8 公共交通システムの設計が都市構造に及ぼす影響

京都大学大学院教授
文　世一
福島県職員
田口 麻人

本研究では、都市経済学の理論に基づいて公共交通システムの設計変数（駅の間隔や路線長）を導入した土地利用モデルを構築した。モデルに基づく分析の結果、駅数の増加（駅間隔の減少）は都市をよりコンパクトにすることが示された。また公共交通システムが民間企業により運営される場合、公営の場合よりも駅数が小さくなることも示された。

自主研究「公共交通システムの設計が都市構造に及ぼす影響」（日交研シリーズ A-748）

1．はじめに

日本の地方都市では、自動車移動への依存が高まるとともに低密度の市街地拡大が進んでおり、行政サービスを維持するための行政費用の増加、公共交通機関のサービス低下、高齢者等自動車を利用できない「交通弱者」の存在など、都市の持続可能性への懸念が増している。これを受けて政府・自治体では、都市人口の集密化・都市機能の拠点ごとの集積をすすめ、都市内の中心部と生活サービスを提供する各拠点を公共交通機関で結ぶことによる都市のコンパクト化を政策目標として掲げている。ヨーロッパにおいては、コンパクトな都市構造と中心市街地の活性化にLRTのような公共交通システムの整備が重要な役割を果たしたことが知られている。

鉄道やLRTのような公共交通機関には規模の経済があるので、経営が成立するには沿線の人口密度が十分に高いことが必要条件であり、公共交通システムの持続可能性のために都市のコンパクト化が望まれる。すなわち、公共交通システムの整備が都市のコンパクト化をもたらし、それが公共交通システムの持続可能性を高めるという循環的関係が存在する。

都市経済学では、家計や企業の立地選択と土地市場の価格メカニズムを通じて実現する均衡土地利用の理論が開発されたが、なかでも交通施設の整備が土地利用と経済厚生におよぼす効果に関する研究は膨大な蓄積がある。ほとんどの研究において交通施設の整備は単位距離当たり交通費の減少として表されるので、市街地の拡大をもたらすという結果が得られる。このような交通費の定式化は自動車交通については適合するが、公共交通機関の特性を反映したものとは言えない。公共交通機関を利用するためには、駅や停留所のようなアクセスポイントまで移動する必要があり、この点を考慮すれば公共交通システムの設計を通じて都市構造のコンパクト化を実現する可能性がある。

近年になって、Kilani, et al (2010)[1], Basso, et al (2018)[2]は、鉄道を利用するために駅へのアクセスが必要であることを考慮した都市モデルの研究が行われるようになった。これらの研究では、交通システムのサービス水準はパラメータとして外生的に与えられていたが、Li, et al.(2012)[3]は、都市内土地利用の変化を織り込んで駅の配置や路線長の計画問題を数値シミュレーションにより分析している。

本研究では、公共交通システムを利用するために、鉄道駅のようなアクセスポイントの存在を考慮した都市モデルを構築する。そして駅の配置を内生的に求める問題を設定し、交通システム設計の代替的方式が都市構造や経済厚生に及ぼす影響を理論的に分析する。本研究では、交通事業の利潤最大化、および社会的厚生を最大化する設計問題を検討する。前者は、日本において見られる私鉄が都市の公共交通を担っている状況、後者は公共部門による運営に対応している。

2．公共交通システムと土地利用モデル

モデルの基本仮定は下記の通りである。

(A)すべての職場がCBDに集中する単一中心都市を仮定し、都市内の立地点はCBDからの距離xにより表される。

(B) 都市の総人口はNで外生的に与えられる。すなわち閉鎖都市を仮定する。

(C) 住民は都市内のいずれかの地点xからCBDへ通勤するが、交通手段は徒歩と公共交通機関（鉄道）のみである。住民は駅まで徒歩移動した後、交通機関によりCBDへ向かう。図１のように、交通機関は地点0から終点x_rまで路線が延びており、路線上には等間隔hごとに駅が設置されている。したがって駅の数Iは、$I = x_r/h$のように求められる。

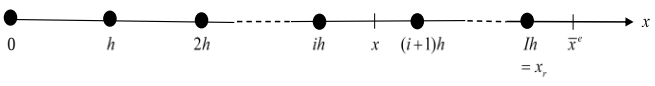

図１：都市空間と公共交通システム

以上の設定（すなわち公共交通システムの設計変数、x_rとh、が与えられた）もとで、住民の立地選択と住宅市場、土地市場の均衡を定式化する。住民は効用（消費水準と住宅面積の関数）を最大化するように住宅立地を選択する。住宅は競争的なデベロッパーによって供給される。デベロッパーは土地と資本（住宅資材など）を用いて住宅を建設するが、利潤を最大化するように土地と資本の投入量を選びその比率により各地点の容積率（土地面積当たり床面積）が決まる。各地点における地主は、最大の地代を提示したデベロッパーに土地を供給する。土地利用の均衡条件は次の通り：

