

日本のモーダルシフトの現状と要因分析*

石渡健吾、青木辰夫、丸山美帆、
六川和歌子、荒川奈美、遠藤瞳、檜垣達郎

1. はじめに

モーダルシフトとは、旅客や貨物の輸送を、大量輸送が可能な鉄道や貨車、船舶輸送に切り替えることを指す。昭和 30 年代から急速に進んだ自動車の普及は、人々の生活を格段に便利にしたが、近年、高齢化に伴う交通事故の増加や、自動車から排出される大気汚染物質による環境被害、そして二酸化炭素による地球温暖化への寄与が問題視されるようになった。

自動車依存型社会からの脱却のために、とくに温暖化対策の観点から、本論文では、自動車から鉄道へのモーダルシフトに注目する。これは下図に示すように、鉄道が自動車よ

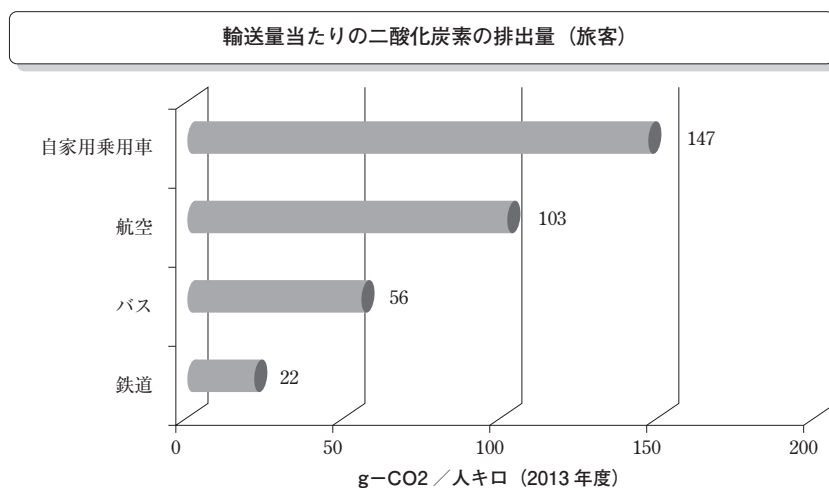


図 1-1 交通手段別二酸化炭素排出量の比較

出典：国土交通省『環境：運輸部門における二酸化炭素排出量』

* 社会科学総合学術院赤尾健一教授の指導の下に作成された。

りも輸送力が高く 1 人あたり二酸化炭素排出量が少ないためである。自動車利用を抑制し、鉄道利用を促す政策とはいかなるものだろうか。また、現在モーダルシフト促進のために実施、提案されている政策は、実際に自動車の保有台数や鉄道の利用者数に有効に変化させるのであろうか。本論文では、これらの問いに答えるために、統計分析を行う。なお、モーダルシフトとは一般に貨物の輸送に関して使用される言葉であるが、本論文では旅客の輸送手段の切り替えをモーダルシフトと呼ぶこととする。

2. モーダルシフトの実例

2.1 日本、海外での導入例

ここではモーダルシフトの成功例として有名な 2 つの都市の取り組みと成果を紹介する¹⁾。

(1) フライブルク市（ドイツ）

1992 年、ドイツ環境支援協会による環境首都コンテストで、交通、農林業、河川、廃棄物など各分野で高く評価され、最高点で「環境首都」の称号を得たのがフライブルク市である。このフライブルク市が交通政策で力を入れているのが、近距離公共交通の拡充である。その核となる政策として、自動車の中心市街地への侵入による道路混雑を緩和するため、LRT（Light Rail Transit, 次世代型路面電車システム）を積極的に導入し拡充に努めている。同時に、郊外と市街地を結ぶドイツ鉄道と LRT の乗り換えの利便性の向上にも注力した。LRT の利用促進のため、1985 年に環境保護定期券（1996 年に「レギオカルテ」と改称された）が導入され、現在は周辺 3 郡の公共交通（国鉄、バス、市電を含む約 2400km）に乗車可能である。料金は 1 ヶ月 59DM（約 4400 円）、1 年間 590DM（約 4 万 4000 円）で、他人への譲渡が可能であり、休日は一枚で家族全員が利用できるのが特徴である。また、郊外から市街地に流入する自動車を減らすためにパーク・アンド・ライドを導入し、サッカーの試合などのイベントがある際は、入場券の提示により往復の公共交通の利用料を無料としている。

これらの政策により、フライブルク交通株式会社の全路線の年間利用者数は、1987 年の約 3660 万人から 2003 年には約 7000 万人と大幅に上昇した。また、交通手段別の分担率に占める自動車の割合も 1976 年の 60% から 1995 年には 46% に減少させることに成功した。

(2) 富山市

フライブルク市と同様、LRT を活用したまちづくりに取り組んでいるのが富山市であ

る。富山市は、市街地から JR 線や富山地方鉄道が延び、中心部には路面電車も存在するなど、鉄道網に関して全国でも恵まれている都市の一つである。このため市は、既存の鉄軌道を軸に公共交通を活性化させ、その沿線に住居、商業、業務、文化などの機能を集積したコンパクトシティの形成を推進することにした。その先導的プロジェクトとして、利用が低迷する JR 富山港線を市が JR から引き継ぎ、超低床式車両が高頻度で走る富山ライトレールを富山市、富山県、地元企業の合同出資で設立し、2006 年 4 月に開業した。既存路線を活用した LRT は日本初である。また、公的補助による増便及びサービス水準の向上が利用者の増加に繋がることを確認することを目的として JR 高山本線の活性化社会実験も実施した。

2006 年 4 月に開業した富山ライトレールの利用者数は、半年で 100 万人、約 1 年後には 200 万人を突破し、2010 年末までに延べ 770 万人が利用した。JR 富山港線時代と比較し、平日は 4818 人 / 日と約 2.1 倍、休日は 3861 人 / 日と約 3.7 倍に大きく増加したのである。また、富山ライトレール利用者の利用交通手段を調査したところ、自動車からの転換が 11.5% もあったことがわかった。現在では地元市民の足としてだけでなく、観光目的の利用も多く周辺地域の活性化にも寄与している。

以上のモーダルシフトの成功例に共通することは、公共交通機関の整備とその利用便益の向上である。これらの点で十分な条件を有しているのが大都市である。そこで次に、世界の代表的な先進都市における鉄道網の状況とその利用実態をみてみよう。

