

4. 東京都心部における路線バスの利用特性および今後のあり方に関する研究 —アクセシビリティ分析に基づく路線網の機能と評価—

A Study on the Characteristics of Bus Use in Central Tokyo and Its Future Vision —Function of Bus Network and Its Evaluation Based on Accessibility Analysis—

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 37-106143 小塚 琢也

This study aims at these three points: 1) to figure out the characteristics of bus use in Central Tokyo; 2) to grasp how the bus network is working in the whole public transport system in Central Tokyo; and 3) to draw its future vision. The study is conducted on “Person Flow Data” and public transport network data which was originally constructed on GIS for the sake of accessibility analysis.

From the analysis, it was deduced that travel time and waiting time are not dominant when bus is chosen as a travel mode. It is more important how the bus routes are recognized by the person. It was also figured out that the bus network in Central Tokyo has great potential: given the modal shift to buses, the total generalized travel time in this area could be reduced by about 20%.

1. 研究の背景および目的

1.1 背景

東京は、世界でもっとも公共交通ネットワークの発達した都市である。とくに東京都心部においては、鉄道やその他モノレール、新交通システム等の軌道系網と路線バス網とが重疊的に—そして場合によっては競合的に—運行され、高度な都市活動および都市生活から派生する膨大かつ高密度な交通需要を支えている。

この高度・高密度な公共交通空間のなかで、路線バスという手段、そして路線バスのネットワークに着目すると、しかし、その位置づけが不明瞭なのである。その歴史的経緯や、この90年近くの間での路線再編のあり方、その他路面公共交通を取り巻く諸動向等を踏まえたとき、路線バスに関して、都市交通の戦略的思想が欠落してきた(小塚¹⁾)。たとえば、これまでに行われた路線再編は、鉄道新設に伴う廃線や、財政再建のための短縮・廃線などが大半を占めており、積極的活用を目指したものは少ない。

また、東京都心部を支える交通ネットワークの一部という観点からこれを見たときにも、いささか貧相、不安定という感が拭えない。シームレスな公共交通体系の実現が叫ばれて久しいが(例えば、文献2)など)、依然として、鉄道—路線バスの関係は不十分である。鉄道等のネットワークが概ね完成を見た現在、ひとびとのモビリティをより一層増進し、アクセシビリティを向上させるためには、鉄道と路線バスとが一体的な交通ネットワークとして機能したうえで、サービスを提供していくことが必須である。

1.2 目的

東京都心部における「移動」の、利便性と快適性を改善・向上していくためには、路線バスの積極的かつ戦略的活用の可能性について考える必要があると言える。そこで、本研究は、東京都心部を題材に、

- (1) 路線バスの利用特性
- (2) 路線バス活用のポテンシャルの定量的効果
- (3) 戦略的・積極的活用へ向けた路線バスのあり方を明らかにすることを目的として行うものとする。

1.3 研究の手順

本研究は、平成20年に実施された第5回東京都市圏パーソントリップ調査データを時空間内挿した「人の流れデータ」³⁾(本学CSIS提供)を、GIS上に独自に作成した公共交通ネットワークデータに入力することで行うものである。

まず、「人の流れデータ」から、路線バスを利用したトリップを抽出し、路線バスが利用されやすい条件等について、考察する。さらに、それをネットワークデータに入力し、実際のバス利用時の詳細経路(停留所、系統)を推定する。これによりバス利用に関する空間的地域的特性を把握する。

次いで、バスを利用することで一般化時間が短縮されるにもかかわらずバスが利用されなかったトリップ等について分析し、さらにそれらがバスへ利用転換した場合の効果等を定量的に評価する。

