

人流ネットワーク構造に着目した都市構造評価 に向けた基礎的研究

橋本 達¹・鈴木 温²

¹学生会員 名城大学 理工学研究科建設システム工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail:163437005@c alumni.meijo-u.ac.jp

²正会員 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail:atsuzuki@meijp-u.ac.jp

近年、人口減少や少子高齢化に伴う様々な問題に対して、コンパクトシティに代表される都市構造が提案されている。都市構造評価に関して、今まで多くの研究蓄積があるが、人々の移動とインフラネットワークの関係性を分析している研究は少ない。本研究では、パーソントリップデータや、モバイル空間統計データを用いて、人流ネットワークとインフラネットワーク構造の相互作用に着目し、両者の関係を実証的に明らかにすることを目的とした。その結果、人々の交通手段選択では、居住地の立地に加え目的地の立地が大きく影響していることがわかった。また、H22年からH27年までの人口増減率と鉄道ネットワークを分析した結果、鉄道駅中心から半径500m圏内の地域で人口が増加している。一方で、鉄道駅から離れた地域では人口が減少していることが明らかになった。

Key Words : *Compact City, mobile spatial statistics, human flow network, Infrastructure network*

1. はじめに

人口減少、高齢化の進展等に伴い、既存市街地における空き家の増加、医療・福祉・商業等へのアクセスの低下等が深刻化しており、生活の質の低下やさらなる衰退を懸念する自治体が増加している。このような問題に対し、都市機能や住宅を拠点周辺に誘導し、拠点間を交通ネットワークで結ぶ「コンパクト+ネットワーク」という都市構造概念が提案され、それを実現する法制度として、平成 26 年に立地適正化計画が導入された。現在、およそ 300 の自治体において、計画策定が進められており、都市機能誘導区域、居住誘導区域の設定や公共交通ネットワークのあり方に関する検討ニーズが高まることが予想される。このような都市構造転換政策の根拠として、交通、環境、財政等に関するコストが都市構造と密接に関連している。また、ネットワークを中心とした都市構造を評価する際、人々の移動（以下、人流ネットワーク）とインフラネットワークの関係性を把握することが必要である。両者の関係性において、鉄道路線で結ばれた地域間は、人々の移動が活発になると考えられる。また、インフラネットワークは人々の立地選択を通じて、人流ネットワークに影響を与える。一方、乗車駅の少なくなった鉄道やバスは廃線の危機になることがある。こ

のように、人流のネットワークとインフラのネットワークは相互作用の関係にあるといえる。

そこで、本研究では、人流ネットワークとインフラネットワーク構造の相互作用に着目し、名古屋都市圏の鉄道インフラネットワークを対象に、パーソントリップデータ（以下、PT データ）やモバイル空間統計データを用い、両者の関係の特徴を実証的に明らかにすることを目的とする。なお、本研究では、ネットワーク構造と人口分布との関係性についても分析対象としている。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

都市構造の評価に関する研究は、今までに多くの研究蓄積がある。これらの研究では、人口密度や駅から徒歩圏内に住む人の割合など、居住地ベースの夜間人口を用いた指標が都市構造指標として提案されてきた¹⁾。都市構造を把握する際、人口の空間的分布に着目して都市の空洞化を客観的かつ視覚的に示した指標を提案している研究²⁾があるが、夜間人口と昼間人口では、分布の傾向が異なり、人口分布の日変化は、人々の都市活動に伴う移動によって生じることから、単に夜間人口、昼間人口の密集度が高いだけでは望ましい都市構造とは言い難い。加えて、人々の移動や交通手段選択は、居住地の立地に

加え、目的地の立地にも依存すると考えられが、目的地側を考慮した研究は見られない。また、これまでに提案されてきた都市構造指標と環境負荷や生活利便性のパフォーマンスとの相関性は必ずしも高くない³⁾という研究結果もある。都市構造を評価する際、今までの居住地ベースの都市構造に加え、居住地と目的地間の人流ネットワークと居住地、就業地、都市施設等とそれらを結ぶ交通インフラ等の都市基盤のネットワークとの関係性を考慮するべきである。そこで、本研究では、都市をネットワーク構造として捉え、人流ネットワークとインフラネットワーク構造の相互作用に着目し、両者の関係を実証的に明らかにすることを目的とする。また、インフラのネットワーク構造と人口分布の関係性についても明らかにする。

