

サプライチェーンを考慮した東京都市圏 物流施設の立地選択分析

中道 久美子¹・川崎 智也²・花岡 伸也³・呂 田子⁴

¹正会員 東京工業大学特定准教授 環境・社会理工学院 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: nakamichi.k.aa@m.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学助教 環境・社会理工学院 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: kawasaki@ide.titech.ac.jp

³正会員 東京工業大学准教授 環境・社会理工学院 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: hanaoka@ide.titech.ac.jp

⁴非会員 東京工業大学 大学院理工学研究科 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

東京都市圏は日本の産業・経済の中心であり、多くの人口を抱える大消費地でもある。物流施設の立地は物資全体の流れに影響するため、適切な立地誘導の実現が重要な課題である。工場、物流施設、店舗等の施設種類が同じでも、配送先が異なれば、上流・下流といったサプライチェーン上の位置や役割も異なり、実際の立地場所にも大きな違いがある。本研究では、1)東京都市圏の物流施設を施設種類、配送先、配送量等によりサプライチェーンの観点から類型化し、その地理的分布と地区特性との関係の基礎分析を行うこと、2)基礎分析の結果から説明変数を設定し、サプライチェーン類型別に立地選択分析を行うことを目的とする。東京都市圏物資流動調査を用いて分析した結果、サプライチェーン類型によって立地要因に大きな違いがあることが分かった。

Key Words : *supply chain, OD pair, downstream, upstream, middle part, Tokyo Metropolitan Area*

1. はじめに

東京都市圏は日本の経済・産業の中心である。そこにおける様々な経済活動は、必要な物資が必要な都市に供給されることで成り立っている。物流施設の立地場所は物流が発生する場所であり、物流全体の流れを大きく変える影響力がある。

そして、物流施設の立地は土地利用などの都市計画や市区町村政策と密接に関連する。環境負荷の観点から、物流施設立地の適正化を図るために、都市計画として物流施策を講じる必要性がある¹⁾。

近年、物流施設の大型化、賃貸化、高機能化・多機能化、分散立地・内陸移転の傾向が指摘されている。一つの理由はEコマースの重要性が高まり、通販関連商品の集配送拠点の立地が増えているため²⁾である。その他に、東日本大震災を踏まえ、物流施設の立地の分散、あるいは施設の内陸への移転を行う企業が見られるようになったためである。

このような背景の下、最新データを用いて、物流施設

の立地選好を分析する必要がある。立地選択モデルを構築することが、地方自治体を含めた様々な主体の物流施設立地の立案に役立つと考えられる。

そして、物流施設の立地はサプライチェーン上に位置と関係があると考えられる。図-1は典型的なサプライチェーンを図示したものである³⁾。物流に関連する施設は主に「工場、物流施設、店舗・飲食店、事務所、その他」に分類されている。物資は採掘場、農林水産物の産地などから工場に運ばれ、最終製品まで加工される。最終製品は、最終的にサプライチェーンの末端である最終消費者の手に届く。店舗や、その他の商業施設に配送している物流施設(例えば流通センター)はサプライチェーンの下流側に存在している。一方で、工場に配送している物流施設(例えば中間製品の倉庫)はサプライチェーンの上流側で機能している。また事務所については、配送機能がなく、ただの営業拠点として存在している事務所は最終消費者に属する一方で、本社機能や流通加工機能など、複数の機能を同時に持つ多機能事務所もある。多機能事務所は実際に配送を行っており、搬出先は店舗だ

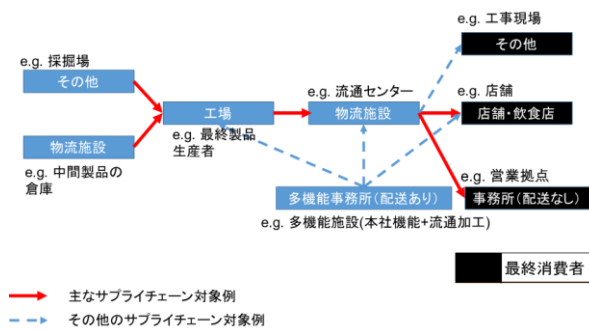


図-1 典型的なサプライチェーンの代表例

けではなく、物流施設や工場の場合もあるため、サプライチェーンの上流・中流・下流の全部に位置する可能性がある。

このように、同じ施設種類に属する施設でも、搬出先が違えば、サプライチェーン上に存在する位置も違う。それによって、サプライチェーン上の機能や立地需要も異なる可能性がある。施設の立地とサプライチェーン上の位置との関係を解明することが重要である。

近年、大都市圏を対象とした施設立地に関するものが多い。1kmメッシュ単位で立地選択モデルを構築した研究⁴⁾⁵⁾⁶⁾、立地に加えて立地量（敷地面積）の同時選択モデルを構築した研究⁷⁾、トリップ種類ごとに立地選択モデルを構築した研究⁸⁾がある。また、経路選択⁹⁾、端末物流¹⁰⁾、輸送・在庫コスト削減効果¹¹⁾に関する研究もある。サプライチェーンの観点からは、1品目を対象に4分類した施設種類のみを用いて典型的なサプライチェーンを想定して立地選択モデルを構築することも試みられている³⁾。また、第5回東京都市圏物資流動調査からサプライチェーン分類を行った研究では搬出を行う2,151施設の事務所を全て最終消費者と分類しており¹²⁾、多機能事務所は考慮されていない。サプライチェーンの位置を定義できる基準は明確にされていない。

