序が複数存在する可能性があることと、多重比較の問題で、すべての要素について適切な信頼区間を構築できなかったという2つの問題を指摘した。この2つの問題のため、因果があってもブートストラップ確率が低い可能性がある。高山ら¹⁸⁾は、42%のブートストラップ確率を比較的高いと認めた。高山ら²²⁾は、ブートストラップ確率が50%以上のものを結果に示している。

本研究では、サンプリング回数1000回で試行した時に、直接的な因果関係が表れる割合であるブートストラップ確率を示す。図4-図8に示す、双方向点線は、未観測共通原因があるため、変数間の因果関係が説明できないことを示す。単方向赤点線は因果関係があり、ブートストラップ

確率は50%以下であり、単方向赤線は因果関係があり、ブートストラップ確率は50%以上であることを示す。

4章の重回帰分析で、賑わいの指標 (小売業年間販売額、子供の数) に関連がある施設を明らかにしたが、変数間に関連性はあっても、因果関係があるとは限らない。因果関係があれば、変数間に関連性がある。そのため、各拠点に対して、表3、表4の重回帰分析の結果で賑わい指標に有意である (関連性がある) 変数を RCD に投入して、賑わいに影響を与える変数 (因果関係) を明らかにする。

田村¹⁹⁾、吉城¹⁷⁾らによって、施設の立地に関して、都市人口は最も基本的で重要な要因と考えられる。施設立地とまちの賑わいの因果関係を分析する時に、各拠点周辺の人口も RCD の変数として分析する。

(3) 小売業年間販売額に関する因果グラフ

濱名ら⁹⁾と坂東ら¹²⁾の賑わい指標を参考にして、本研究では、小売業年間販売額と子供の数を賑わい指標と定義した。具体的には、前述と同様に、首都圏の各市から4種類の拠点を抽出し、それらの拠点別に800m 徒歩圏内の小売業年間販売額、子供の数に影響を与える施設を分析する。

結果では、小売業年間販売額に対して、人口最多点以外の拠点の周辺における、小売業年間販売額と変数間の因果グラフが双方向の点線だった。この理由は、本研究では、各施設立地と小売業年間販売額に影響を与える未観測共通原因があるためと考えられる。

a) 小売業年間販売額に関する人口最多点の因果グラフ

図4の RCD によって説明できることは、人口最多点の周辺における、「運動公園の数」が、その周辺の小売業年間販売額に正の影響を与えるということである。係数のブートストラップ確率は50%以上であるので、結論の妥当性は高い。RCD の因果グラフでは、他の変数と小売業年間販売額が双方向点線だった。この理由は、本研究では、施設立地と小売業年間販売額に影響を与える未観測共変量があるためと考えられる。

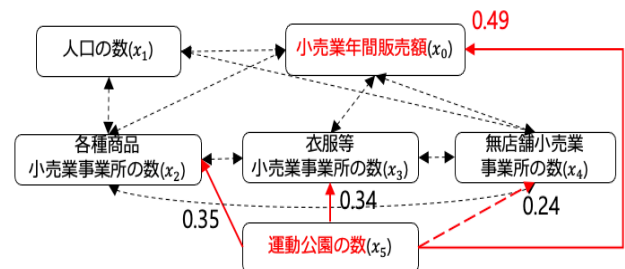


図4 小売業年間販売額に関する人口最多点の因果グラフ

(4) 子供の数に関する因果グラフ

前節と同じ、各拠点に対して、前章の重回帰分析の結果で有意である変数と、各拠点を中心とする800m 以内の人口を RCD モデルの変数とする分析である。

a) 子供の数に関する人口最多点の因果グラフ

図-5 の RCD によって説明できることは、人口最多点の周辺における、「街区公園の数」が、その周辺の子供の数に正の影響を与えるということである。係数のブートストラップ確率は 50%以下であるので、結論の妥当性を検討することが必要である。また、「無店舗小売業事業所の数」が、その周辺の子供の数に正の影響を与えるということについては、係数のブートストラップ確率は 50%以上であるので、結論の妥当性は高い。