3. 研究方法

本研究において、人流ネットワーク構造に着目した都市構造指標の現状を把握するために、4章では、携帯電話の位置情報を用いた人口統計データを基にした人口流動の現状把握を行う。また、5章では、パーソントリップデータを用いて、鉄道と人流のネットワーク分析を行う。出発地と目的地の地理的特性（最寄り駅からの距離）と主要交通モードの分担率の関係について分析を行う。その後、交通分担率と鉄道のネットワーク（所要時間）との相関分析を行なう。6章では、鉄道が持つ特性（接続する路線数等）等を変数に加えた交通手段分担率のロジットモデルを構築し、人々の移動特性を把握する。7章では、人口増減率と鉄道ネットワークとの関係性を分析する。

4. 携帯電話位置情報を用いた人流分析

4.1 モバイル空間統計

本研究では、NTTドコモの携帯電話位置情報を利用した人口統計ビックデータで、各携帯端末から基地局に1時間おきに送られる情報をもとに、日時・場所・居住地・年齢・性別などの情報とともに人の位置情報を500×500m²の範囲で集計したモバイル空間統計を用いた。

4.2 愛知県の夜間・昼間人口分布

図-1, 2 にモバイル空間統計データから作成した愛知県の夜間人口分布(2016年3月10日午前2時)と昼間人口分布(2016年3月10日午後14時)を示す。この結果から、昼間人口分布が名古屋駅付近に一極集中しているのに対し、夜間人口分布は比較的疎らに人口が分布していることが分かり、夜間人口分布と昼間人口分布では、人口の分布の傾向が異なり、人口分布の日変化は、人々の都市活動に伴う移動によって生じることが確認できる。

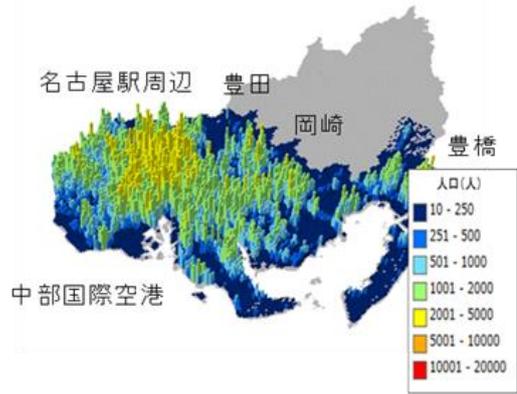


図 - 1 愛知県の夜間人口分布

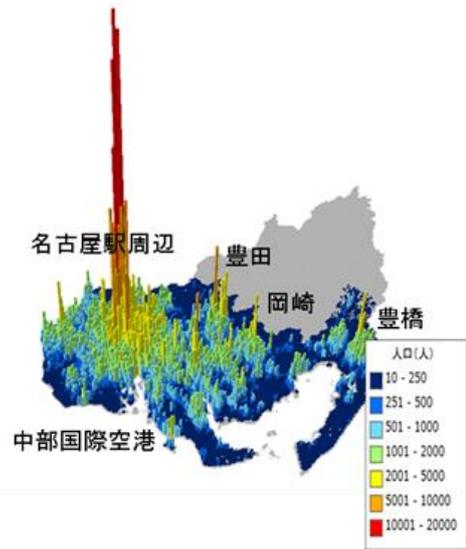


図 - 2 愛知県の昼間人口分布



図 - 3 名古屋駅にきている人の居住地

4.3 居住地と日中活動地間のネットワーク特性

図-3にモバイル空間統計データから、2015年10月15日14時に名古屋駅を中心とした1kmメッシュにいる人の人数を居住地の市町村単位に集計したデータをネットワーク構造として示す。名古屋市以外にも名古屋駅から離れた場所に立地する、豊田市や岡崎市から来ていることが分かり、中でも、一宮市や春日井市から来ている人