2.2 大都市における鉄道普及と利用実態：日本と海外の比較

ここで取り上げる都市は、東京、ロンドン、パリ、ニューヨークである。これらの都市では、前節のフライブルクと富山市においてモーダルシフトをもたらした公共交通機関の整備が十分に行われていると考えられる。したがって、その鉄道利用の実態はモーダルシフトの上限あるいは目標を示唆することが期待される。また、各都市を比較することで、公共交通機関の整備以外のモーダルシフト促進要因が見つかる可能性がある。

まず、それぞれの都市の基本的なデータとして、人口、面積、人口密度を表 2-1 に示した。ここでの数値は 2012 年にウェンデル・コックスらが公表した、「原則として 400 人 / km² 以上の人口密度を有する、建物が連続する地域」と定義した「都市的地域」の区分を利用している (Wikipedia より)。表から、東京は他都市と比較しても人口密度の高い地域が広域にわたっていることがわかる。また、ニューヨークにも同じ傾向が見られるが、人口密度はあまり高くない。それに対し、パリとロンドンは都市的地域があまり広範囲ではなく、特にロンドンは 4 都市の中で最も人口密度が高いことから、限られた都心部に人口が集中していることがわかる。

表 2-1 各都市の基礎データ

	人口	面積	人口密度
東京	37,126,000	8,547	4,300
ニューヨーク	20,464,000	11,642	1,800
パリ	10,755,000	2,844	3,800
ロンドン	8,586,000	1,623	5,300

資料：Wikipedia『世界の都市的地域の人口順位』

表 2-2 地下鉄のインフラ状況

	東京	ロンドン	パリ	ニューヨーク
a. 路線距離 (km)	304.1	408	201.8	374
路線数	13	12	16	27
駅数	285	270	300	468
従業員数	1 万 1914	1 万 3400	9967	2 万 7967
運行時間	5:00～0:48 (東京 メトロ)、5:00～ 1:07 (都営地下鉄)	4:40～1:30	5:30～1:15	終日
b. 輸送人員	31 億 7475 万	10 億 7300 万	14 億 7250 万	16 億 2300 万
最小運転間隔	1 分 50 秒 (東京 メトロ)、2 分 30 秒 (都営地下鉄)	2 分	1 分 35 秒	2 分
車両数	3759	4070	3561	6183
輸送人員密度 (b/a)	10.4×106	2.6×106	7.3×106	4.3×106

資料：日本地下鉄協会『世界の地下鉄』

次に本題である各都市の鉄道の比較を表 2-2 に示す。ここでは都市鉄道の代表として地下鉄を比較の対象とする。表から各都市の特徴がわかる。まずニューヨークは、路線数や車両数などの項目でトップであり、インフラが発展している。事実、同都市の地下鉄は「ニューヨークの血管」と呼ばれている。東京の特徴は、輸送人員が群を抜いて多いことである。なお、輸送人員を路線距離で割った輸送人員密度を計算すると、東京が非常に高く、次いでパリ、ニューヨーク、ロンドンと続き、各都市で大きく異なることがわかる。パリは、路線距離は最も短いが路線数、駅数ともにニューヨークの次に多く、都心部の地下鉄網が発展していることがわかる。ロンドンは、パリとは反対に路線距離は最も長いが路線数、駅数は最小であり、地下鉄が比較的郊外にまで伸びていることがわかる。

次に他の交通手段との比較を見ていく。図 2-1 と図 2-2 は、各都市における交通手段の分担率を表している。図 2-1 から、東京は他の都市よりも公共交通を利用する人の割合が多く、図 2-2 から、その中でも特に鉄道を利用している人の割合が多いことがわかる。

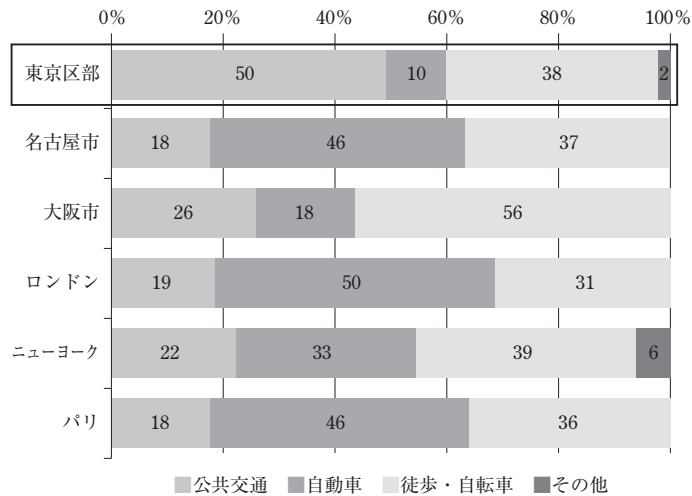


図 2-1 主要都市の交通手段分担率

出典：国土交通省『今後の首都の交通戦略について』

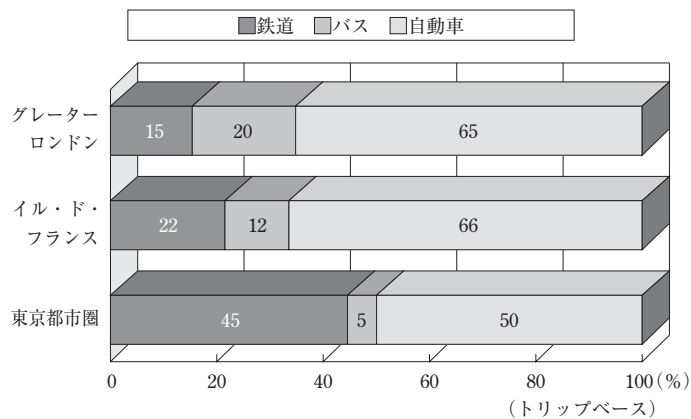


図 2-2 主要都市の交通手段分担率（徒歩・自転車を除く）

出典：運輸政策研究機構『21世紀に向けて―道路交通に対する新しい挑戦―』

最後に自動車保有台数及び自動車保有率であるが、ここでは東京23区、名古屋市、大阪市、ニューヨーク市、大ロンドンを比較する。図2-3を見ると、棒グラフで表した自動車保有台数と折れ線グラフで表した自動車保有率は、ともに東京とニューヨークの数値が低いことがわかる。鉄道の交通手段分担率が高い東京に匹敵するほどニューヨークの数値が低いのは、公共交通が発達していることに加えて、マンハッタンの中心部では駐車場や自動車保険の費用が高いこと、路上駐車スペース不十分かつ制約があることに起因している。

