

第IV部門

道路整備が商店のサプライチェーンの構造に与える影響に関する研究

京都大学工学部	学生会員	○角田 英次郎
京都大学大学院	正会員	瀬木 俊輔
京都大学大学院	フェロー	小林 潔司

1 はじめに

現代の都市圏において、スーパーやコンビニエンスストア等の小規模商業施設は多数立地しており、都市圏に住む消費者の生活の利便性にかなり貢献している。この様な小規模商業施設を多数立地させるサプライチェーンの構造において物流センターの役割は欠かせない。物流センターの存在によって商店は必要な時に必要なだけ商品を仕入れる事が可能となり、商店は店内在庫量を少なくする事が出来、在庫管理における費用を抑えながら運営可能となるからである。つまり、物流センターには下流の店舗の需要変動リスクを上流で集約する役割があると考えられる。この役割はこれまで理論的に明らかにされていない。また在庫管理における費用は商品発注のリードタイムに多くを依存していることが知られている。そこで物流リードタイムを短縮するような交通インフラ整備は商店のサプライチェーンの構造に影響を及ぼす事が考えられる。そこで本研究では、商業施設と物流センターが存在する空間を表した単純な理論的モデルを用いて、物流のリードタイムがもたらす費用に着目し、物流の円滑化がサプライチェーンの構造に及ぼす影響の分析を行う。これにより、物流円滑化に資する交通インフラの整備効果に関する知見を得ることを目的とする。

2 基本モデル

2.1 モデルの前提条件・分析方針

本研究では半径 R の円形型の都市を仮定し、中心に物流の利便性が高い物流ゲートウェイ地区が存在すると考える。想定する企業は生鮮食品を扱うチェーン店を経営する独占企業である。消費者は円周上に均等に人口密度 e で居住する。企業は自社の利益が最大となる様に、物流ゲートウェイ地区に物流センターを立地させるかどうかと、店舗数 n 、食品の価

格 p を設定する。物流センターを立地させる場合、物流センターから各商店へは多数の放射上の道路で結ばれており、各商店は物流センターから仕入れを行い、物流センターは地域外サプライヤから仕入れを行う。物流センターを立地させない場合、各商店は地域外サプライヤから直接商品を仕入れる。以上の前提の下に構築したモデルを用いて、各店舗と物流ゲートウェイ地区間の貨物輸送のリードタイムの削減が商業施設のサプライチェーンの構造や消費者の効用にどのような影響を与えるのかを分析する。

2.2 消費者の商品の購入頻度と一商店に到来する需要の期待値と分散

消費者の食品の需要の発生はランダムであるとし、商品の購入頻度はポアソン過程に従う。ポアソン過程のハザード率 λ は食品の価格と買い物費用に依存すると考えられることから、この関係を線形の需要関数で表す。

$$\lambda(l) = \lambda_0 - a(p + \tau l)$$

ただし、各パラメータは、 $\lambda(l)$: 最寄りの商店までの距離が l の消費者の購入頻度、 λ_0 : 正の定数、 a : 正の定数、 p : 食品の価格、 τ : 単位距離あたりに消費者が買い物に消費する費用（ガソリン等の費用）となっている。

個々の消費者の買い物は独立なポアソン過程に従うことから、1商店圏内の需要の期待値 D と分散 σ_D^2 は等しく、

$$D = \sigma_D^2 = 2 \int_0^{R/2n} e \cdot \lambda(l) dl = \frac{eR(\lambda_0 - ap)}{n} - \frac{ea\tau R^2}{4n^2}$$

となる。

2.3 商店、物流センターの在庫管理費用

本研究では在庫管理モデルとして最も広く知られている EOQ(Economic Order Quantity) モデルと

Safety Stock モデルを応用したものを用いて、商品の発注量、商品が補充される時の店内在庫量（安全在庫）を決定した。その結果、物流センターを立地させる場合の一商店の単位時間当たりの在庫管理費用 C_1 、物流センターの単位時間当たりの在庫管理費用 C_2 、物流センターを立地させない場合の一商店の単位時間当たりの在庫管理費用 C_3 は

$$C_1 = \sqrt{D} \left[\sqrt{2hS} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L} \right]$$

$$C_2 = \sqrt{nD} \left[\sqrt{2hS_P} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L_P} \right]$$

$$C_3 = \sqrt{D} \left[\sqrt{2h(S + S_P)} + h\Phi^{-1}(\alpha)\sqrt{L + L_P} \right]$$