他の変数と子供の数が双方向点線だった。この理由は、本研究では、施設立地と子供の数に影響を与える未観測共変量があるためと考えられる。

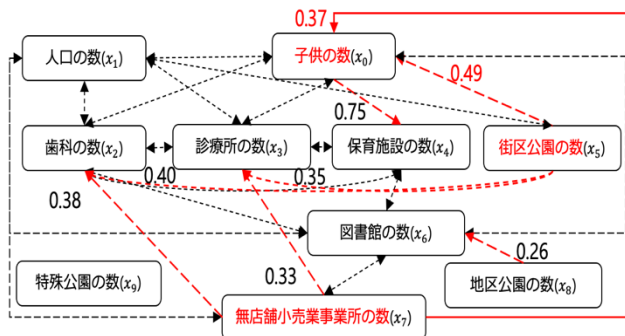


図-5 子供の数に関する人口最多点の因果グラフ

b) 市役所本庁舎の因果グラフ

図-6 の RCD によって説明できることは、市役所本庁舎所在地の周辺における、「都市公園の数」が、その周辺の子供の数に正の影響を与えるということである。係数のブートストラップ確率は 50%以下であるので、結論の妥当性を検討することが必要である。

他の変数と子供の数が双方向点線だった。この理由は、本研究では、施設立地と子供の数に影響を与える未観測共変量があるためと考えられる。そのため、他の変数と子供の数の間に厳密な因果関係が説明できない。

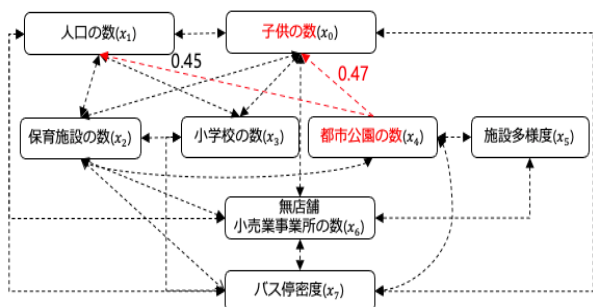


図-6 市役所本庁舎の因果グラフ

c) 乗降客数最多駅の因果グラフ

図-7 の RCD によって説明できることは、乗降客数最多駅の周辺における、「都市公園の数」が、その周辺の子供の数に正の影響を与えるということである。係数のブートストラップ確率は 43%であり、50%に近いので、結果の妥当

性が低いとは言えない。そして、市役所本庁舎と同じ、「都市公園の数」→「子供の数」の係数のブートストラップ確率は 50%以下であるが、表-2 によって、乗降客数最多駅は、市役所本庁舎に近く、図-6 の市役所本庁舎の因果グラフと同じ結果を示したので、「都市公園の数」が、その周辺の子供の数に正の影響を与えると考えられる。

他の変数と子供の数が双方向点線だった。この理由は、本研究では、施設立地と子供の数に影響を与える未観測共変量があるためと考えられる。そのため、他の変数と子供の数の間に厳密な因果関係が説明できない。