名古屋と大阪は、日本においては東京に次ぐ大都市であるが、図2-1と図2-3から東

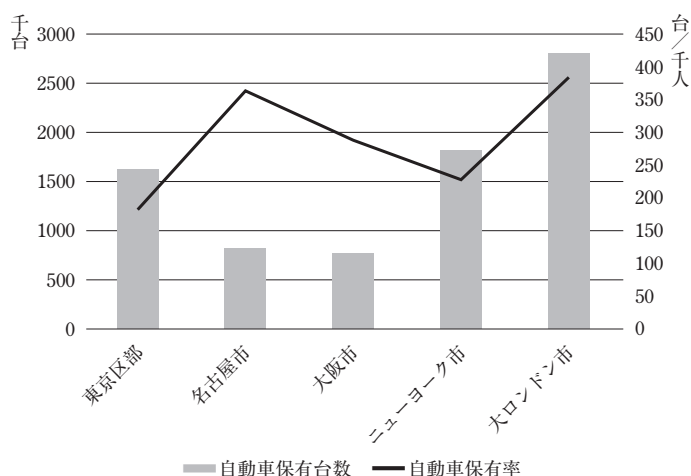


図 2-3 自動車保有台数と自動車保有率

資料：東京都環境局『東京都環境白書 2006』

京ほど公共交通機関の交通手段分担率が高くなく、特に名古屋においては自動車への依存度も高いことがわかる。

以上のことから、交通手段として鉄道利用が定着していて、自動車保有率も低い東京は、世界的に見ても十分にモーダルシフトを達成した地域ということが言える。表 2-1 から示唆されるその要因の一つは、都心から比較的離れた地域まで高密度の居住地域が広がっていることだろう。このため通勤通学の際の移動距離が長く、自動車に比べて短時間で都心と郊外を結ぶ鉄道の需要が高くなっていることが考えられる。大都市におけるモーダルシフトの程度は、居住地面積とその密度に影響されることが予想される。

3. 大都市に関する分析

この節では、日本の大都市におけるモーダルシフトの動向を分析する。ここでは、モーダルシフトを自動車保有台数に対する鉄道需要の比として表現し、その時系列変化を見るときともに、変化を生み出した要因を明らかにする。分析では次の恒等式を用いる。

$$\begin{aligned}
 \text{鉄道需要} / \text{総人口 (D)} &= \text{生産者人口} / \text{総人口 (A)} \\
 &\times \text{鉄道需要} / \text{自動車保有台数 (B)} \\
 &\times \text{自動車保有台数} / \text{生産者人口 (C)} \cdots \cdots (3.1)
 \end{aligned}$$

この恒等式から、鉄道需要 / 自動車保有台数の変化率 (ΔB) が、次のような要因に分解される。

$$\Delta B = (\Delta D - \Delta A) + (-\Delta C) \cdots \cdots (3.2)$$

上式の Δ は時間変化率を表す。右辺の $\Delta D - \Delta A$ は、人口あたり鉄道需要の伸び (ΔD) から、移動需要の伸び ΔA (生産者人口比で表現される) を引いた「実質鉄道需要」の伸びを示す。 $(-\Delta C)$ は自動車保有の減少を示す。この2つの効果を合わせたものが、モーダルシフトの進行を表す指標 (ΔB) となる。

(3.2) の要因分析の式を用いて、以下の3.1では東京都の動向について、3.2と3.3では首都圏、中京、近畿の3つのエリアについて分析を行う。

3.1 東京都の近年の動向

第2節で、国内外の大都市の比較において、東京都では十分なモーダルシフトが起きているという知見が得られた。このセクションでは、そうした東京都の過去20年の動向を分析する。用いたデータは1991年度から2013年度までの東京都における総人口、生産者人口、自動車保有台数、そして鉄道利用人数である。

自動車保有台数は、普通車と小型車を含む乗用車データに軽自動車を加算したものを用いた。鉄道利用人数は、JR、都電、私鉄、地下鉄における、定期と普通の乗車人数データを合計したものを用いた²⁾。

図3-1は以上のデータを用いて(3.2)の要因分解を行ったものである。モーダルシフトの進行を表す指標 ΔB は、変動はあるものの2000年からの14年間はほぼ正の値を保ち続けている。近年 ΔB が正値をとっている要因は、実質鉄道需要の伸び ($\Delta D - \Delta A$) である。自動車保有は増加している ($-\Delta C > 0$) 年が多いが、近年はその増加は小さく、特に2009年はマイナスとなっている。

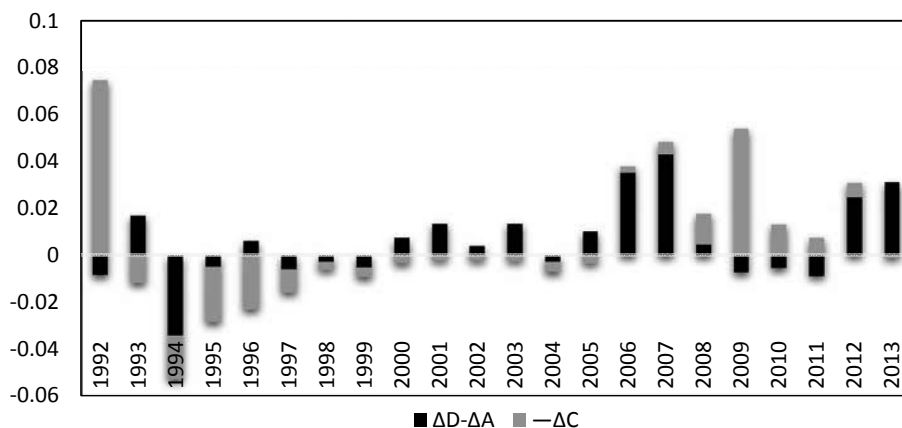


図3-1 鉄道需要 / 自動車保有台数の変化率 (ΔB)

3.2 大都市交通センサスの分析

次に東京都以外の都市においても、(3.2) 式に基づいてモーダルシフトの状況と要因を分析する。用いたデータは、第 10 回（2005 年）と第 11 回（2010 年）の国土交通省大都市交通センサスである。大都市交通センサスは 5 年ごとに首都圏、中京、近畿エリアの大都市における交通利用状況を調査している。センサスの対象範囲は次の通りである。

- ・首都圏は東京駅、中京圏は名古屋駅、近畿圏は大阪駅までの鉄道所要時間が 2 時間以内（中京圏は 1 時間 30 分以内）を満たす市区町村。

かつ

- ・首都圏は東京都 23 区、中京圏は名古屋市、近畿圏は大阪市への通勤・通学者数比率が 3% 以上かつ 500 人以上を満たす市区町村。

人口等は、各県統計局の 2005 年、2010 年のデータを用いた。

(1) 首都圏

図 3-2 に示すように対象とした 2005 年から 2010 年の間に、県ごとに変化の大きさには差異があるものの、全ての県で ΔB は正の値を出した。よって首都圏では 2005 年から 2010 年までの間に、自動車保有台数に対する鉄道需要は増えている、従ってモーダルシフトが進んだと言える。