が多いことが分かった。一宮や春日井は、名古屋駅までの鉄道での利便性が高いので、多く見られるのではないかと推測できる。

4.4 駅徒歩圏 800m と人口分布の関係

図 - 4.5 に駅徒歩圏 800m とモバイル空間統計データから、2016年3月13日の2時と14時の人口分布の関係を示す。2時、14時ともに人口分布は半径 800m 圏内に多いことが見て取れる。住宅選択や商業施設、勤務地は駅から近い場所に多くあるのではないかと推測できる。

5. 鉄道ネットワークと人流ネットワークの関係性分析

5.1 鉄道駅の路線数と各メッシュにきている町長字の関係性

鉄道網をネットワーク構造と捉え、鉄道駅を頂点（ノード）、その鉄道駅につながれている路線を鉄道駅に対する枝（リンク）と考える。この時、ノードにつながるリンク数を次数と呼び、鉄道駅の次数はその鉄道駅につながれている路線数を指す。また、人の移動をネットワーク構造と捉え、モバイル空間統計データより、500mメッシュをノードとし、居住地（町長字）と目的地（500mメッシュ）がリンクで結ばれていると考える。

500mメッシュの次数は、メッシュ内にきている人の居住地の数であり、次数が高いほど多くの居住地から来ていることを指す。これらを踏まえ、図 - 6.7 に 2015年の平日、休日の14時における、鉄道駅の次数と500mメッシュの次数を示す。鉄道駅の次数は、名古屋駅や金山駅、大曽根駅で次数が高く、愛知県の鉄道網の中でハブとなっていることが分かる。それに伴い、これらの駅の周辺メッシュは次数が高く、14時においては平日では仕事、休日では買い物目的に鉄道を利用して多数の地域から人が訪れていることが推測される。一方で、鉄道駅の次数が低い地域では、メッシュの次数も低くなっている。このことより、鉄道駅の次数が高い地域は多くの地域からアクセスしやすく、人の移動に大きく影響していることが考えられる。