・すべての住民はどこに住んでも等しい効用水準を達成する。
・各地点における住宅に対する需要と供給が一致する。
・各地点における土地に対する需要と供給が一致する。
・都市外縁における住宅地代は農業地代に一致する。
・都心から外縁までの間にN人の住民が立地する。

図２には、均衡における地代の空間的変動をプロットしているが、駅の立地点に地代のピークが生じている。

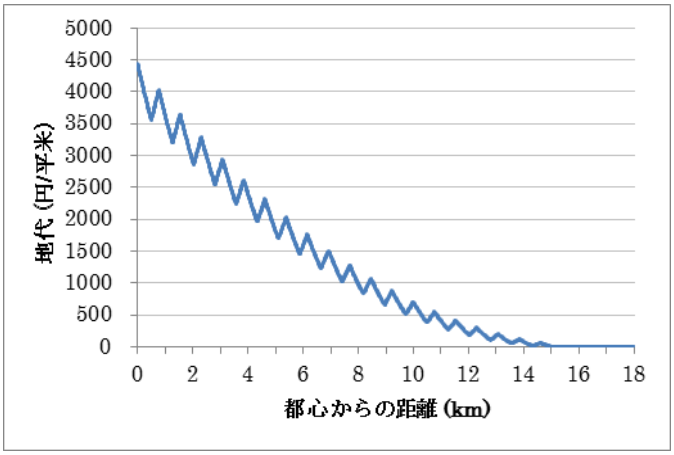

図 2：地代の空間的変動

公共交通システムの設計変数、x_rとh、の変化が都市構造に及ぼす影響について、次のような命題が得られる。

命題１

（１）公共交通機関の路線を延伸した場合、都市の規模を拡大させる。

（２）駅数を増やすことにより駅間距離が短くなると、都市の規模は縮小する。

命題1の（２）は、従来の都市経済モデルにおける結果（交通施設の改善は都市規模を拡大させる）とは対照的である。駅間距離が短くなると駅へのアクセスが改善されるので、市場地代が全般的に高い水準にとどまり、その結果として容積率そして人口密度が増加する。

３．交通システムの設計と社会的効率性

路線長と駅数は、これまで外生的なパラメータとして与えていたが、これらは公共交通システムの設計者により決定される変数である。本研究では、次の二通りの決定方式を検討する：（１）交通企業の利潤最大化；（２）社会厚生最大化。

交通企業の利潤は、料金収入から運行費用、駅設置費用、路線建設費用を引いたものである。ここで料金収入と運行費用は輸送量（人・km）に比例、また駅設置費用は駅の数、路線建設費用は路線長に比例する。社会厚生は、（貨幣単位で測った）住民の効用、交通企業の利潤、総地代収入の和である。なおデベロッパーの利潤は、完全競争のためゼロとなるので算入していない。

パラメータに関する現実的な条件のもとでは、駅数の決定に関して次のような理論的結果が得られる。

命題2

（１）交通企業の利潤を最大化する駅数は、社会的厚生を最大化する駅数よりも少ない。

（２）交通企業の利潤を最大化するよう駅数を決定する場合、社会厚生最大化の場合に比べ、都市規模は大きく、住民の効用水準は小さい。

路線長については、数値計算により、現実的なパラメータのもとでは利潤最大化の場合が社会厚生最大化の場合に比べて短くなるという結果が得られた。

４．おわりに

公共交通システムの設計を通じた都市のコンパクト化の可能性と、経済効果について論じた。分析結果は単純化のためのいくつかの仮定に依存している。特に自動車と公共交通機関が共存する状況について分析を拡張することにより、より現実的な政策分析が可能になると思われる。

参考文献

[1] Kilani, M., F. Leurent, A. De Palma, 2010, “A Monocentric City With Discrete Transit Stations”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2144, 36-43

[2] Basso, L. J., M. Navarro and H. E. Silva, 2018, "Public Transport and Urban Structure", Paper for presentation at ITEA Conference, Hong Kong

[3] Li, Z.-C., et al., 2012, Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor, Transportation Research Part E, 48, 50-70.