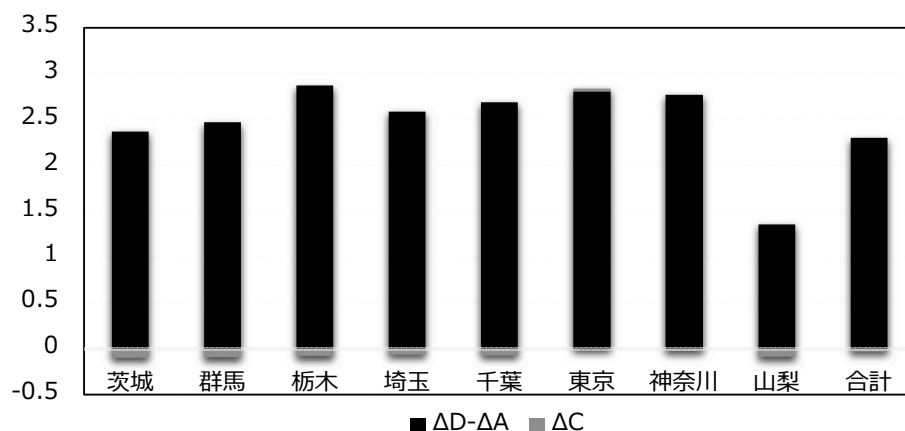
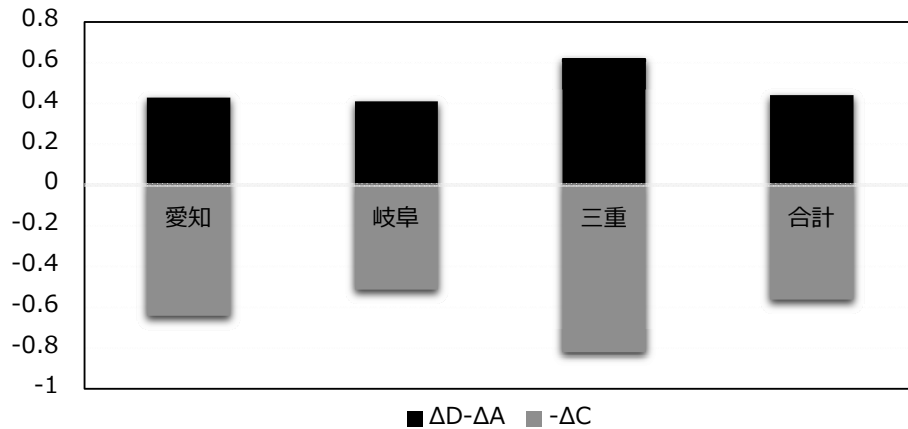


図 3-2 鉄道需要 / 自動車保有台数の変化率 (ΔB) 首都圏

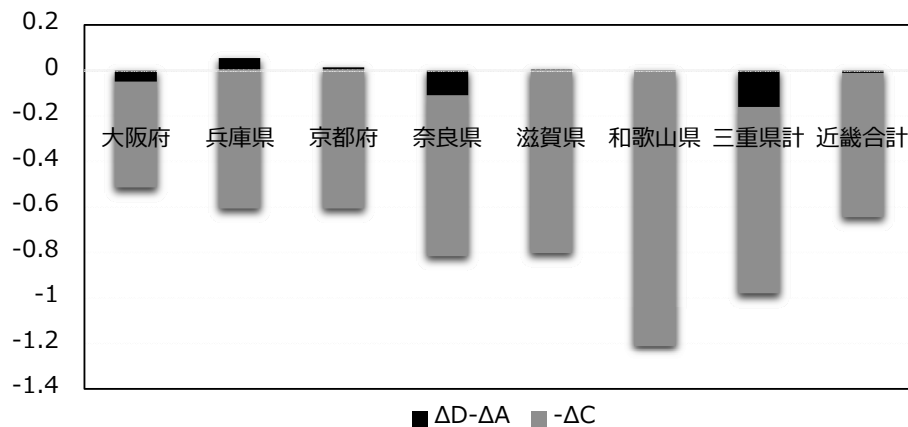
(2) 中京

図 3-3 から分かるように、中京は首都圏と大きく異なる。具体的には愛知、岐阜、三重の全ての県で ΔB が負になった。つまりモーダルシフトの逆の現象が起きている。これは鉄道需要が減少したのではなく、鉄道需要の伸びより自動車保有台数の伸びの方が大きいことによる。

図 3-3 鉄道需要 / 自動車保有台数の変化 (ΔB) 中京

(3) 近畿

図 3-4 から分かる通り、近畿も中京と同じく ΔB が負になった。 ΔB が負になるためには、恒等式 (Y) より $\Delta D - \Delta A < \Delta C$ とならなくてはならない。原因は中京と同じで、鉄道需要は増加しているが、その伸びより自動車保有台数の伸びの方が大きいことによる。

図 3-4 Δ 鉄道需要 / 自動車保有台数の変化 (ΔB) 近畿

結論として、日本の大都市圏ではモーダルシフトの状況について異なる結果が得られた。東京を筆頭にする首都圏ではモーダルシフトの進行が観察された。一方で、中京、近畿では反モーダルシフトが起きている。その原因は、首都圏とは逆に自動車保有が鉄道需要の伸びを上回ったためである。

3.3 鉄道需要と自動車保有台数の関係

最後のセクションでは、鉄道需要と自動車保有台数の関係について、市区町村レベルで分析する。対象とする市区町村は、3.2 と同じく大都市交通センサスのアンケート対象地域（定義は3.2 参照）とし、さらに対象期間は第10回大都市交通センサスを実施された2010年とする。この時、自動車保有台数に対する鉄道需要の比であるBをとると、首都圏、中京、近畿において図3-5の結果が得られる。図3-5では横軸に各市区町村の1平方キロメートルあたりの人口密度をとった。その結果、首都圏の市区町村では人口密度が高く、Bの値も高いという結果が得られた。従って人口密度とモーダルシフトの進行に関連性がある可能性が示唆された。