以上より、本研究では、東京都市圏の物流関連施設の立地選好とサプライチェーン上の位置との関係を解明するために、1)施設のサプライチェーン上の位置を分類する手法を構築し、その地理的分布と地区特性との関係の基礎分析を行うこと、2)基礎分析の結果を考慮し、事務所を含めた物流関連施設の立地選好モデルを構築し、施設立地とサプライチェーン上の位置との関係を解明することを目的とする。

2. 研究方法

(1) 使用データ

本研究では、東京都市圏物資流動調査（以下、物資流動調査）の結果を用いる。物資流動調査は東京都市圏交

通計画協議会によって1972年に第1回目が実施された後、およそ10年に1度の頻度で物流の実態を把握する目的で行われている。本研究で使用するのは2013年に実施された最新の第5回物資流動調査の結果である。本研究における東京都市圏の定義も物資流動調査の調査範囲である東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県、茨城県南部中部、栃木県南部、群馬県南部の1都6県とする。なお、第5回物資流動調査から、物流の広域化に対応し北関東道沿線の物流施設も調査対象に含めるため、群馬県南部、栃木県南部、茨城県中部が調査範囲に追加された。物資流動調査では本調査と補完調査が行われている。本研究では本調査である「事業所機能調査」の「事業所票」と「搬出搬入票」の調査結果を用いる。まず、事業所票では、物流に関連する施設を「事業所」という単位で考え、個々の「事業所」の物流機能や施設立地、発生集中量といった基礎的な情報が調査されている。ただし、「事業所番号」は企業ごとに固有の番号が付与されており、複数拠点を持つ企業の拠点は「事業所番号」だけでは特定できない。特定するためには、「事業所番号」に「業種」と「市区町村」を組み合わせ、事業所票と搬出搬入票の3つのコードを対応させる必要がある。次に、搬出搬入票では「事業所」の「搬出先」と「搬入元」のODが得られる。「事業所機能調査」の調査対象事業所数は、約14万であり、そのうち有効回答は約4万4千（有効回収率32%）である¹⁾。調査対象施設うち、搬出を行う施設は14,578施設ある。本研究では、不明データを除いた11,156施設を対象とする。輸送品目の区分を表-1に示す。これらの品目分類は、輸送統計の品目分類および日本標準商品分類を参考にして作成されたものである。また、本研究で使用した各調査票の業種と施設種類の区分を、それぞれ表-2と表-3に示す。なお、市区町村（436区分）は、東京都市圏とその近隣都道府県は市区町村ごとに、その他の都道府県は都道府県ごとに区分されている。

搬出搬入票のOD数は227,633件であるが、本研究では、市区町村、業種、施設種類、品目が不明または無回答のものを分析対象から除外する。また、搬出搬入票の「票コード」が70「運輸業・経由しない票」については、運輸業者が自家用車を配送のために貸し出しているケースであり、運輸業、荷主それぞれの搬出搬入票と重複する可能性があるため、本研究には含めないこととする。

(2) 分析方法

a) サプライチェーン上の位置の推測方法

既存研究¹³⁾を参考に、本研究では新たに輸送重量を考慮したサプライチェーン分類方法を構築する。物資流動調査を使用して推測する方法は以下の通りである。

1) 施設の施設種類を定義する。

施設種類の定義として、すべての施設を工場、物流施

表-1 輸送品目の区分

コード	品目分類	品目
1	農水産品(定温)	穀類, 野菜, 果物, その他の農水産品
2	農水産品(常温)	水産品, 畜産品
3	食料工業品(冷凍)	野菜果物加工品, 茶, 香辛料, 肉製品
4	食料工業品(定温)	酪農製品, 菓子類, パン類, 調味料
5	食料工業品(常温)	飲料品
6	食料工業品を除く軽工業品	紙, パルプ, 繊維工業品
7	出版・印刷物	出版印刷物
8	日用品	家具, 衣類, 文房具
9	日用品を除く雑工業品	ゴム製品, 皮革製品
10	林産品	原木, 製材, 薪炭
11	鉱産品	砂利, 石材, 原油, 石炭, 天然ガス
12	金属工業品	鉄鋼, 非鉄金属, 金属製品
13	一般機器	一般機器
14	電気機器	照明器具, 電子回路, PC, 半導体素子
15	輸送機器	機関車, 完成自動車, 自動車部品, エンジン, 船, 自転車
16	精密機器	計測機器, 時計, カメラ, 望遠鏡
17	窯業品	生コン, セメント, ガラス, レンガ, コンクリート製品
18	化学工業品	灯油, 軽油, 重油, 石油ガス, 化学薬品, 化粧品
19	特殊品	建設残土, 金属くず, 古紙, コンテナ
20	混載	宅急便, 混載

表-2 本研究で使用した業種の区分

搬出搬入票		事業所票	
コード	業種(19区分)	コード	業種(17区分)
210	農林漁業		N/A
220	鉱業(土石・砂利・砂採取業を含む)		N/A
230	建設業		N/A
241	軽雑系製造業	5	軽雑系製造業
242	化学系製造業	1	化学系製造業
243	鉄鋼系製造業	2	鉄鋼系製造業
244	金属製品製造業	3	金属製品製造業
245	機械系製造業	4	機械系製造業
250	卸売業	11	原材料系卸売業
		12	製品系卸売業
261	各種商品小売業	13	小売業
262	小売業(261以外)・飲食店	14	飲食店
269	小売業・飲食店(261,262の区分不明)	13	小売業
270	サービス業	15	サービス業
299	荷主(詳細業種不明)	92	荷主
110	道路貨物運送業	6	道路貨物運送業
120	倉庫業	9	倉庫業
130	その他の運輸業	7	水運業
		8	航空運輸業
		10	運輸に付帯するサービス業
199	運輸業(詳細業種不明)	91	運輸業
310	事業所以外(一般家庭等)	92	荷主