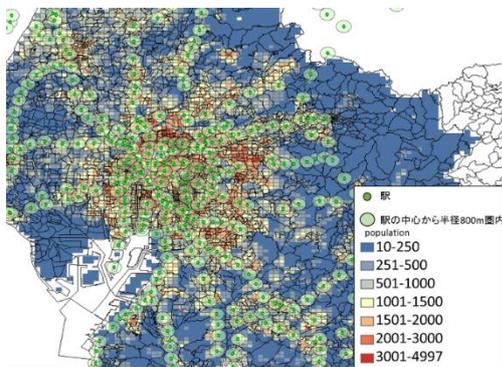


図 - 4 駅徒歩圏 800m と 2016年3月13日2時の人口分布の関係

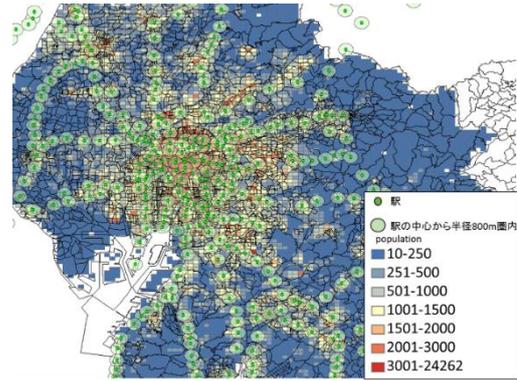


図 - 5 駅徒歩圏 800m と 2016年3月13日14時の人口分布の関係

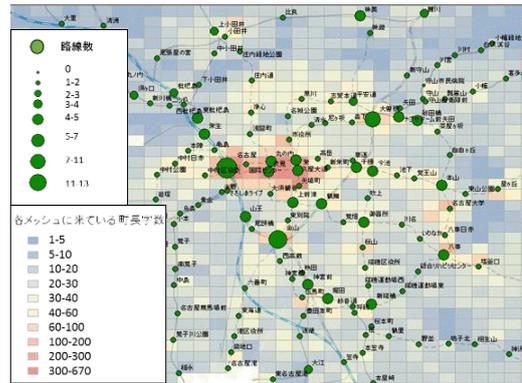


図 - 6 2015年、平日14時の鉄道の路線数と各メッシュにきている町長字の関係性

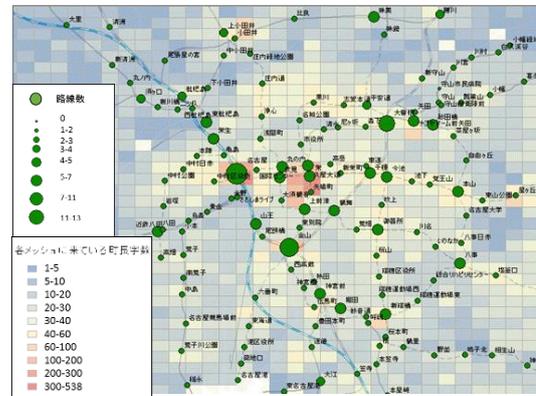


図 - 7 2015年、平日14時の鉄道の路線数と各メッシュにきている町長字の関係性

5.2 PTデータを用いた人流ネットワーク分析

5.2.1 出発地・目的地ゾーンの中心点から最寄駅までの距離と鉄道分担率の関係性

第5回中京都市圏パーソントリップ調査(以下PT調査)のデータを用いて、出発地、目的地の各側の最寄り駅からの距離と主要交通モード(代表交通)の分担率の関係性について分析する。対象範囲については、出発地、目的地ともに愛知県名古屋市市の16区として考え、ゾーンの範囲は、PT調査の小ゾーンを選定した。出発地ゾー

ンの中心点から最も距離が近い駅を出発地側の最寄り駅、目的地ゾーンの中心点から最も距離が近い駅を目的地側の最寄り駅とした。また、出発地と目的地の2点間での代表交通分担率を算出し、出発地側・目的地側の最寄り駅と出発地、目的地までの距離を500m毎に3000mまでの範囲で鉄道分担率の平均値をそれぞれ算出した。分担率の中でも鉄道分担率に着目し、算出した出発地ゾーンの中心点から最寄り駅までの距離、目的地ゾーンの中心点から最寄り駅までの距離と、出発地と目的地の2点間での鉄道分担率との関係性を明確にした。表-1に出発地・目的地ゾーンの中心点から最寄り駅までの距離と鉄道分担率の関係性を示す。出発地では、出発地ゾーンの中心点から最寄り駅までの距離が近いほど鉄道分担率が高い結果となった。目的地も同様に、目的地ゾーンの中心点から最寄り駅までの距離が近いほど鉄道分担率が高くなった。しかし、出発地ゾーンから最寄り駅までの距離が近くても、目的地ゾーンから最寄り駅までの距離が遠ければ鉄道分担率は低くなり、同様に、目的地ゾーンから最寄り駅までの距離が近くても出発地ゾーンから最寄り駅までの距離が遠いと鉄道分担率は低くなる事が確認できた。

これらの結果から、都市構造指標を考える際、出発地（居住地）が鉄道駅の徒歩圏内か否かだけで評価するのは不十分であり、目的地側も含めたネットワーク特性を考慮する必要があることが示唆された。

5.2.2 鉄道分担率と所要時間の相関分析

所要時間を、出発地から目的地間で鉄道のみで移動した時間、鉄道での所要時間に出発地ゾーンの中心点から最寄り駅までの時間を加えた時間、鉄道での所要時間に出発地ゾーンの中心点から最寄り駅までの時間を加えた時間、徒歩のみで移動した時間、出発地ゾーン中心点から最寄り駅までの徒歩時間、目的地ゾーン中心点から最寄り駅までの徒歩時間の計7パターンを用いて、各所要時間と鉄道分担率との相関分析を行った。但し、鉄道での所要時間は最短経路でかかる時間とし、出発地と目的地の2点間の鉄道分担率の中で、分担率が100%と0%を除いて分析を行った。表-1に各所要時間と鉄道分担率との相関分析の結果を示す。