なお、分析の対象は、都営バスの営業圏域と概ね一致

する範囲で完結するトリップのうち、一定以上の数（201以上）を持つものとした。これは、この範囲の全トリップの75%に相当する。

2. 公共交通ネットワークデータの作成

本研究で独自に作成した公共交通ネットワークデータは、東京都心部の鉄道および路線バスのネットワークを再現したものであり、任意2地点間を移動する場合の最適経路を計算するために用いる。これにより、所要時間（乗車時間および乗車外時間）、乗り換え回数、運賃の各指標が、計算できる。作成にあたっては、各鉄道および路線バスの時間帯別運行頻度を考慮し、路線バスの停留所間旅行時間については、実績値を利用して計算を行っているため、実際とかなり近い結果を得ることが可能となっている。

なお今回は、最小化する目的関数として、谷・宮武⁴⁾などを参考に、一般化時間を次のように設定した：

$$\begin{aligned} \text{(一般化時間)} = & \text{(乗車時間および待ち時間)} \\ & + \text{(歩行時間)} \times 2.0 + \text{(乗り換え回数)} \times 8.0 \end{aligned}$$

また、図2.1は、これを用いて一般化時間最小経路探索を行った様子である。

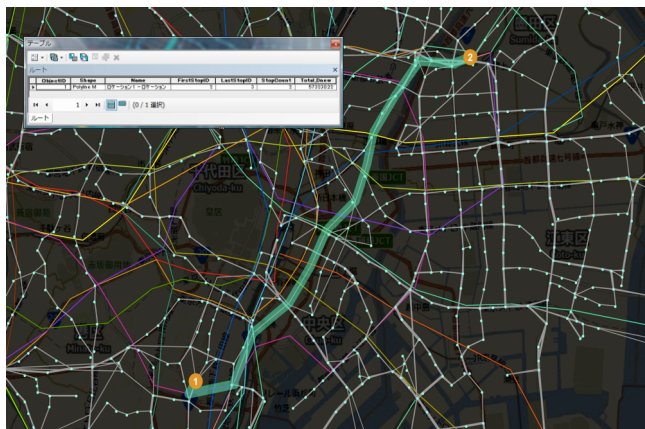


図2.1 解析例(東京タワー～東京スカイツリー)

3. 東京都心部におけるバス利用現況

3.1 個人属性およびトリップ属性に関する分析

(1) 性別および目的別のバス利用特性 (図3.1)

男女とも、通勤通学および私事（非日常）（娯楽、社交、観光、レクリエーション等。以下同じ）のトリップにおけるバス利用率（全トリップに対するバス利用トリップの割合）が高い。また、すべての目的にわたり、女性の方がバスを利用しやすい傾向があり、その差は通勤・通学において顕著である。

(2) 年齢階層および目的別のバス利用特性 (図3.2)

70歳未満では、利用率2～4%で安定的である。一方、

70歳以上になると、バス利用率が急激に上昇する（シルバーバスの利用が考えられる）。また、全年齢階層にわたり、通勤・通学および私事（非日常）のトリップにおけるバス利用率が高い。特に、児童の通学におけるバス利用率が顕著に高い。

(3) 職業種別および目的別のバス利用特性 (図3.3)

職業種別にみると、非職業従事者（主婦、主夫または無職）のバス利用率が顕著に高いことがわかる。とくに、私事（非日常）のトリップでのバス利用率が高い。

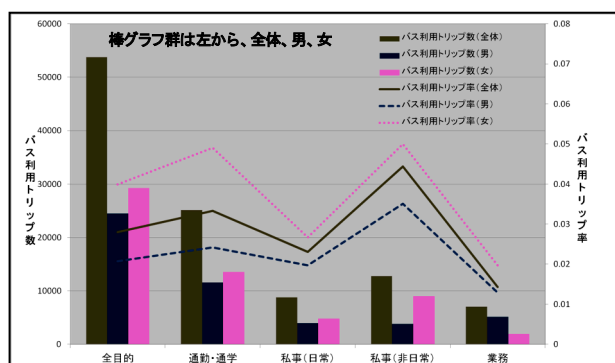


図3.1 バス利用トリップ数/率(性別/目的別)