設、最終消費者、事務所に分類した。搬出搬入票の区分に基づき、倉庫、集配センター・荷捌き場、トラックターミナル、その他の輸送中継施設、物流施設(詳細不明)を「物流施設」と定義し、店舗、飲食店・宿泊・娯楽施設、住宅・文教施設、工事現場等を「最終消費者」と定義した。

2) すべての施設(事務所、工場、最終消費者、物流施設)に対して、式(1)~(4)を用いて主な搬出先を推定する。

$$W_{i,F} = W_{i,f1} + W_{i,f2} + \dots + W_{i,fn} \quad (1)$$

$$W_{i,L} = W_{i,l1} + W_{i,l2} + \dots + W_{i,ln'} \quad (2)$$

$$W_{i,E} = W_{i,e1} + W_{i,e2} + \dots + W_{i,en''} \quad (3)$$

$$W_{i,O} = W_{i,o1} + W_{i,o2} + \dots + W_{i,on'''} \quad (4)$$

もし $W_{i,F} > W_{i,L}, W_{i,F} > W_{i,O}$ かつ $W_{i,F} > W_{i,E}$ であれば、施設 i の主な配送先は工場

もし $W_{i,L} > W_{i,F}, W_{i,L} > W_{i,O}$ かつ $W_{i,L} > W_{i,E}$ であれば、施設 i の主な配送先は物流施設

もし $W_{i,E} > W_{i,F}, W_{i,E} > W_{i,O}$ かつ $W_{i,E} > W_{i,L}$ であれば、施設 i の主な配送先は最終消費者

もし $W_{i,O} > W_{i,F}, W_{i,O} > W_{i,L}$ かつ $W_{i,O} > W_{i,E}$ であれば、施設 i の主な配送先は事務所

F: factory(工場)

L: logistics facility(物流施設)

表-3 本研究で使用した施設種類の区分

搬出搬入票		事業所票	
コード	施設種類(12区分)	コード	施設種類(10区分)
10	事務所施設	10	事務所施設
20	工場	20	工場(荷主)
31	店舗	31	店舗
32	飲食店・宿泊・娯楽施設	32	飲食店・宿泊・娯楽施設(荷主)
41	倉庫	41	倉庫(運輸業)
42	集配センター・荷捌き場	42	集配センター・荷捌き場(運輸業)
43	トラックターミナル	43	トラックターミナル(運輸業)
44	その他の輸送中継施設	44	その他の輸送中継施設(運輸業)
49	物流施設(詳細不明)	49	物流施設(荷主)
51	住宅・文教施設等	50	その他
52	工事現場		
53	その他		

E: the end consumer(最終消費者)

O: office(事務所)

$W_{i,F}$: 対象施設 i から搬出先(工場)へ配送する総重量

$W_{i,L}$: 対象施設 i から搬出先(工場)へ配送する総重量

表-4 サプライチェーン上の位置の分類

	主な配送先				
		工場	物流施設	最終消費者	事務所
対称施設 (搬出先)	工場	上流(FF)	上流(FL)	下流(FE)	対象外
	物流施設	上流(LF)	中流(LL)	下流(LE)	対象外
	事務所	上流(OF)	中流(OL)	下流(OE)	対象外

$W_{i,E}$:対象施設 i から搬出先(工場)へ配送する総重量

$W_{i,O}$:対象施設 i から搬出先(工場)へ配送する総重量

3) 主な搬出先が最終消費者である施設を下流施設と定義する。

4) 下流施設に定義された施設のほかに、工場および主な搬出先が工場である施設を上流施設と定義する。

5) その他に、主に物流施設に配送している施設を中流施設と定義し、主に事務所に配送している施設を対象外にする。

以上の分類プロセスで、施設がサプライチェーン上の位置を分類した結果を表-4に示す。括弧内の1文字目は対象施設自身の施設種類を、2文字目は対象施設の主な搬出先を意味する。分類結果に基づき、カテゴリ別の実際の立地場所の地理データ、国土数値情報の土地利用規制の地理情報をGISで表現して考察する。

b) 立地選択モデル

本研究は物資流動調査の報告書で採用された離散選択モデル⁴⁾をベースに立地選択モデルを構築する。

1) モデルの定式化

選択肢であるメッシュの観測可能な効用は式(5)で表す。

$$V_{i,j} = \sum_k \beta_k L_{i,k} \tag{5}$$

$V_{i,j}$: 施設 j に対するゾーン i の観測可能な効用

$L_{i,k}$: k 番目の説明変数

β_k : k 番目説明変数のパラメータ

物流施設がゾーン (3 次メッシュ) i を選択する確率を式(6)で表すことができる。

$$P_i^r = \frac{\exp(V_i^r)}{\sum_j \exp(V_j^r)} \tag{6}$$

P_i^r : セグメント r ($r=FF,FL,FE...$) の物流施設がゾーン (3 次メッシュ) i を選択する確率

j : 立地可能なすべての地域

V_i^r : ゾーン i の観測可能な効用関数

ここでメッシュ i 内の立地可能な規模を M_i で表す。そこでメッシュ i の観測可能な規模を表す変数 S_i に対して、 M_i は式(7)で表される。

$$M_i = S_i \tag{7}$$

M_i : メッシュ i の立地可能な規模

S_i : 可住地面積 - 宅地面積

以上により、ロジットモデルの効用関数は、以下のよう定式化される。

$$V_i^r = \sum_k \beta_k^r x_{ki} + \ln S_i \tag{8}$$

x_{ki} : ゾーン i 内の敷地の平均的な立地効用を表す k 番目の変数 (立地要因変数)