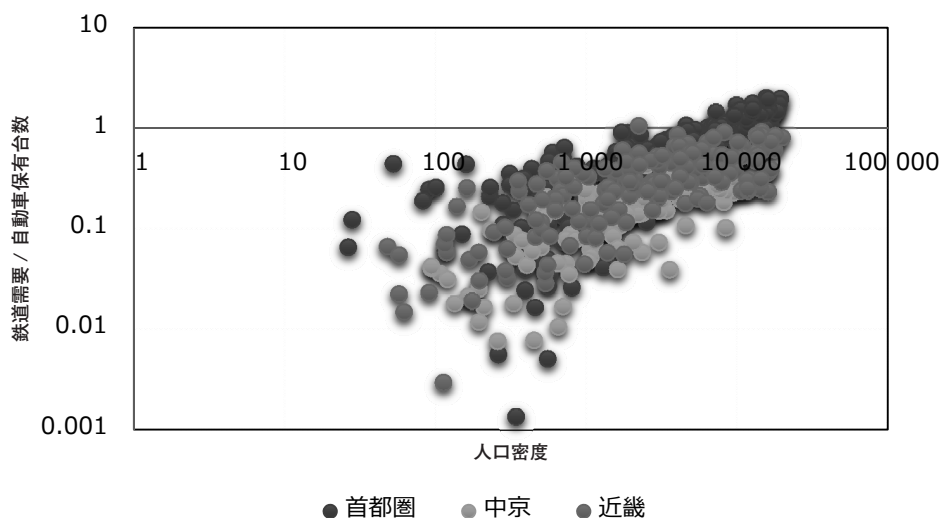


図3-5 鉄道需要 / 自動車保有台数 (B) 首都圏中京近畿

注：図は対数表示

以上をまとめると、首都圏においてモーダルシフトが進んでいること、特に東京都において進んでおり、その進行は今も続いていることがわかった。それに対して近畿や中京地域では、鉄道需要の伸びより自動車保有の伸びの方が大きく、結果として反モーダルシフトが生じている。

4. 市町村クロスセクション分析

4.1 データ

本節では1人あたり自動車の保有台数をモーダルシフトの指標とし、それに影響を与え

る要因を、市町村データを用いて分析する。すなわち、被説明変数を1人あたり自動車保有台数とし、1人あたり可住地面積、鉄道密度、人口密度、道路密度、1人あたり所得を説明変数とする回帰分析を行う。データは北海道および本州の市町村に関する2012年度のものを用いた。1人あたり所得は2012年課税対象所得を同年納税義務者人口で除したものである³⁾。

以下はここでの予想である。

● 1人あたり可住地面積

1人あたり可住地面積が増えるということは土地が増えることであり、駐車場料金が下がる。これは自動車による移動サービスの価格の低下をもたらす。代替効果によって自動車保有台数が増える。同時に所得効果によっても自動車保有も増える。したがって1人あたり可住地面積の増加は、自動車保有台数に正の影響を与えるはずである。

● 道路密度

道路密度が上がるとそれだけ自動車での移動の利便性が上がる。これも自動車による移動サービスの価格の低下をもたらすと解釈できる。ただしそれが所得節約につながるかは、駐車場代に比べれば直接的ではないので、所得効果の影響は1人あたり可住地面積ほど明快ではないだろう。また、次の鉄道密度と道路密度は正の相関を持つことが予想される。このため、道路密度の増加は自動車保有台数に正の影響を与えると考えられるが、いわゆる多重共線性の問題によって回帰分析の結果は微妙なものになるかもしれない。問題の解決策は、できるだけ多くのデータを集めることであり、ここでは全国の市町村データを用いることで、多重共線性に対処することにする。

● 鉄道密度

鉄道密度の増加によって鉄道の利便性が上がる。それを鉄道による移動サービスの価格低下と解釈すると、代替効果によって鉄道密度の増加は自動車保有を減少させることになる。所得効果については、後述のような理由で、鉄道は所得効果が負の下級財かもしれない。その場合、所得効果によって、鉄道密度の増加による自動車台数の減少効果は小さくなる可能性がある。

● 所得

所得の増加は移動サービス需要を増加させるだろう。自動車には、鉄道に比べて、個別の用途に対応できる、プライバシーを保てる、保有のステータスがあるなどの特徴があるため、所得の増加は自動車需要をより増加させると考えられる。その増加が顕著であれば、所得の増加は鉄道サービスの需要を減少させる可能性もある。この場合、鉄道サービスは下級財となる。

ただし、大都市においては、所得は高い一方で、渋滞の恒常化によって自動車移動のサービスの質は高くなく、鉄道網が整備されていることから、鉄道による移動サービスの価

値は高い。したがって高所得の背後に自動車と鉄道移動サービスの相対価格の変化が隠されているかもしれない。その場合、所得の増加が自動車保有の低下をもたらす可能性もある。しかしその一方で、さらに話は複雑化するが、高所得による自動車保有によるステータスとしての便益がより強くなることで、やはり所得の増加が自動車保有の増加をもたらす可能性もある。

4.2 回帰分析1（全国市町村データ）

用いたデータに関する記述統計は表4-1、4-2の通りである。データ数は1361である。表4-2に示されているように道路密度と鉄道密度の間の相関は高くなかった。また他の説明変数間の相関係数も高くない。したがって上述の多重共線性の問題は生じないと考えられる。

表4-1 用いたデータに関する記述統計

	平均値	最小値	最大値	標準偏差
Y 1人当たり自動車保有台数	1.030557	0.112631	17.15393	0.777639
x1 1人当たり可住地面積	0.02189	0.00005	0.70475	0.087968
x2 可住地面積に対する道路密度	1.73255	0.00071	15.40373	1.277012
x3 可住地面積に対する鉄道密度	10.13308	0.00000	231.9588	19.12568
x4 1人当たり所得	2806923	1968153	9017471	499371.6

表4-2 相関係数

	Y	X1	X2	X3	X4
Y 1人当たり自動車保有台数	1				
x1 1人当たり可住地面積	-0.08896	1			
x2 可住地面積に対する道路密度	0.089048	-0.28268	1		
x3 可住地面積に対する鉄道密度	-0.08893	-0.12329	0.157928	1	
x4 1人当たり所得	-0.24678	0.150945	-0.11439	0.555606	1

表4-3に回帰分析結果を示す。決定係数は0.067369であった。

表4-3 分析結果

	係数	P-値
切片	2.122118	3.21E-44
1人あたり可住地面積	-0.27789	0.263240
道路密度	0.026012	0.128355
鉄道密度	0.001894	0.162933
1人あたり所得	-4.1E-07	5.94E-15

$$\text{回帰式 } Y = 2.122118 - 0.27789X_1 + 0.026012X_2 + 0.001894X_3 - 4.1 \times 10^{-7}X_4$$

表からわかるように、有意な変数は、切片と1人あたり所得のみである。1人あたり可住地面積、道路密度、鉄道密度は、1人あたりの自動車保有台数に影響を与えないという結果が示された。さらに所得は十分に有意な説明変数だが、所得の符号は予想と反対であった。