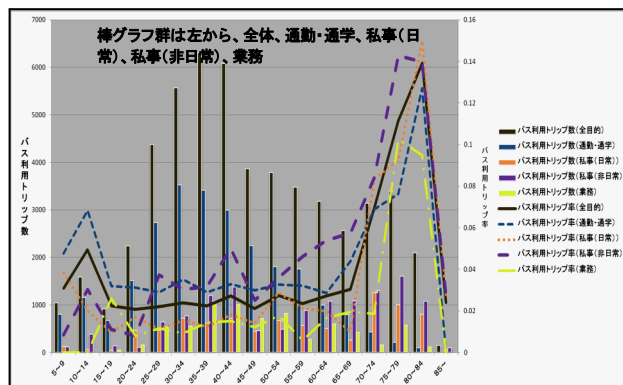


図3.2 バス利用トリップ数/率(年齢階層別/目的別)

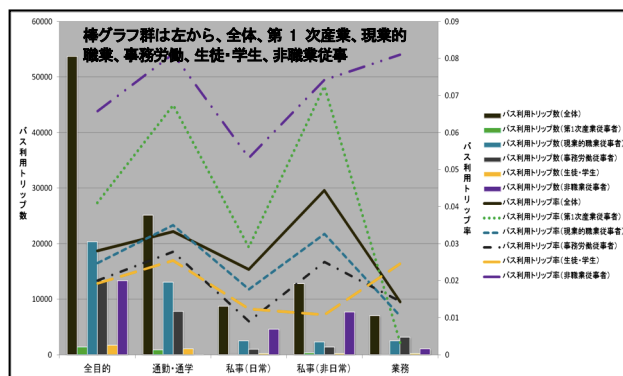


図3.3 バス利用トリップ数/率(職業種別/目的別)

3.2 地域的および空間的特徴に関する分析

(1) OD(発地/着地)によるバス利用特性

OD間のバス利用トリップ数、および、各目的で当該OD間を移動したトリップのうちバスを利用したものの割合を図3.4のように図示した結果から読み取ると、それらがともに高い値を示す地域は概ね次のように分類できた。

- ①都心北部エリア(王子駅等周辺)と各業務集積地(大丸有地区、新宿など)を結ぶもの
- ②城東地区(錦糸町、亀戸、門前仲町、東陽町など)内を結ぶもの
- ③渋谷駅から港区エリア内を結ぶもの
- ④臨海エリア(勝どき、豊洲、辰巳など)とその周辺を結ぶもの

(2) 利用系統区間によるバス利用特性

「人の流れデータ」の情報を、GIS上のネットワークデータに入力・計算することで、実際になされたバス移動において利用された系統とその区間を推定した。具体的には、次のような解析をおこなった：

- ① バスを利用したunlinked tripを抽出し、その端点の緯度・経度から、発地停留所と着地停留所を特定する。
- ② 先の公共交通ネットワークから鉄道網を除外して(鉄道リンクの通過抵抗を無限大として)、路線バス網と最低限の歩道ネットワークだけを残す。
- ③ 上記①の2停留所を解析の始点・終点として、②のネットワークで一般化時間最小経路探索を行う。

この結果を示したものが、下図3.5である。系統、区間により旅客数に大きなばらつきが認められ、需要から見た系統区間ごとの重要度が大きく異なっていると言える。

3.3 結果

(1) 個人属性およびトリップ属性について

つぎのトリップは、バス利用に関して特にポジティブな性向を有する：

- ・私事(非日常)を目的とするトリップ
- ・学齢児童における通学トリップ
- ・非職業従事者によるトリップ

(2) 地域的・空間的特徴について

- ・バス利用トリップ数および率の値の大きい地域は、それぞれ鉄道に依存しにくいエリアであると言える。
- ・系統区間により、旅客数に大きな差異があり、系統区間ごとのネットワークにおける重要度が大きく異なる。