β_k^r : パラメータ

このモデルのパラメータ推定においては、規模変数の項 $\ln S_i$ の係数を1に固定し、 β_k^r を通常のロジットモデルと同様に推定する。

c) 立地選択モデルの選択肢

モデルの選択肢範囲は群馬県南部、茨城県、栃木県と東京、千葉、埼玉、神奈川の1都6県である。ゾーン区分としては、ミクロな視点からの分析を可能とするため、国土数値情報の3次メッシュ (約1kmメッシュ) を基本とした。可住地面積が0もしくは不明、夜間人口が0もしくは不明のメッシュを除くと、分析対象地域のメッシュ数の合計は19,844となる。

各施設サンプルに対して19,844個の選択肢があつて、対象施設が10000個の場合、選択肢数は $19844 \times 10000 = 198,440,000$ 個もある。すべての選択肢を考慮すると、パラメータ推定に要する計算量が膨大になること、安定した収束解が得られない場合があること⁶⁾³⁾ などの問題があり、通常の方法では推定が困難である。しかし、ロジットモデルの場合には、選択肢の全体集合の中から無作為に選択肢集合の部分集合を選択してパラメータの推定を行えば、サンプル数が十分に大きければ、同一のパラメータに収束することが知られている¹³⁾。そこで本研究では、パーソナルコンピュータと推定ソフトウェア (Rを使用) の能力、そして作業効率を勘案し、既存研究と同じく、サンプルごとに19,833メッシュの中から実際に立地しているメッシュ以外のメッシュを無作為に199メッシュ抽出し、合計200メッシュの要素を有する部分選択肢集合を抽出し、パラメータ推定を行うこととした。

d) 立地選択モデルの説明変数

本研究は第5回東京都市圏物資流動調査の事業所立地理由アンケート調査の結果、及び目的1)の地図上での施設立地分布の結果を考慮して、既存研究³⁴⁾⁸⁾の説明変数を参考に、表-5に示す25個の説明変数を選定した。このうち、「工業団地ダミー」と「意思決定者の配送先重心への距離」は独自にデータ収集・作成し、モデルに取り入れた説明変数である。「工業団地ダミー」という説明変数は選択肢のメッシュに自治体に設置された工業団地が存在しているかどうかを意味する。「意思決定者の配送先重心との距離」の配送先重心は、意思決定者である対象施設のすべての配送先の x_i, y_i 座標と配送量で計算した物理重心であつて、式(9)と式(10)で推定される。

$$X = \frac{\sum_i x_i * m_i}{\sum_i m_i} \tag{9}$$

$$Y = \frac{\sum_i y_i * m_i}{\sum_i m_i} \tag{10}$$

表-7 立地選択モデルの説明変数

	指標	指標の算定方法	データ出典
1	メッシュ人口密度	$P_i = \ln(pop_i)$ P_i : メッシュ i の人口密度変数 pop_i : メッシュ i の人口密度 (千人/km ²)	国勢調査 (H22)
2	通勤圏内労働力人口	$RP_j = \ln \sum (Rpop_j)$ RP_j : メッシュ j の通勤圏内労働人口密度 $Rpop_j$: メッシュ j から 45 分圏内の労働人口 (千人)	国勢調査 (H22)
3-6	製造業への アクセス性	$ACC_i = \sum C_j \exp(-\alpha \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の製造業への近接性 C_j : メッシュ j の工業出荷額 (万円) d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) α : 1.0	工業統計 (H22)
	素材型産業への アクセス性	$ACC_i = \sum C_j \exp(-\alpha \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の素材型産業への近接性 C_j : メッシュ j の素材型業種工業出荷額 (万円) d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) α : 1.6	工業統計 (H22)
	加工組立産業への アクセス性	$ACC_i = \sum C_j \exp(-\beta \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の加工組立産業への近接性 C_j : メッシュ j の加工組立業種工業出荷額 (万円) d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) β : 1.0	工業統計 (H22)
	生活関連産業への アクセス性	$ACC_i = \sum C_j \exp(-\gamma \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の生活関連産業への近接性 C_j : メッシュ j の生活関連業種工業出荷額 (万円) d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) γ : 0.5	工業統計 (H22)
7	卸売業市場への アクセス性	$ACC_i = \sum B_j \exp(-\epsilon \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の卸売業市場への近接性 B_j : メッシュ j の卸売販売額 (万円) d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) ϵ : 0.5	商業統計 (H19)
8	業務地への アクセス性	$ACC_i = \sum D_j \exp(-\mu \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の業務地への近接性 D_j : メッシュ j の従業人口 d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) μ : 0.5	経済センサス (H21)
9	一般消費地への アクセス性	$ACC_i = \sum POP_j \exp(-\lambda \cdot \log(d_{ij}))$ ACC_i : メッシュ i の一般消費地への近接性 POP_j : メッシュ j の夜間人口または商品販売額 d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km) λ : 0.5	国勢調査 (H22) または 商業統計 (H19)
10	高速道路 IC までの 距離	$HD_i = \ln(hd_i)$ HD_i : メッシュ i から高速道路 IC への距離変数 hd_i : メッシュ i から高速道路 IC への距離 (km)	—
11	空港への距離 (羽田, 成田)	$AD_i^k = \ln(ad_i^k)$ AD_i^k : メッシュ i から k 空港までの距離変数 ad_i^k : メッシュ i から k 空港までの距離 (km)	—
12	重要港湾までの距離 (東京, 横浜, 川崎, 千葉, ひたちなか等)	$PD_i^k = \ln(pd_i^k)$ PD_i^k : メッシュ i から k 港までの距離変数 pd_i^k : メッシュ i から k 港までの距離 (km)	—
13- 14	道路密度 (1)	$RD_i = \ln(m_i)$ RD_i : メッシュ i の道路密度変数 (1) m_i : メッシュ i の 4 辺と交差する道路数	国土数値情報 (H22)
	道路密度 (2)	$RD_i = \ln(n_i)$ RD_i : メッシュ i の道路密度変数 (2) n_i : メッシュ i の内の道路延長 (km)	国土数値情報 (H22)
14- 20	用途地域面積シェア	次の土地利用のメッシュ内の対可住地面積シェア ・住宅系地域 ・商業系地域 ・準工業地域 ・工業地域 ・工業専用地域 ・市街化調整区域 ・非線引白地地域 ・都市計画区域外	国土数値情報 (H23)
21	地価	$LC_i = \ln(l_i)$ LC_i : メッシュ i の地価変数 l_i : メッシュ i の公示地価の平均値 (千円/km ²)	国土数値情報 (H25)
22- 23	地域特性	次の地域に該当する場合に 1 ・臨海部 ・内陸部 ・郊外部	
24	工業団地ダミー	範囲内に工業団地がある場合に 1	国土数値情報 (H25)
25	意思決定者の配送先 重心への距離	$D_i = \ln(d_i)$ D_i : 該当地域の重心から意思決定者の配送先重心への距離変数 d_i : 該当地域の重心から意思決定者の配送先重心への距離	搬出搬入票