このような結果が得られた理由として、上記の分析が地理的影響を考慮していなかったことが考えられる。移動サービスは市町村内だけでなく周辺地域の道路や鉄道状況にも影響されるはずである。もし地域的な特徴があり、市町村単位の分析ではそれを把握し損ねているとすれば、1人あたり自動車保有台数の推定値と実績値の残渣に何らかの地理的特徴や傾向が生じると考えられる。そこで、この残渣を1人あたり自動車保有台数の実績値で割ったもの（変化率と呼ぶ）を地図上に落として傾向の有無を見てみた。その結果が図4-1に示されている。

白は変化率がプラスとなる上位3分の1分位点の市町村を示し、黒は変化率がマイナスとなる下位3分の1分位点以下の市町村を示す。残念ながら図4-1からは、地理的な傾向を読み取ることは困難である。そこで次に、統計的にそうした近隣市町村との関係の有

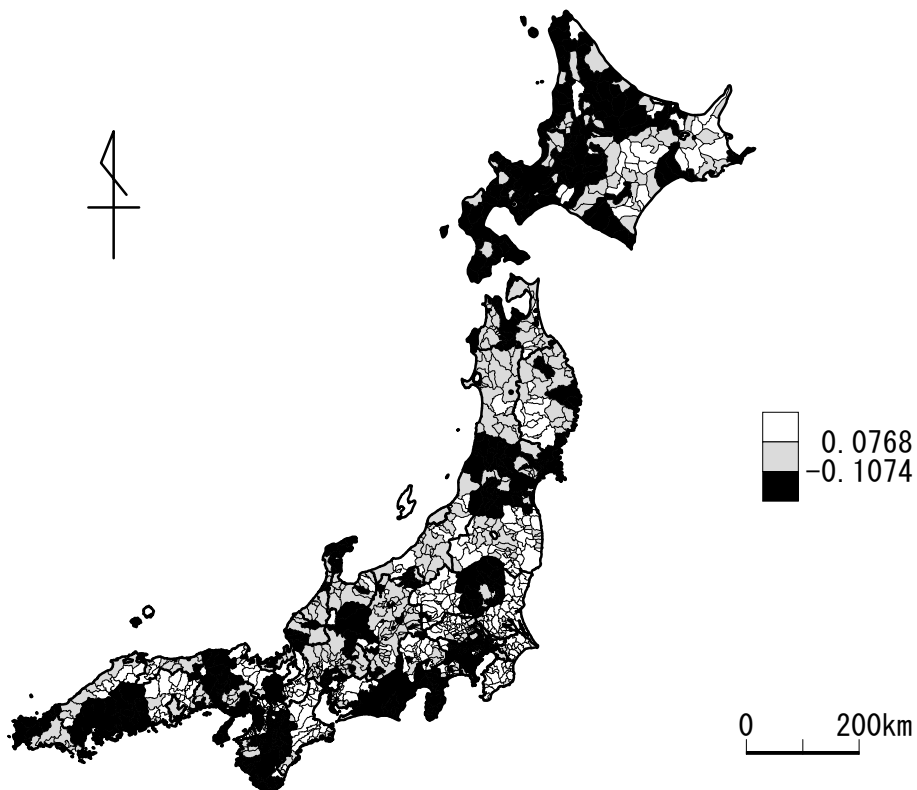


図4-1 実績値と推定値の変化率の地理的分布

無を確認する。同時に、地理的要因を含めることで、より予想に近い結果が得られるか、その可能性についても追求する。

4.3 地理相関を含む回帰分析

被説明変数は以前と同じである。説明変数には、新たに隣接市町村自動車保有台数を加え、これを地理的な影響とする。ここでは地理的な変数の扱いが複雑となるため、関東地方に限って分析を行なう。回帰式は次のようなものとなる：

$$Y_j = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 \sum_{i \neq j} \delta_{i,j} Y_i$$

ここで i, j は市町村を示し、 $\delta_{i,j}$ は i, j が隣接する場合 1、そうでない場合は 0 をとる。したがって $\sum_{i \neq j} \delta_{i,j} Y_i$ は隣接市町村の 1 人あたり自動車保有台数の合計を表す。

この回帰式を推定した結果が表 4-4 に示されている。決定係数は 0.388179 であった。

表 4-4 分析結果

	係数	P-値
切片	1.039748	5.88E-06
1人あたり可住地面積	208.0295	1.49E-14
道路密度	0.1441	0.000498
鉄道密度	-0.00287	0.053413
1人あたり所得	-1.5E-07	0.027598
隣接市町村の車保有台数	-2.1E-08	0.853615

$$Y_j = 1.039748 + 208.0295X_1 + 0.1441X_2 - 0.00287X_3 - 1.5 \times 10^{-7}X_4 - 2.1 \times 10^{-8} \sum_{i \neq j} \delta_{i,j} Y_i$$

この結果から隣接市町村の影響は、統計的に有意ではないということがわかる。一方で、全国データでは統計的に有意ではなかった変数が有意になっている。すなわち、1人あたり可住地面積と道路密度は 1% 水準で有意、鉄道密度は 5% にはわずかに届かないが 10% 水準で有意である。そして、これらは符号条件に関しても我々の予想と一致している⁴⁾。

このことから、隣接市町村を考慮に入れた分析は意味がないものの、より広域の地域に限った分析によって、より予想に沿った影響が得られるかもしれない。つまりより広域の地域ごとの特徴があって、それらが 4.2 の全国データの分析では無視されていたために予想に反する結果が得られた可能性がある。そこで次に、地域を限った回帰分析を試みることにした。

以下の表 4-5、6、7 は、第 3 節で分析した首都圏、中京圏、そして近畿圏のそれぞれに関する回帰分析の結果である。

表 4-5 首都圏（決定係数：0.389052）

	係数	P-値
切片	1.034672	4.89E-06
1人あたり可住地面積	207.5696	2.04E-15
道路密度	0.147654	0.000315
鉄道密度	-0.00296	0.045304
1人あたり所得	-1.5E-07	0.024306

表 4-6 中京圏（決定係数：0.715878）

	係数	P-値
切片	1.228264	6E-11
1人あたり可住地面積	-0.55533	2.58E-07
道路密度	0.078297	3.05E-05
鉄道密度	-0.00189	0.422381
1人あたり所得	-1E-07	0.059004

表 4-7 近畿圏（決定係数：0.160379）

	係数	P-値
切片	2.178066	4.75E-19
1人あたり可住地面積	-38.7629	0.050052
道路密度	-0.02798	0.065389
鉄道密度	-0.00505	0.007548
1人あたり所得	-3.5E-07	1.9E-06