図3.4 OD別バス利用トリップ数 / 率(全目的)

3.4 考察

上記分析結果から、次のような事柄が考察される。

まず、トリップ数/率の高い属性について見ると、「適切なバス路線の存在を認識しうることが要素になっている」ことがうかがえる。

たとえば非日常的な私事を目的とするトリップでは、事前に経路を検索・確認等する場合が多いものと予想される。また、バス利用の多い地域は、それぞれ鉄道に依存しにくい背景を持ったエリアであり、路線バスが第一の手段として認識されやすい。

また、系統区間ごとの旅客数の分布を見ると、需要の面で相当のばらつきがあり、少なくとも、需要の大きい系統・区間は、バスネットワークの中で基幹的な性格を担うものであると言える。路線・系統ストックの膨大さを鑑みれば、系統・区間による特性に応じて性格分類をおこない、これに基づきサービス広報等を実施していくことが望ましいと考えられる。

4. 最適経路に着目したバス利用トリップ分析

ここでは、実際にバスを利用したlinked tripのうち、「計算上、一般化時間が最短となる経路を利用したもの」を「最適バス経路利用トリップ」として着目し、このようなトリップの数や率に関する分析を行う。

なお、本ネットワークデータにおいては、ある2停留所間を移動する場合に複数の系統が利用可能であるような場合、それらの競合系統を合成して扱っており、最適経路の利用／非利用を判定する際、競合系統の存在によって最適経路利用率が不当に低く算出されることがないように配慮した。たとえば、停留所Aから停留所Bに移動する場合に、甲・乙の2系統が利用可能であったとする。甲系統ではAB間を T_1 分、乙系統ではAB間を T_2 分で

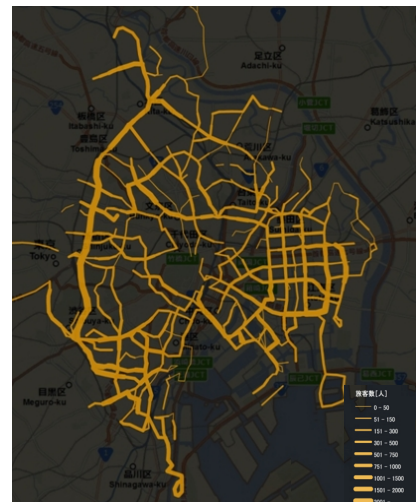


図3.5 系統区間別旅客数(一日合計)

移動するとき($T_1 > T_2$)、最適経路は乙系統となるが、 T_1 と T_2 が大きく異なる場合($(T_1 - T_2)/T_2 > 0.2$ の場合)を除き、甲・乙双方を最適経路と考えるものとした。したがって、甲・乙いずれを利用した場合も、最適バス経路利用トリップとして計数している。

4.1 個人属性およびトリップ属性に関する分析

(1) 性別および目的別 (図 4.1)

男性は私事(非日常)で、女性は通勤・通学および私事(非日常)で、それぞれ若干高い最適バス経路利用率を示すが、全体としては6割から7割の値で安定している。

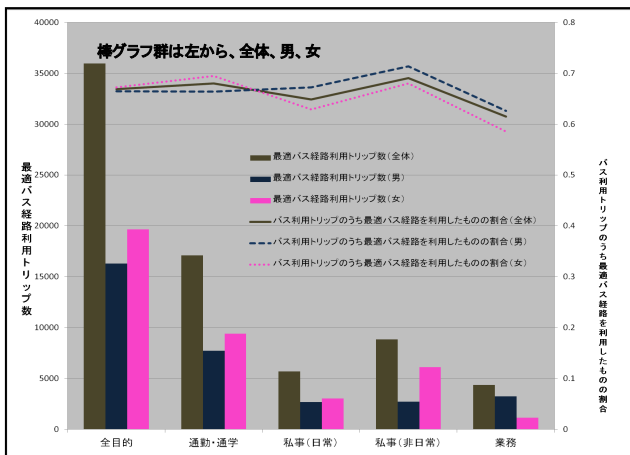


図 4.1 最適バス経路利用トリップ数および率(性別/目的別)