X: すべての搬出先の重心のX座標

Y: すべての搬出先の重心のY座標

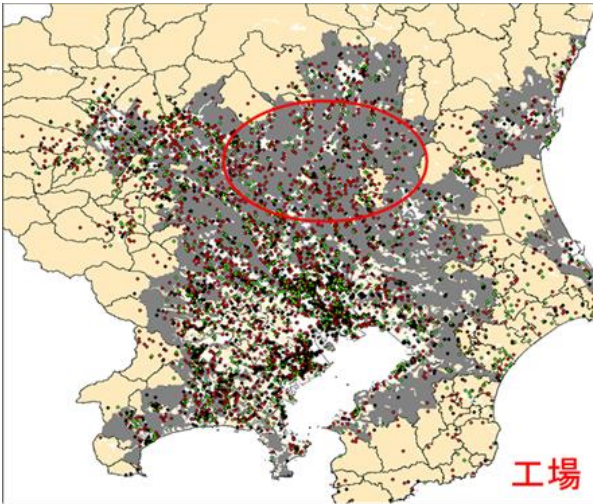


図-2 工場の立地分布

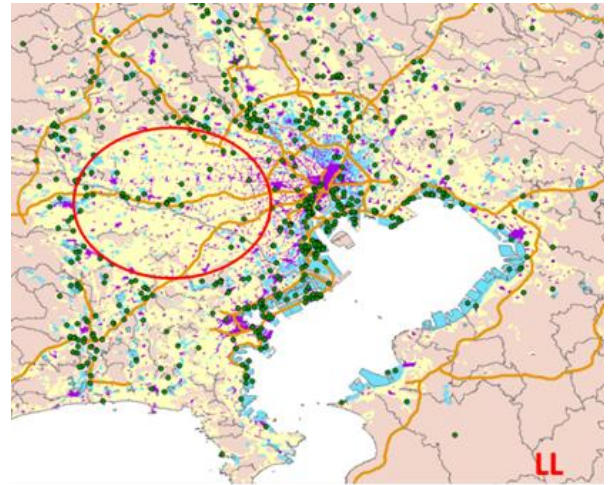


図-4 LL施設の立地分布と用途地域の関係

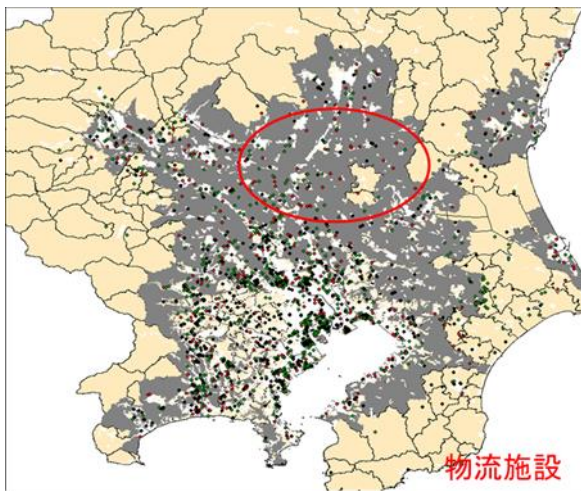


図-3 物流施設の立地分布

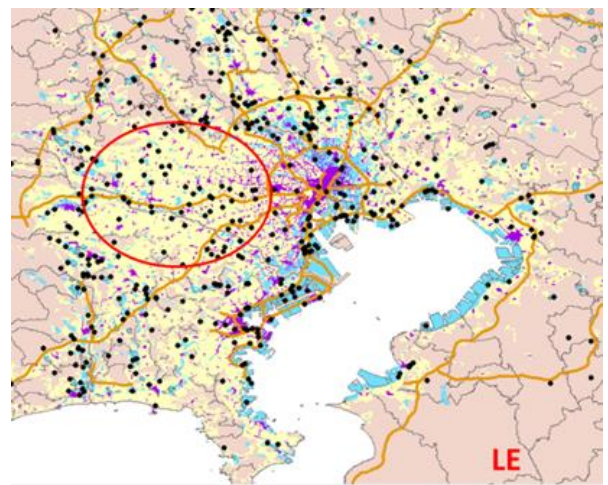


図-5 LE施設の立地分布と用途地域の関係

x_i : i 番目搬出先のX座標

y_i : i 番目搬出先のY座標

m_i : i 番目搬出先への配送量

搬出先への配送距離と配送重量は意思決定者にとって、立地場所を決める際に考慮する一つの重要なファクターであると考えられる。ほとんどの施設が複数の搬出先を持つが、重心を計算することによって、配送距離を直接に立地モデルに取り入れることができる。また、重心は座標に配送量で重みをつける。例えば、意思決定者である施設は群馬県と埼玉県の両方に配送している状況を想定する。群馬への配送量が大きければ、配送先の重心は群馬に偏る。施設は配送効率を考慮する場合、配送先の重心に近い地域を選択する傾向があると推測できる。

3. 研究結果と考察

(1) 分類結果に基づいた施設立地の地理的分布

図-2と図-3は施設立地先の土地利用規制（市街化調整区域）と施設種類の分布を示したもので、図-4と図-5は施設立地先の用途地域と施設種類の分布である。

図-2と図-3を見ると、市街化調整区域に工場が多く立地している。一方で、物流施設と事務所はほとんど立地していない。図-4、図-5を見ると、中流のLL施設は住宅系用途地域との混在を避けて立地しているが、下流のLE施設ではこのような傾向が見られていない。そして、LL施設は臨海部に比較的集中して立地する傾向がある。以上より、施設の立地選好はサプライチェーン上の位置により大きく異なると考えられる。

(2) モデルの推定結果

離散選択ロジットモデルを立地選択に応用して、最尤法で25個の説明変数のパラメータを推定した。表-6、表-7、表-8はそれぞれ工場、物流施設、事務所のパラメータ推定結果である。「推定値」は説明変数および目的変数を正規化することによって得られた標準化回帰係数で、

表-5 工場の立地選択モデル推定結果

	FF(上流)		FL(上流)		FE(下流)	
	推定値		推定値		推定値	
(定数項)	-7.11997	***	-6.48900	***	-6.92600	***
1 人口	-		-		0.07639	
2 通勤圏内労働人口	-0.20475		-0.37160	**	-0.31600	*
3 素材系業界への近接性	-0.09109		0.01671		-0.01494	