結果として、全ての所要時間に対して、高い相関は得られなかったが、短い時間での移動は、鉄道を利用しない傾向にあることが明らかとなった。また、徒歩の総所要時間、出発地ゾーン中心点から最寄り駅までの徒歩時間、目的地ゾーン中心点から最寄り駅までの距離の徒歩時間では、相関係数は低い値だが、徒歩時間が短くなるにつれて、鉄道分担率が高くなることがわかり、出発地・目的地共に鉄道駅からの距離が影響していることが明らかになった。

表 - 1 所要時間と鉄道分担率との相関分析

鉄道での最短所要時間+出発地ゾーン中心点から最寄り駅までの時間	0.3295**
鉄道での最短所要時間+目的地ゾーン中心点から最寄り駅までの時間	0.2359**
総所要時間	0.1864**
総徒歩時間	-0.0473**
出発地ゾーン中心点から最寄り駅までの時間	-0.0370*
目的地ゾーン中心点から最寄り駅までの時間	-0.0303*

** : 1%有意, * : 5%有意

6. 交通手段選択モデルによる手段選択要因分析

人々の交通手段選択を把握するため、交通モードを選択する際の要因について分析する。まず、出発地ゾーン、目的地ゾーンはともに名古屋市のゾーンとし、名古屋市内での移動を考え、出発地・目的地の立地や鉄道での所要時間などを変数とする多項ロジットモデルによって交通手段選択確率を推定する。ここで、 $\{j=1$ (鉄道分担率), $j=2$ (自動車分担率), $j=3$ (その他) $\}$ の3タイプとする。その他とは、代表交通機関における、鉄道、自動車以外の交通手段(バス、自転車、徒歩)とする。式(1)、(2)に交通手段選択モデルにおける多項ロジットモデルの選択確率および、個人 n の選択 j に関する効用関数を示す。また、表-2、3に交通手段選択の効用関数における変数選択、パラメータ推定の結果を示す。いずれの変数も1%有意となり、有意な標準パラメータが得られた。出発地側・目的地側の鉄道次数は共に t 値が高い結果が得られ、最寄り駅の次数が高いと鉄道の分担率が高い傾向があることが明らかになった。鉄道駅の次数が高いと、路線数が多いことを示していることから、より多くの場所に移動ができるため、鉄道での利用が増えるのではないかと推測できる。鉄道移動の際の乗り換えでは、乗り換えの t 値がマイナスの結果となり、鉄道駅の乗り換えが無い場合を1、ある場合を0としたダミー変数で推定したため、乗り換えがある移動ほど鉄道を移動する結果となった。理由として、本研究では、名古屋市内の移動のみを考えており、地下鉄の乗換えが頻繁に起きていることが考えられるためである。出発地ゾーン中心点から最寄り駅までの距離、目的地ゾーン中心点から最寄り駅までの距離に関しては、両者とも距離が短い方が鉄道を利用する確率が多く、ゾーン間の距離も長い方が鉄道の分担率が高くなる傾向があることが示唆され、項5.2.2の結果と一致する。尤度比の値も良い結果が示された。

また、交通手段選択モデルの精度の検証を行った結果、PTデータより代表交通手段（鉄道、バス、自動車、自転車、徒歩）を実測値とし、サンプル数 103902 人の属性データを推定した交通手段選択におけるモデルに適用した。モデル式より得られた交通手段分担率を推計値とした。図-8に、鉄道、自動車、その他の分担率を示す。鉄道、自動車、その他全てにおいて、実測値と推計値に差が無く、極めて高い推計結果が得られた。

$$P_{jn} = \frac{e^{V_{jn}}}{\sum_{j=1}^n e^{V_{jn}}} \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (1)$$

$$V_{in} = \beta_1 X_{1in} + \beta_2 X_{2in} + \dots + \beta_K X_{in} \quad (2)$$