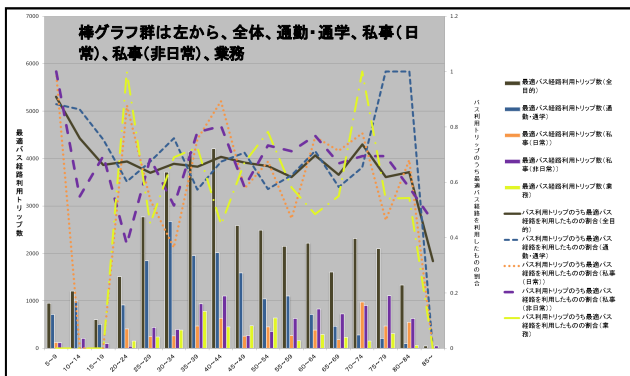


図 4.2 最適バス経路利用トリップ数および率(年齢/目的別)

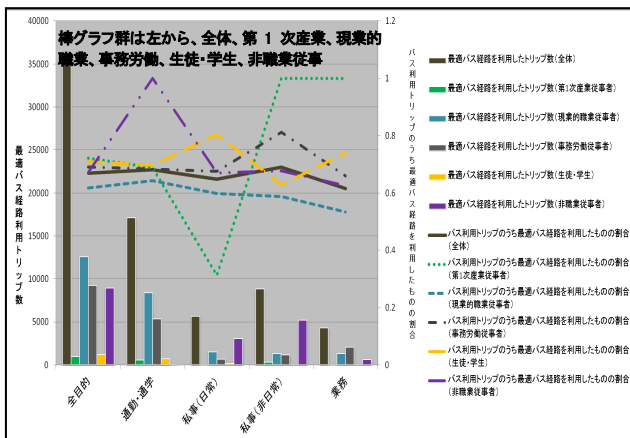


図 4.3 最適バス経路利用トリップ数および率(職業種別/目的別)

(2) 年齢階層および目的別 (図 4.2)

児童学齢において、相対的に高い最適バス経路利用率を示すが、全体としては安定している。

(3) 職業種別および目的別 (図 4.3)

トリップ数の少ない項目を除けば、最適バス経路利用率は職業種別により大きな変動をしないと見える。

4.2 地域的空間的特徴に関する分析

(1) OD(発地/着地)によるバス利用特性

図 4.4 は、「実際にバスを利用したトリップのうち、最適となる経路を利用したもの」の分布であり、図 4.5 は「実際にバスを利用したトリップのうち、それ以外の経路を利用したもの」の分布である。