4 加工・組立関連への近接性	0.00602		0.00602		-0.10330	
5 生活関連業界への近接性	-0.04204		0.00614		-0.01857	
6 全製造業への近接性	0.25092	***	0.19770	***	0.20070	***
7 卸売業市場への近接性	0.12407		0.10720		-0.05189	
8 業務地近接性	0.81960	***	0.92500	***	0.87240	***
9 一般消費地の近接性夜間人口	-		-		-	
10 最寄ICへの距離	0.01911		-0.08300		-0.13250	
11 最寄空港への距離	0.05921		0.34160	*	0.17710	
12 最寄港湾への距離	-0.05237		0.03072		-0.04412	
13 道路延長	-0.06871		-0.20490		0.22630	
14 住宅地域割合	-0.27247		-0.23870		-0.23090	
15 商業地域割合	-0.19059	*	-0.02475		-0.18070	*
16 準工業地域割合	0.03824		0.01003		0.00809	
17 工業地域割合	0.07984	*	0.05004		0.03884	
18 工業専用地域割合	0.07310		0.09484	*	0.04368	
19 市街化調整区域割合	-0.09125		-0.17060		-0.11060	
20 都市計画区域外割合	-0.49684		-0.48200		0.01437	
21 地価	-0.22233		-0.52660	**	-0.61100	**
22 臨海部ダミー	0.29515		0.02311		0.15130	
23 郊外部ダミー	0.20788		0.04162		0.22390	
24 工業団地ダミー	0.66486	**	0.64800	**	0.44190	
25 施設の配送先重心への距離	-0.94490	***	-0.75010	***	-1.02900	***
サンプル数	200		200		200	
選択肢数	40000		40000		40000	
AUC	0.92322		0.89121		0.92223	
対数尤度	-877.0		-955.6		-879.6	
自由度パラメータ	25		25		26	
AIC	1804.1		1961.1		1811.2	

有意水準: '***' (<0.001) '**' (<0.01) '*' (<0.05)

各変数の重要性を表す指標である。AUCは選択されたメッシュの効用が選択されないメッシュの効用を上回る確率、モデルによる正解選択確率を意味する。説明変数24番の「工業団地」と説明変数25番の「施設の配送先重心への距離」は本研究独自に立地分析に取り入れた説明変数である。