V_{in} : 効用の確定項, β : パラメータ, X : 特性変数

表 - 2 交通手段選択モデルの変数選択

		鉄道	自動車	その他	パラメータ
個人属性	出発地側 最寄駅までの距離	X_1	-	-	β_1
	目的地側 最寄駅までの距離	X_2	-	X_2	β_2
	ゾーン間距離	X_3	X_3	-	β_3
	自動車免許保有ダミー	-	X_4	-	β_4
	年齢	-	X_5	-	β_5
	自動車保有台数	-	-	X_6	β_6
	出発地側 最寄駅の次数	X_7	-	-	β_7
	目的地側 最寄駅の次数	X_8	-	-	β_8
	乗り換えダミー	X_9	-	-	β_9
選択肢固有 ダミー	X_{10}	-	1	-	β_{10}
	X_{11}	-	-	1	β_{11}

表 - 3 交通手段選択のパラメータ推計結果

変数	パラメータ	t 値	検定
出発地側鉄道駅距離 X_1	-0.56	-33.59	**
目的地側鉄道駅距離 X_2	-0.37	-32.43	**
ゾーン間距離 X_3	0.53	113.75	**
自動車免許保有 X_4	1.21	67.17	**
年齢 X_5	0.12	30.70	**
自動車保有台数 X_6	-0.47	-50.16	**
出発地側鉄道駅次数 X_7	0.21	11.08	**
目的地側鉄道駅次数 X_8	0.19	10.01	**
鉄道移動乗り換え X_9	-0.89	-45.41	**
選択肢特性固有ダミー X_{10}	-1.84	-51.81	**
選択肢特性固有ダミー X_{11}	2.20	74.09	**
尤度比	0.28		
サンプル数	103902		

** : 1% 有意 * : 5% 有意

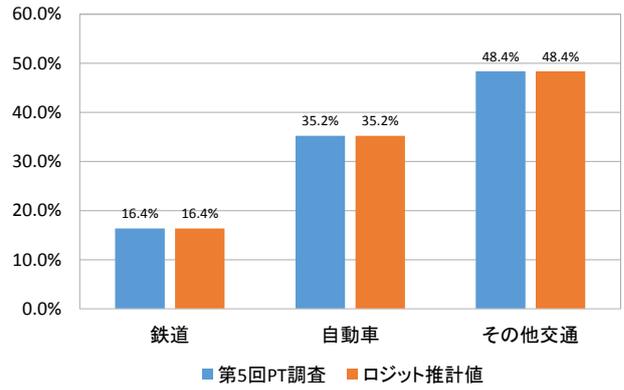


図 - 8 交通手段選択モデルの精度検証結果

7. 人口増減率と鉄道ネットワークの関係性分析

名古屋市を対象に、国勢調査の小地域データより H22 年から H27 年までの人口増減率と H27 年の人口密度を算出した。図 - 9, 10 に人口増減率と鉄道ネットワークの関係性および、H27 年の人口密度と鉄道ネットワークの関係性を示す。鉄道駅中心から半径 500m 圏内の地域で人口が増加している。一方で、鉄道の徒歩圏内から離れた地域で人口が減少していることが見てとれる。人口密度も同様に、鉄道駅中心から半径 500m 圏内の地域で高い値を示しており、名古屋市の中でも緑区、千種区、中川区、中区が主に人口が増加している。図 - 11 は、鉄道駅中心から半径 500m 圏内に入っている地域と半径 500m 圏外の地域別の人口増減率を昇順に並び替えた図である。鉄道駅中心から 500m 圏外の地域と比べ、500m 圏内の地域のほうが人口が増えていることが明らかとなった。以上より、鉄道駅の近くに人口が増加していることから、人々が居住を選択する際、鉄道ネットワークが高い地域が選択されやすいことが推測できる。