となる。各パラメータは S : 各店舗の発注1回当たりの発注費, h : 単位時間当たりの商品一個の在庫管理費用, Φ : 標準正規分布の累積分布関数, α : 在庫切れ発生確率の許容水準, L : 各店舗と物流ゲートウェイ地区間の貨物輸送のリードタイム, S_P : 物流センターの発注1回当たりの発注費, L_P : 物流ゲートウェイ地区と地域外サプライヤ間の貨物輸送のリードタイムである。ここで各店舗の発注費用 S とトラックのリードタイム L はトラックの旅行時間に関係するので

$$S = S_0 + \beta T$$

$$L = L_0 + T$$

と定式化する。 β はトラックの旅行時間をトラックの輸送費に換算する係数である。

2.4 独占企業の利潤最大化問題

商店・物流センターの運営や食品の発注には食品の取り扱い量に依存する可変費用が存在し、これらは全て食品の取り扱い量に比例すると考え、その限界費用を c で表す。よって企業は可変費用 $c \cdot nD$ を負担している。また、企業は可変費用以外にも店舗、物流センターの運営・設置に食品の取り扱い量に依存しない固定費用を負担している。一店舗の固定費用を F 、物流センターの固定費用を F_{DC} で表す。すると物流センターを立地させる場合の利潤 π_{DC} 、物流センターを立地させない場合の利潤 π_{NDC} は

$$\pi_{DC} = p \cdot nD - c \cdot nD - F \cdot n - nC_1 - C_2 - F_{DC}$$

$$\pi_{NDC} = p \cdot nD - c \cdot nD - F \cdot n - nC_3$$

となり、それぞれを商品価格 p と店舗数 n で偏微分することによって利潤最大化問題の FOC 得られる。

3 比較静学によるリードタイム短縮効果の分析

物流センターと各店舗間のリードタイム L 、各店舗の発注量 S はトラックの旅行時間 T に完全に依存するとして、 $\pi_{DC} - \pi_{NDC}$ をトラックの旅行時間 T で偏微分したものは、仮に商店数 n 、価格 p を固定すると負になる。従って、道路整備によってトラックの旅行時間 T が短縮すると、物流センター立地の効率性が上昇している事が分かる。

また商品価格 p と店舗数 n 以外の数に外生的に数値を与え、 π_{DC} と π_{NDC} に対して数値的な分析を行った。するとトラックの旅行時間 T がある水準まで低下すると、企業の利潤は物流センターを立地させない場合より物流センターが立地させた場合の方が高くなり、物流センターを立地させる事によって店舗数、消費者余剰ともに急増する事が確認できた。

4 考察

トラックの旅行時間が短縮すると、物流センター立地の効率性が上昇することから、物流センターには下流の店舗の需要変動リスクを上流で集約する役割がある事が理論的に明らかになった。また、道路整備によって都市内交通インフラが整うと、商店のサプライチェーンの構造が変化し、消費者の生活の利便性が急増する流れはこれまでの道路の便益評価において見落とされてきた視点である。従って、物流の円滑化を促進させる様な道路整備が行われる場合には、商流の流れにも着目した便益の評価が必要であると言える。

5 おわりに

本研究では、スーパーやコンビニエンスストア等の商店が立地する円形都市構造を想定し、商品の在庫管理費用に着目しながら、商店のサプライチェーンの構造をモデル化した。また、このモデルにおいて、商品を発注してから届くまでの時間、リードタイムに着目し、リードタイムの減少が商店のサプライチェーンの構造に及ぼす影響を分析した。分析結果としては物流センターには下流の店舗の需要変動リスクを上流で集約する役割があり、道路整備によって都市内交通インフラが整うと、商店のサプライチェーンの構造が変化し、消費者の生活の利便性が急増する事が明らかになった。道路便益の評価の際には商流の流れに着目する必要があるという土木計画の観点が得られた。