

第IV部門

在庫管理費用を考慮した商業施設の立地分析に関する研究

京都大学工学部

学生会員 ○中原 優太

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

スーパーマーケットやコンビニエンスストアのような小規模商業施設は都市内の至るところに遍在しており、我々都市の住民の便利な生活を支える無くてはならないものになっている。そのような小規模商業施設の立地を考察することは、都市住民の交通行動や都市内物流を分析するに当たって、非常に意義があると考えられる。小規模商業施設の扱う主力商品は弁当や総菜といった生鮮食品である。このような商品は商品価値の劣化が速く、商業施設にとっては在庫管理の重要性が高い。在庫管理においては、商品を発注してから実際に商品が届くまでの時間であるリードタイムが大きな影響を与える。また、消費者にとっても鮮度の劣化が速い生鮮食品は買い置きが難しく、可能であれば毎回新しい商品を購入に行くことを望むと考えられる。この点において生鮮食品の販売店舗が消費者の買い物行動に与える影響が大きい。物流の円滑化に資する交通インフラはリードタイムを短縮できるため、リードタイムの短縮が商業施設の立地や消費者の交通行動・社会的便益に与える影響を分析することは、土木計画の観点からも意義がある。本研究ではコンビニエンスストアのような小規模な商業施設が都市内に立地を決定する過程を在庫管理を考慮した単純なモデルで表現し、そのモデルを用いて、都市内においてリードタイムの削減が商業施設の立地傾向や消費者の効用にどのような影響を与えるかを分析する。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、中心に商業施設に商品を配送する本社（配送センター）

が存在すると考える。本社は商品の製造・物流の機能を備えており円周上に存在する配下の商業施設から商品の発注を受け発送を行う。円周上には消費者が均等に人口密度 e で居住しており、商業施設で商品の購入を行う。円周上における差異は存在しないので企業は都市内に均等に商業施設を立地させる。コンビニエンスストアやスーパーマーケットといった小規模商業施設は1つの企業のもと所有されている。本研究では商業施設の立地を分析するために、社会的最適化問題を考える。企業は各商業施設が抱える費用と都市内の消費者が抱える費用を最小化するように都市内最適出店店舗数 n を決定する。また以上の前提の下に構築したモデルを用いて都市内においてリードタイムの削減が商業施設の立地傾向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 消費者の費用

消費者の商品需要は単位時間あたり λ の確率で発生する。消費者の費用は、最寄りの商業施設まで商品を購入に向かう費用と購入した商品を手元の冷蔵庫に保管する費用の和と考えると、単位時間当たりの費用として以下の式で表される。

$$C(r, k) = \frac{\lambda}{k}(\tau r + \frac{\eta}{2\lambda}k(k-1))$$

ただし、各パラメータは、 k ：買い物1回当たり購入個数、 τ ：買い物費用の比例定数、 r ：消費者居住地から最寄りの商業施設までの距離、 η ：単位時間商品価値減耗費用であるとする。消費者はこの費用を最小化するように最適な買い物1回あたり購入個数 k を決定する。

2.3 商業施設の費用

商業施設が抱える費用は在庫管理に着目して定式化を行う。在庫管理に関する費用として発注を行う際に必要となる発注費用と在庫を店に保管する際の

Yuta NAKAHARA, Syunsuke SEGI and Kiyoshi KOBAYASHI

nakahara.yuta.28s@st.kyoto-u.ac.jp

費用の二つを考え、定式化すると以下の式で表すことができる。なお、発注費用には運送費のようなリードタイムに関する費用とそれ以外の費用が存在すると考える。

$$TC = \frac{D}{Q}(S_0 + S_1 L) + \frac{Q}{2}\eta$$

ただし、各パラメータは、 D ：単位時間当たり発生需要、 Q ：1回当たり仕入れ量、 S_0 ：リードタイムに依存しない発注費用、 S_1 ：リードタイムに依存する発注費用、 L ：リードタイムであるとする。