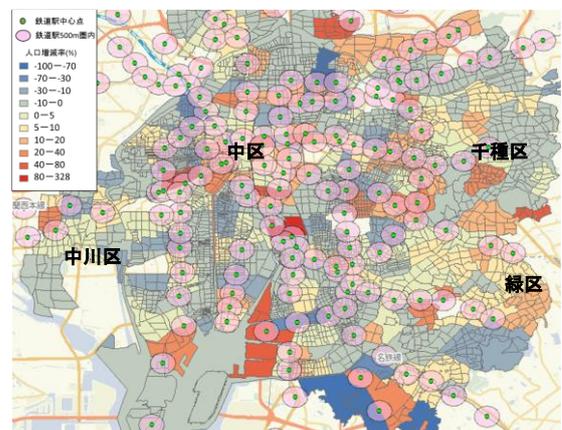


図 - 9 人口増減率と鉄道ネットワークの関係性

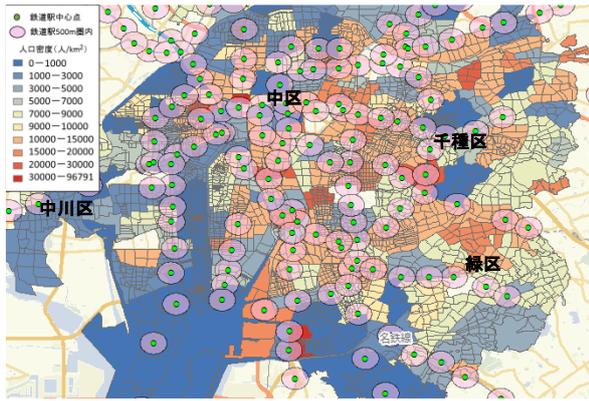


図 - 10 H27年の人口密度と鉄道ネットワークの関係性

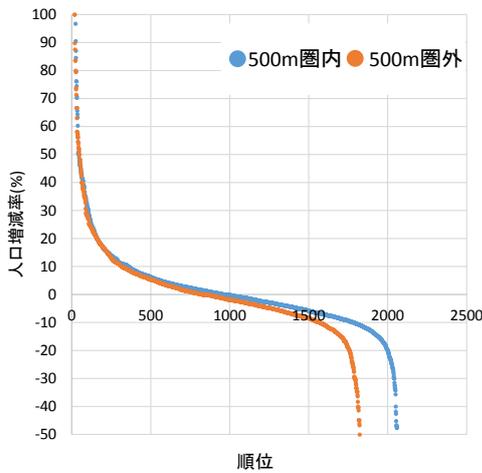


図 - 11 鉄道駅中心から 500m 圏内・圏外の地域別人口増減率のランキング

8. おわりに

本研究では、PTデータやモバイル空間統計データを用い、人流ネットワークと鉄道ネットワークの関係性に

ついて分析を行ってきた。夜間人口分布と昼間人口分布では、人口の分布の傾向が異なっており、都市構造を評価する際、夜間人口に加え昼間人口も考慮するべきであり、人々の移動特性を詳細に把握することが必要であることが示唆された。人々の交通手段選択においては、居住地と最寄り駅までの距離だけでなく、目的地の立地にも大きく影響していることが、交通手段選択モデルで確認できた。また、人口が増加している地域は鉄道の徒歩圏内に多く見られ、減少している地域は鉄道駅から離れた地域に多く、人々の居住選択において鉄道ネットワークの強さが大きく関係していることが推測できる。今後、本研究で構築した交通手段選択モデルを用い、各地域（ゾーン）ごとの鉄道の分担率と人口の増減の関係性を詳細に分析する必要がある。

謝辞

本研究では、「第5回中京都市圏パーソントリップ調査」のデータを利用した。データを提供いただいた中京都市圏総合都市交通計画協議会に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局都市計画課：都市構造の評価に関するハンドブック，2014
- 2) 村上浩和，森田雅文，坂真哉：市街地の再生技術に関する研究，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告，NO.5，2006
- 3) 橋本達，鈴木温：「持続可能な都市構造転換のための都市構造評価指標に関する研究」，土木学会 第 71 回年次学術講演概要集，CD-ROM (2016)

(2017.4.28 受付)

FUNDAMENTAL RESEARCH FOR URBAN STRUCTURE EVALUATION FOCUSING ON HUMAN FLOW NETWORK STRUCTURE

Tatsu HASHIMOTO and Atsushi SUZUKI