首都圏に関しては、表 4-4 の関東地方の分析で隣接市町村の影響がほとんどないという結果を得ていることから、同様の結果が得られるはずであるが、実際は 1 人あたり可住地面積に関して、表 4-4 と異なる、したがって我々の予想に反する符号が有意に得られている。中京圏は、所得を除いて有意かつ符号条件を満たす結果が得られている。一方、近畿圏は鉄道のみが符号条件と統計的有意性を満たしている。最後に、すべての地域で所得に関して負の符号が得られている。

以上、完全に符号条件が満たされたわけではないが、鉄道に関しては 3 つの地域で共通に有意かつ我々の予想する符号条件を満たす結果が得られている。この結果を信じるならば、鉄道整備は自動車保有台数を減じ、したがってモーダルシフトに貢献するといえる。

4.4 全国市町村分析のモデル改良 1

ここで再び全国市町村のデータの分析に戻る。データは多ければ多いほど良いが、全国データの分析では予想に反した結果しか得られなかった。我々が注目するのは、これまでの全ての分析で所得が符号条件を満たされず、かつ有意な説明変数とされたことである。所得をうまく処理することで、全国データでもより説得的な結果が得られるかもしれない。

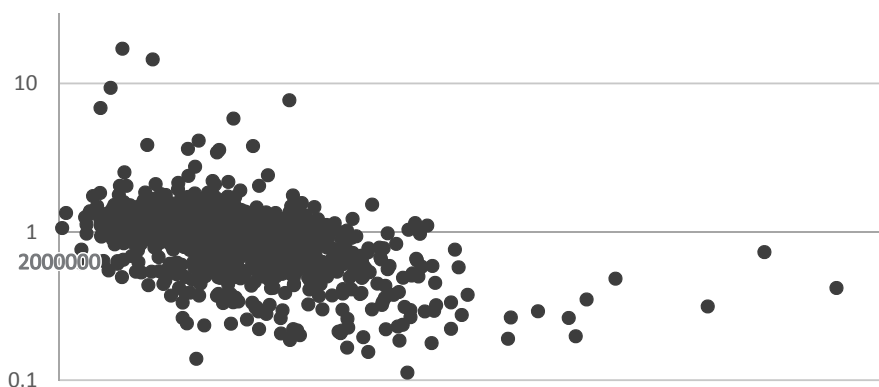


図 4-2 所得と 1 人あたり自動車保有台数の関係

注：図は対数表示

はじめに所得と 1 人あたり自動車保有台数の関係を散布図でみる。

図 4-2 は、縦軸に自動車保有台数、横軸に所得を取ったものである。自動車保有台数と所得とは反比例関係にあるように見える。事実、表 4-2 の相関係数は -0.24678 であった。全体として、ある一定の所得以上から車を持ちはじめ、それ以降は減少していく傾向がある。1 人あたり所得が 500 万円を超えると 1 人あたり保有台数は 1 に満たなくなる。これは所得の増加にしたがって自動車を持つようになるという我々の仮説に反することになる。考えられる理由としては、所得が多い人ほど地価が高い地域、つまり土地が希少で可住地面積が小さい地域に住むようになり、自動車保有のコストが高くなる一方で、そうした地域では鉄道等が整備されていることから自動車保有のメリットが小さくなり、その結果、自動車を持たなくなるということである。ただし、それらの要因は回帰分析では他の説明変数によって説明される。それらの影響を除去してもなお、所得増加が自動車保有に有意に負の効果をもつことを理論的に説明することは困難である。

ただし、1 つの可能性として、所得と 1 人あたり自動車保有台数の関係が線形とする線形回帰分析の仮定が適切ではない可能性がある。たとえば、所得とともに最初は我々の予想のように自動車保有台数は増加するが、やがて所得の増加は土地生産性の増加、したがって地価の増加を招き、駐車場料金の増加の影響が自動車保有台数に大きく影響するようになって、自動車保有台数は減少に転じるといった逆 U 字の関係が見いだせるかもしれない。

そこでここでは所得の 2 乗が自動車保有台数に影響を及ぼすモデル

$$Y_j = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 (X_4)^2$$

を推定する。推定結果が表 4-8 である。決定係数は 0.07715512 であった。

表 4-8 所得の 2 乗項を含む回帰分析

	係数	P-値
切片	3.03165028	4.08E-26
1人あたり可住地面積	-0.2283933	0.356109
道路密度	0.01826824	0.286529
鉄道密度	0.00101544	0.458713
1人あたり所得	-9.364E-07	3.63E-10
1人あたり所得の2乗	7.2644E-14	0.000157

表に示されているように、所得の2乗項は有意となったが、符号条件は予想に反するものである。すなわち、所得と自動車保有台数の関係はU字型であり、所得の増加とともに自動車保有台数は減少し、1人あたり所得が644万5350円を超えてはじめて所得が増えると自動車保有台数が増加する。これは高額所得者になると自動車保有台数が増えるという結果である。多くの所得層では所得とともに自動車保有台数は減少するので、所得の2乗項を入れたことで、これまでの結果が変わったというわけではない。また、他の変数はいずれも統計的に有意ではない。この点も以前の分析結果と同じである。

4.5 全国市町村分析のモデル改良2

次の試みとして、所得は本来、内生変数であるということに注目する。すなわち所得の多寡は、車の保有と同様、意思決定の結果である。高い所得を稼ぐという意思決定の背後にある要因と車を保有するかの意思決定の要因に重なり合う部分があれば、4.2の単純な回帰分析はバイアスのある推定結果をもたらす恐れがある。そうしたバイアスを除去した推定結果を得るためには、所得を操作変数で代理する操作変数法を用いる必要がある。

操作変数として人口密度を考えよう。人口密度が高いほど集積効果が働き経済活動が活発化して所得は増加する。一方で、人口密度は自動車保有台数には影響しないならば、操作変数として使うことができる⁵⁾。所得を人口密度で回帰した結果、表4-9が得られた。決定係数は0.01381544であった。

表 4-9 所得の回帰

	係数	P-値
切片	2801004	0
人口密度	2.690151	1.38E-05

$$\text{回帰式 } Y = 2801004 + 2.690151X_1$$

この回帰式から得られた推定所得を用いた回帰分析の結果が表4-10である。

表 4-10 所得を内生変数と見なした回帰分析

	係数	P-値
切片	726212.317	0.00498
道路密度	0.05141455	0.002792
鉄道密度	-0.0045537	4.19E-05
推定所得	-0.2592682	0.00498