費用最小化より最適な仕入れ量 Q^* を決定する。

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(S_0 + S_1 L)}{\eta}}$$

各商業施設は消費需要の不確実性に対処するために余分な在庫（安全在庫）を持つ。この安全在庫は外生的な目標値 CSL によって決定される。 CSL は1度の仕入れにおいて在庫切れが生じない確率であり、安全在庫 ss は以下の式で表される。

$$ss = F_s^{-1}(CSL) \cdot \sigma_L$$

ただし、 F_s は標準正規分布の累積分布関数、 σ_L はリードタイム間の発生消費需要の標準偏差であるとする。また各商業施設はテナント費や従業員給与といった資本費を負担しており、それらを単位時間当たり固定費 F として表す。以上より1つの商業施設が負担する単位時間当たり費用を次式で定式化する。

$$TC_{retail}^* = \sqrt{4en\pi(S_0 + S_1 L)R\lambda\eta} + \eta ss^* + nF$$

2.4 運営企業の費用

以上定義した消費者の総費用と商業施設の総費用の和を商業施設運営企業の費用として定義する。

$$TC(n)^*_{sum} = 2en \int_0^{\frac{\pi R}{n}} \min_k C(r, k) dr + \sqrt{4en\pi(S_0 + S_1 L)R\lambda\eta} + n\eta ss^* + nF$$

運営企業はこの費用が最小となるような都市内最適出店店舗数 n を決定する。

3 比較静学によるリードタイム短縮効果の分析

リードタイムの短縮が出店店舗数 n に与える影響について比較静学の考え方に基づいて分析を行う。簡単のために都市内における消費者は1回の買い物で商品を1単位しか購入しないと考える。運営企業の費用式は最適解 n^* を持つ。費用最小化の1階条件式より、比較静学の考え方をを用いると n の変化量 Δn は L の変化量 ΔL を用いて次式で表すことができる。

$$\Delta n = - \frac{2\sqrt{e\pi R\lambda\eta} S_1 (S_0 + S_1 L)^{-\frac{1}{2}} + \eta F_s^{-1}(CSL) \sqrt{2e\pi R\lambda L}^{-\frac{1}{2}}}{6e\tau(\pi R)^2 n^{-\frac{5}{2}} + 2n^{-\frac{1}{2}} F} \Delta L$$

この式の右辺の係数項は常に負になるので、リードタイムの減少が出店店舗数 n の増加に寄与することを数学的に見る事ができた。リードタイムに関する要素としては、発注費用そのものに関わる運送費用（右辺分子第一項）と、需要の不確実性に対処するための安全在庫の費用（右辺分子第二項）との2つが存在する。その両者がリードタイムの減少に対して出店店舗数 n を増加させる方向に働く。

4 考察

消費者は最寄りの商業施設で商品を購入するインセンティブを持つ。そのため都市内に新しい商店ができた場合、買い物行動を変化させる消費者が現れる。すなわち道路整備等による物流リードタイムの削減は、都市内商業施設出店数の増加を通して、都市内の消費者の買い物・交通行動を変化させる。消費者の交通行動の変化の中には、道路整備の結果その道路の交通量が減少してしまうという変化も考えられる。しかしながら、その状況においても、店舗数の増加によって消費者の負担する総費用は減少しており、道路整備は社会的に正の便益をもたらす。したがって、物流の円滑化に資するような道路整備の評価を行う際には、特定区間の交通量のみを見るのではなく、商業施設の立地動向や商流の変化にも着目した評価を行う必要があると考えられる。

5 おわりに

本研究では、スーパーマーケットやコンビニエンスストアのような小規模商業施設と消費者の商品在庫管理に着目して円形型都市における企業の商業施設立地決定プロセスをモデル化した。また、商業施設が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て分析を行うことにより、リードタイムの減少が商業施設の在庫管理費用の低下、および、都市内の出店店舗数の増加に結びついていることを明らかにすることができた。さらに出店店舗数の増加が都市内における消費者の交通行動の変化をもたらす可能性を持つことから、リードタイムの削減をもたらす道路整備の評価を行う際には、商業施設の立地動向や商流の変化にも着目する必要がある、という土木計画の観点から意義のある結果が得られた。