表-5の工場の立地選択モデル結果を見ると、労働力への需要について、通勤圏内の労働力に対する需要がないと考えるが、「業務地近接性」は立地と正の相関があることから、都市圏全体の労働人口への近接性が高い。土地利用について、商業施設は工場の立地と負の相関が見られる。工業地域はFF施設に正の相関があり、工業専用地域はFL施設に正の相関を持つ。工業団地ダミーは上流の工場に対して正の相関がある。地価は中流と下流の工場の立地だけと負の相関がある。すべての工場施設に対して、「配送先重心への距離」は立地との相関性が一番強い説明変数で、工場施設が配送重量を考慮し、配送先の重心付近で立地する傾向があると考えられる。

表-6の物流施設の立地選択モデル結果を見ると、上流の物流施設は人口と正の相関がある一方で、中流の物流施設は人口と負の相関がある。「業務地近接性」はすべての物流施設と正の相関があり、現在の物流施設は労働力を確保する必要があると考える。中流と下流の物流施設は卸売業市場への近接性が高いが、上流にはこのような傾向が見られない。交通利便性について、上流の物流施設は空港と港湾に近い地域で立地する傾向があるが、中流の物流施設は高速道路ICに近い地域で立地する傾向がある。土地利用について、中流の物流施設は「住宅地

表-6 物流施設の立地選択モデル推定結果

	LF(上流)		LL(中流)		LE(下流)	
	推定値		推定値		推定値	
(定数項)	-7.07900	***	-7.24000	***	-7.79300	***
人口	0.23270	*	-0.37830	*	-0.25500	
通勤圏内労働人口	0.22290		-0.05846		-0.07263	
素材系業界への近接性	-0.01227		-0.07163		-0.08122	
加工・組立関連への近接性	0.01875		0.02156		0.01785	
生活関連業界への近接性	-0.04624		0.02045		0.02675	
全製造業への近接性	-0.03474		-0.08317		-0.10570	
卸売業市場への近接性	0.04204		0.45800	***	0.48210	***
業務地近接性	0.65030	***	1.06400	***	0.91410	***
一般消費地の近接性夜間人口	-		-		-	
最寄ICへの距離	0.03633		-0.17490	*	-0.13830	
最寄空港への距離	0.35740	*	0.22890		0.12030	
最寄港湾への距離	-0.59310	***	0.14330		0.12170	
道路延長	-0.66190	***	0.10010		0.16630	
住宅地域割合	-0.07298		-0.35710	*	-0.35840	
商業地域割合	0.25290	***	-0.17040	*	-0.17670	*
準工業地域割合	0.18870	***	0.02938		0.01780	
工業地域割合	0.11420	**	0.02150		0.01486	
工業専用地域割合	0.18350	***	0.00261		-0.04089	
市街化調整区域割合	0.16710		-0.25620		-0.24620	
都市計画区域外割合	-2.96100		-0.02778		-0.04396	
地価	-0.60690	***	-0.58940	***	-0.55960	***
臨海部ダミー	0.25670		1.64500	***	0.37730	
郊外部ダミー	0.11510		-0.57730	*	0.46110	
工業団地ダミー	1.04400	***	1.43700	***	0.89580	***
施設の配送先重心への距離	0.03135		-1.17300	***	-1.17500	***
サンプル数	200		200		200	
選択肢数	40000		40000		40000	
AUC	0.87179		0.97101		0.96448	
対数尤度	-1000.7		-651.8		-721.2	
自由度パラメータ	26		26		26	
AIC	2061.4		1355.6		1493.3	

有意水準: '***' (<0.001) '**' (<0.01) '*' (<0.05)

表-7 事務所(配送機能)の立地選択モデル推定結果

	OF(上流)		OL(中流)		OE(下流)	
	推定値		推定値		推定値	
(定数項)	-7.29600	***	-6.81600	***	-7.76400	***
人口	-		-0.27960	**	-	
1 通勤圏内労働人口	-0.43980	***	-0.45850	***	-0.53680	***
3 素材系業界への近接性	-0.04803		-0.04756		-0.04619	
4 加工・組立関連への近接性	0.01342		-0.19450		0.01089	
5 生活関連業界への近接性	-0.07089	**	0.03323		-0.01958	
6 全製造業への近接性	0.16120	***	-0.01364		-0.05827	
7 卸売業市場への近接性	0.29950	***	0.24010	***	0.43160	***
8 業務地近接性	0.57030	***	0.72320	***	0.80760	***
9 一般消費地の近接性夜間人口	-		-		-	
10 最寄ICへの距離	-0.08234	*	-0.04316		-0.06180	
11 最寄空港への距離	-0.00045		-0.02844		0.03603	
12 最寄港湾への距離	-0.02882		0.05472		0.22050	*
13 道路延長	0.38080	***	0.34890	*	0.32550	**
14 住宅地域割合	-0.04685		-0.04512		-0.21100	*
15 商業地域割合	0.04449		0.02889		-0.05890	
16 準工業地域割合	0.08251	**	0.15070	***	0.02341	
17 工業地域割合	0.07677	***	0.11200	***	0.00900	
18 工業専用地域割合	0.15440	***	0.16210	***	0.07185	
19 市街化調整区域割合	-0.03866		0.00809		0.02499	
20 都市計画区域外割合	-0.28680		-0.62010		-0.09282	
21 地価	-0.08124	**	-0.06352	**	-0.12940	***
22 臨海部ダミー	0.21920		0.34070		0.19260	
23 郊外部ダミー	0.33730	*	-0.17080		0.48170	**
24 工業団地ダミー	0.44160	***	-0.16320		-0.00564	
25 施設の配送先重心への距離	-0.83900	***	-0.82120	***	-1.12300	***
サンプル数	726		395		653	
選択肢数	145200		79000		130600	
AUC	0.93186		0.91980		0.95797	
対数尤度	-3080.7		-1690.7		-2334.8	
自由度パラメータ	25		26		25	
AIC	6211.3		3433.3		4719.7	