この分析では、道路密度、鉄道密度は符号条件を満たし統計的にも有意であった。このように操作変数法によって望ましい結果が得られた。その一方で、所得が自動車保有台数にマイナスに影響するという結果は覆らなかった。

5. まとめと課題

本論文では、モーダルシフトの現状とその分析を行ってきた。まず大都市圏の現状は東京および関東圏ではモーダルシフトが進行中であるが、中京圏、近畿圏では反モーダルシフトとでも呼ぶべき現象が起こっている。

いかにモーダルシフトを進めるかについて、国内外の成功事例では、LRTの導入等の公共交通、特に鉄道網の整備を戦略としている。そこで、全国市町村をデータとするクロスセクション分析によって、鉄道整備が自動車保有台数にいかなる影響を及ぼすかをみた。地域別の分析や所得を内生変数と見なした操作変数法による分析では、鉄道整備は自動車保有台数を減少させることが統計的に有意に示された。したがって、本研究から得られる政策上の含意として、駅の数を増やすことはモーダルシフト推進に有用な政策ではあると言える。

一方で、全国市町村のクロスセクション分析では、予想される符号条件を満たさない結果も得られた。特に所得に関しては、すべてのモデルで、その増加は自動車保有台数を減少させるとする結果が得られた。こうした理論的予想に反する結果のため、ここでの分析の結果には信頼性に不安がある。所得が自動車保有台数を減少させることを説明するもっともらしい理由を見つけること、あるいはより多くのデータを用いた分析を通じて信頼性の高い結果を得ることが今後の課題である。

最後に、本研究では鉄道と自動車をキーワードとしてきたが、自動車保有台数が減ったからといって必ずしも鉄道に移動するわけではない。他にもタクシー、バスといった公共交通機関へのシフトも十分に考えられる。今回はこれらの影響を考慮しなかった。またモーダルシフトにより本当に二酸化炭素を削減できるのかということも重要な研究課題である。これらの点も今後の課題としたい。

注

- 1) 仙台市環境審議会資料を参考にした。
- 2) 平成3～25年度東京都統計年鑑を参考にした。
- 3) 総務省『統計でみる市区町村のすがた 2015』
- 4) ただし今回の分析でも所得に関しては依然として予想に反する符号となっており、しかも統計的に5%水準で有意である。
- 5) 実際に人口密度が自動車保有台数と独立した変数であるかについては、ここでは十分に検証できていない。

引用文献

- [1] 一般社団法人日本地下鉄協会『世界の地下鉄』<http://www.jametro.or.jp/index.html>（アクセス 2015/12/2）
- [2] 運輸政策研究機構『21世紀に向けて一道路交通に対する新しい挑戦—』<http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/pdf/no02-07.pdf>（アクセス 2015/11/23）
- [3] 国土交通省『環境：運輸部門における二酸化炭素排出量』http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html（アクセス 2015/9/10）
- [4] 国土交通省『関東運輸局ホームページ』<https://www.tb.mlit.go.jp/kanto/>（アクセス 2015/11/25）
- [5] 国土交通省『近畿運輸局ホームページ』<https://www.tb.mlit.go.jp/kinki/>（アクセス 2015/11/25）
- [6] 国土交通省『今後の首都の交通戦略について』<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/syutokou/pdf/19.pdf>（アクセス 2015/11/23）
- [7] 国土交通省『第10回、第11回大都市交通センサス』http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000007.html（アクセス 2015/11/23）
- [8] 国土交通省『中部運輸局ホームページ』<https://www.tb.mlit.go.jp/chubu/tokei/>（アクセス 2015/11/25）
- [9] 国土交通省『北海道運輸局ホームページ』<https://www.tb.mlit.go.jp/hokkaido/kakusyu/toukei/>（アクセス 2015/11/25）
- [10] 国土交通省『北陸信越運輸局ホームページ』<https://www.tb.mlit.go.jp/hokushin/>（アクセス 2015/11/25）
- [11] 国土交通省東北運輸局『自動車の登録統計』<https://www.tb.mlit.go.jp/tohoku/jg/jg-sub20.html>（アクセス 2015/11/25）
- [12] 仙台市『環境審議会ホームページ』<http://www.city.sendai.jp/kankyoku/kikaku/shingikai/images/2202bukai05.pdf>（アクセス 2015/12/2）
- [13] 総務省統計局『統計で見る市区町村のすがた 2015』<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001061194&cycode=0>（アクセス 2015/11/23）
- [14] 東京市政調査会（1999）『メトロポリスの都市交通—世界四大都市の比較研究』日本評論社
- [15] 東京都『住民基本台帳による東京都の世帯と人口』<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/juukiy/2015/jy15000001.htm>（アクセス 2015/12/2）
- [16] 東京都『統計年鑑』平成3～25年度 <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tnenkan/tn-index.htm>（アクセス 2015/12/2）
- [17] 東京都環境局『東京都環境白書 2006』<https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/attachement/02.pdf> 東京、名古屋、大阪のデータは各都府県の統計年鑑より（アクセス 2015/11/23）
- [18] 東京都の統計『東京都の人口（推計）』<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/jsuikai/js-index.htm>（アクセス 2015/12/2）
- [19] 統計年鑑 平成25年度刊行 北海道及び本州都道府県分
- [20] 統計年鑑（平成17年度、平成22年度）：茨城、栃木、群馬、埼玉、東京、千葉、神奈川、山梨、愛知、滋賀、三重、大阪、兵庫、京都、奈良、和歌山
- [21] マピオン『日本地図または都道府県一覧から駅・路線図を検索』<http://www.mapion.co.jp/>

station/（アクセス 2015/11/25）

- [22] Wikipedia “Wikipedia Category ノート：日本の鉄道駅（市町村別）” [https://ja.wikipedia.org/wiki/Category:%E6%97%A5%E6%9C%AC%E3%81%AE%E9%89%84%E9%81%93%E9%A7%85_\(%E9%83%BD%E9%81%93%E5%BA%9C%E7%9C%8C%E5%88%A5\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/Category:%E6%97%A5%E6%9C%AC%E3%81%AE%E9%89%84%E9%81%93%E9%A7%85_(%E9%83%BD%E9%81%93%E5%BA%9C%E7%9C%8C%E5%88%A5))（アクセス 2015/11/25）
- [23] Wikipedia 『世界の都市的地域の人口順位』 <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%96%E7%95%8C%E3%81%AE%E9%83%BD%E5%B8%82%E7%9A%84%E5%9C%B0%E5%9F%9F%E3%81%AE%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E9%A0%86%E4%BD%8D>（アクセス 2015/11/23）