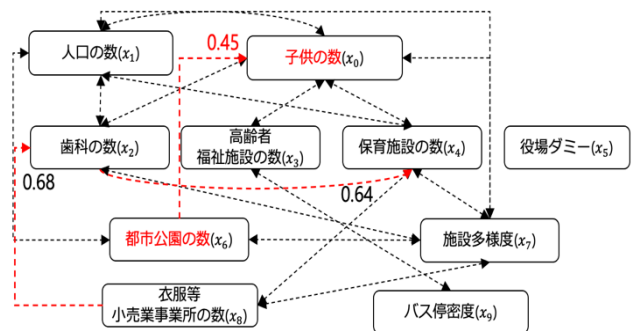


図-7 乗降客数最多駅の因果グラフ

d) 小売業年間販売額最多点の因果グラフ

図-8 の RCD によって説明できることは、小売業年間販売額最多点の周辺における、「保育施設の数」「街区公園の数」が、その周辺の子供の数に正の影響を与えるということである。係数のブートストラップ確率は 50%以下であるので、結果の妥当性を検討することが必要である。そのうち、「街区公園の数」→「子供の数」の係数のブートストラップ確率は 45%であり、50%に近いので、結果の妥当性が低いと言えない。また、「保育施設の数」が、その周辺の人口に正の影響を与えるということである。係数のブートストラップ確率は 50%以上であるので、結果の妥当性は高い。

他の変数と子供の数が双方向点線だった。この理由は、本研究では、施設立地と子供の数に影響を与える未観測共変量があるためと考えられる。そのため、他の変数と子供の数の間に厳密な因果関係が説明できない。

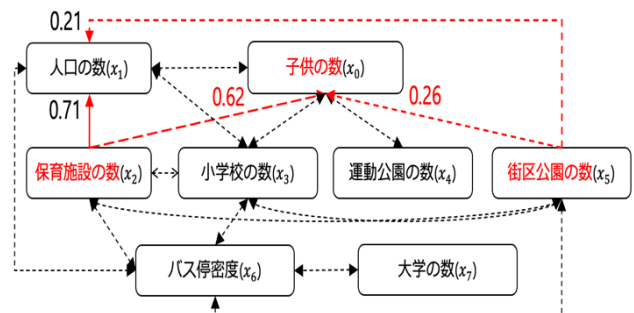


図-8 小売業年間販売額最多点の因果グラフ

6. おわりに

本論文は、多極型コンパクトシティの視点から、首都圏の市を対象とする、4 種類の拠点の周辺に立地している公共施設を把握して、その周辺の小売業年間販売額、子供の数との関連性に基づき、変数間の因果関係を分析した。重回帰分析ではわからない変数間の因果関係を明らかにしたところに新規性がある。

また従来の方法は、未観測共通原因がない場合で変数間の因果関係を検討しているが、この仮定が満たされないと、因果関係の推定にはバイアスがある。より厳密な因果関係を分析するため、本研究では RCD を用いて、未観測共通原因がある場合で変数間の因果方向を明らかにした。

その結果、統計的因果探索によって、各拠点の周辺における、都市公園の数が子供の数に正の影響を与えるという結果を示し、さらに人口最多拠点では、都市公園の数が小売業年間販売額にも正の影響を与えるという結果を示した。

近年日本では多極ネットワーク型コンパクトシティ政策に取り組んでおり、各拠点に施設を立地させることを目指している。統計的因果探索により、まちの賑わいを創出するために、各拠点の周辺にどの公共施設を立地すべきかという因果関係を明らかにした。結果からみると、都市公園の数は、まちの賑わい（小売業年間販売額と子供の数）に影響を与えるという結果が得られた。待機児童数減少のため、各都市は保育施設の充実を強化しているが、因果探索の結果を通じて、都市公園の整備の重要性も示した。したがって今後新たな拠点を整備するための都市計画においては、都市公園の整備は、都市環境を向上させるだけでなく、地域経済空洞化と少子化の問題解決にも貢献できる。