有意水準: '***' (<0.001) '**' (<0.01) '*' (<0.05)

域割合」と負の相関があるが、下流にはこのような傾向が見られない。準工業地域、工業地域、工業専用地域は上流物流施設と正の相関を持つ。また、中流と下流の物流施設は配送先の重心近辺地域で立地する傾向があるが、上流は配送先重心への距離を考慮していないと考えられる。地域特性について、中流の物流施設は郊外部を避けて、臨海部に立地する傾向があり、特に臨海部ダミーは中流

物流施設に最も相関が強い説明変数である。

表-7の事務所の立地選択モデルの結果を見ると、通勤圏内に労働力への強い需要がないと考えられるが、業務地近接性は立地と正の相関があり、都市圏全体の労働人口への近接性が高い。事務所施設は卸売業市場への近接性が高く、また、上流の事務所は全製造業への近接性も高い。交通便利性について、上流の事務所は高速道路ICの近くに立地する傾向があり、すべての事務所施設に対して、道路延長が有意性を持つ。土地利用について、上流と中流の事務所は準工業地域、工業地域、工業専用地域で立地する傾向がある。地域特性について、上流と下流の事務所は郊外部に立地する傾向があり、上流の事務所は工業団地に立地する傾向が比較的強いと考えられる。配送先重心への距離は事務所の立地と相関が最も強い説明変数で、事務所施設は配送重量を考慮し、配送先の重心近辺で立地する傾向があると考えられる。

4. おわりに

本研究では、サプライチェーンの観点から施設分類を行う方法を提案し、それらの施設分布を地図上で示し考察を行うとともに、その要因を立地選択モデルにより明らかにした。

すべてのモデル推定結果のAUC値は0.87を上回っているため、モデルの正解選択確率が高いと考える。モデルの結果によると、立地選択とサプライチェーン上の位置と強い関係があり、施設立地誘導を行う際に、サプライチェーンを考慮することが重要と考えられる。

謝辞：本研究の実施にあたっては、東京海洋大学の兵藤哲朗教授、計量計画研究所の萩野保克氏、剣持健氏より貴重なご助言をいただいた。分析用データは東京都市圏交通計画協議会よりご提供頂いた。また、本研究はJSPS科研費16K21035の助成を受けたものである。記して謝意を申し上げる。

参考文献

- 1) 東京都市圏交通計画協議会: 東京都市圏の望ましい物流の実現に向けて, 2015.
- 2) 萩野 保克, 都市の物流施策のための物流施設立地および大型貨物車経路のモデリングに関する研究, 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科応用環境システム学専攻博士論文, 2013.
- 3) Takanori Sakai, Bhavathrathan B. K., Andre Alho, tetsuro Hyodo and Moshe Ben-Akiva :Urban Freight Distribution considering Logistics Chain Structure: Selection 1 of Supplier with Distribution Channel, Transportation Research Board 97th Annual Meeting, 2018.
- 4) 萩野保克, 遠藤弘太郎: 立地選択モデルを用いた東京都市圏における物流施設の立地ポテンシャル分析, 土木計画学研究・論文集, No.24, pp.103-110, 2007.
- 5) 田中康仁, 小谷通泰, 小林護: 京阪神都市圏における物流施設の立地選択モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.4, pp.675-682, 2010.
- 6) 兵藤哲朗, 坂井孝典, 河村和哉: 東京都市圏物資流動調査による空間相関を考慮した物流施設立地選択モデルの検討, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.4, pp.156-167, 2015.
- 7) 篠原文実, 福田大輔, 岡英紀, 兵藤哲朗: 首都圏における物流施設の立地先・立地量の同時決定モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, 235, CD-Rom, 2016.
- 8) Takanori Sakai, Kazuya Kawamura and Tetsuro Hyodo: Logistics Chain Modeling for Urban Freight: Pairing Truck Trip Ends with Logistics Facilities, Transportation Research Board 96th Annual Meeting, 2017.
- 9) 兵藤哲朗, シジニィ シュライナー, 高橋洋二: 東京都市圏物資流動調査を用いた大型貨物車走行経路のモデル分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, pp.405-412, 2007.
- 10) 小早川悟, 高田邦道: 近隣商業地における路外荷さばき施設の配置に関する研究, 都市計画論文集, No.38-3, pp.355-360, 2003.
- 11) 藤原真, 佐藤徹治: 東京都市圏物資流動調査を用いた圏央道整備による物流コスト削減効果と地域経済効果の計測, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, 232, CD-Rom, 2016.
- 12) 中道久美子, 川崎智也, 花岡伸也, 渡邊雄太郎: 東京都市圏における品目別サプライチェーンの分析, 第 55 回土木計画学研究発表会, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, CD-ROM, 2017.
- 13) 屋井鉄雄: 交通と統計(非集計行動モデルによる交通需要予測手法), (財)交通統計研究所, No.15, 16 合併号, 1986.

(2018. 4. 27 受付)

LOGISTICS FACILITY LOCATION CHOICE ANALYSIS CONSIDERING SUPPLY CHAIN IN TOKYO METROPOLITAN AREA

Kumiko NAKAMICHI, Tomoya KAWASAKI, Shinya HANAOKA and Tianzi LU