本研究は LiNGAM モデルの拡張型 RCD モデルを用いて、公共施設とまちの賑わいの因果関係を分析した。そのうち、未観測共通要因の影響を受ける変数ペアがある。今後の課題として、未観測共通原因の影響を緩和するために土地利用等新たなデータを考慮して、より厳密な因果グラフを推測することが挙げられる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：コンパクトシティの形成に向けて、2015。
<https://www.mlit.go.jp/common/001083358.pdf>
- 2) 野嶋慎二、松浦健治郎、樋口秀：コンパクトシティの拠点づくり、株式会社学芸出版社、2020
- 3) こども家庭庁：こども・子育て政策の強化について（試案）～次元の異なる少子化対策の実現に向けて～
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kodomo_seisaku_kyouka/pdf/kyouka_siryou1.pdf
- 4) 川口和英：東京都市圏の集客施設立地に関する研究-東京都市圏集客施設の集客力と相互関連性の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.597-598、2014。
- 5) 隋洪キン、趙世晨：鉄道駅周辺における小売店舗の立地動向及び業種分布に関する研究、日本建築学会計画系論文集、Vol.78、No.683、pp.141-148、2013。
- 6) 定梶圭、嚴先鏞、鈴木勉：施設集積に基づいた鉄道駅の類型化と拠点性に関する研究、都市計画論文集、Vol.56、No.1、pp.397-402、2021。
- 7) 嚴先鏞、山村拓巳、鈴木勉：立地合致度指標を用いた公共施設立地の商業集積との空間的関係に関する研究、都市計画論文集、Vol.53、No.3、pp.1442-1447、2018。
- 8) 朴東旭、中川大、松中亮治、大庭哲治：現地調査に基づく都心商業地区の賑わいの要因構造に関する研究、土木学会論文集 D3、Vol.68、No.5、pp.513-521、2012。
- 9) 濱名智、中川大、松中亮治、大庭哲治：歩行空間の整備状況と商店街の賑わいについての関連分析、土木計画学研究・論文集、Vol.27、No.2、pp.313-321、2010。
- 10) 中谷紘也、奥嶋政嗣、秋山孝正：交通行動に着目した鉄道駅周辺地域の活性度に関する分析、土木計画学研究・講演集、Vol.34、No.64、2006。
- 11) 稲永哲、星野裕司、増山晃太、尾野薫：都市形成における賑わいと街路網の関係に関する研究、景観・デザイン研究論文集、No.9、pp.49-60、2010。
- 12) 坂東武、渡辺公次郎：都市活力の停滞と市街地整備の関連に関する研究。第 67 回土木計画学研究発表会・講演集、2023。
- 13) ArcGIS Pro：平均最近隣距離分析の詳細
<https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-average-nearest-neighbor-distance-spatial-st.htm>
- 14) ArcGIS Pro：カーネル密度の詳細
<https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/2.9/tool-reference/spatial-analyst/kernel-density.htm>
- 15) 忽那知輝、小浦久子：中心市街地の賑わい創出における都市の多様性に関する研究、日本建築学会大会学術講演会・建築デザイン発表会、Vol.2014、pp.615-616、2014。
- 16) 田村将太、田中貴宏：人口密度を指標とした都市施設の立地傾向に関する調査報告-コンパクトシティ実現に向けた基礎的検討、土木学会論文集 D3、Vol.75、No.3、pp.172-180、2019。
- 17) 吉城秀治、辰巳浩、堤香代子、坂井康介、永田香織：子育て関連施設立地と人口規模に関する研究、土木学会論文集 D3、Vol.76、No.5、pp.385-396、2021。
- 18) 高山正行、小柴等、前田高志、三内顕義、清水昌平、星野利彦：統計的因果探索アルゴリズム“LiNGAM”を用いた若手研究者支援政策に関する研究、研究・イノベーション学会年次学術大会講演要旨集、Vol.36、pp.758-763、2021
- 19) 清水昌平：統計的因果探索。講談社 機械学習プロフェッショナルシリーズ、2017。
- 20) T.N.Maeda, S. Shimizu : RCD: Repetitive causal discovery of linear non-Gaussian acyclic models with latent confounders, Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS), Vol.108, 2020.
- 21) K. Thamvitayakul, S. Shimizu, T. Ueno, T. Washio and T. Tashiro : RCD: Bootstrap confidence intervals in DirectLiNGAM. 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining Workshops, 2012.
- 22) 高山正行、小柴等、前田高志、三内顕義、清水昌平、星野利彦：博士課程進学率に関する因果モデルの構築。Jxiv, 2022. <https://doi.org/10.51094/jxiv.1>