図 4.4 最適バス経路利用トリップの分布

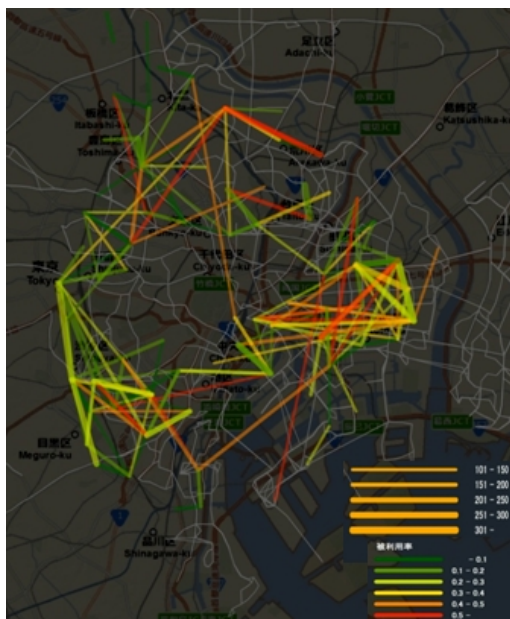


図 4.5 最適とならない経路のバス利用トリップ数および率

(2) 利用系統区間によるバス利用特性

最適経路か否かにより、先の系統区間旅客数分布を分けたものが、図 4.6 である。いずれの場合も、都市新バス系統など、相対的に認知度の高い系統が多く見られる。

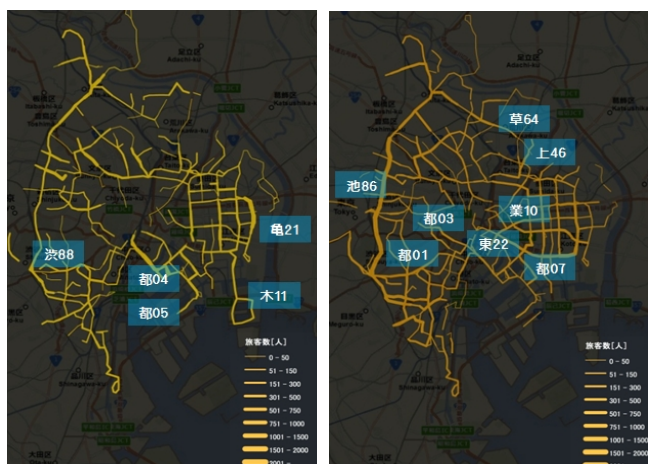


図 4.6 最適経路利用旅客数（左）と非最適経路利用旅客数（右）

4.3 結果

(1) 個人属性およびトリップ属性について

- ・属性間で、最適経路／非最適経路の利用量・利用率に大きな差異はないことがわかった。

(2) 地域的空間的特徴について

- ・一般化時間がより短い経路が他にあるにもかかわらずバスが利用されるODは、比較的狭い領域でまとまって分布する傾向がみられる。
- ・利用系統は、都市新バス系統など、認知度の高い系統が多くみられる。

4.4 考察

通勤・通学や職業従事者によるトリップなど、時間に鋭敏と思われるトリップも、私事や高齢者、非職業従事者によるトリップなど、時間への反応が鈍いと思われるトリップも大きな差がないため、所要時間等が必ずしもバス利用において支配的なファクターとならないと読み取れる。それ以上に、地域におけるバス利用自体に対する志向性が重要と考えられる。

5. バス利用促進・転換効果の評価

「バス利用により一般化時間が短縮されるにもかかわらず実際には路線バスが利用されていないトリップ」からバスへの転換が生じる場合、都市全体における移動に係る不便さは改善されると言える。そこで、現在のダイヤにもとづく輸送能力を制約条件にして転換を生じさせた場合を想定した。具体的には、路線バスを利用することで改善される一般化時間が大きいトリップから逐次的

にシフトさせ、これを繰り返し、輸送能力を超える系統・区間が生じたところで、その系統・区間を含むトリップの転換は打ち止めとする。なお、1 台の容量を 70 名とし、これに単位時間当たりの運行回数を乗ずることで、輸送能力を設定した。

バスへの転換の効果を計算した結果、都心部全体で従前に比べ、20.6%の一般化時間の削減が可能であるとわかった。目的別、時間帯別の改善状況は図 5.1 の通りである。図 5.2 はバスへの転換後の旅客分布であり、図 5.3 は、系統区間ごとの一般化時間の削減量および転換前からの削減率である。これから、バスへの大幅なモーダル・シフトにより、東京都心部全体にわたり、移動に係る利便性が大きく向上されることが読み取れる。また、これらの一般化時間の改善に対して、各系統区間がどの程度寄与したかを示したものが図 5.4 である。これは、各系統・区間に配分されたトリップに対して、その系統・区間を利用することで短縮された一般化時間を計算し、足し合わせたものである。

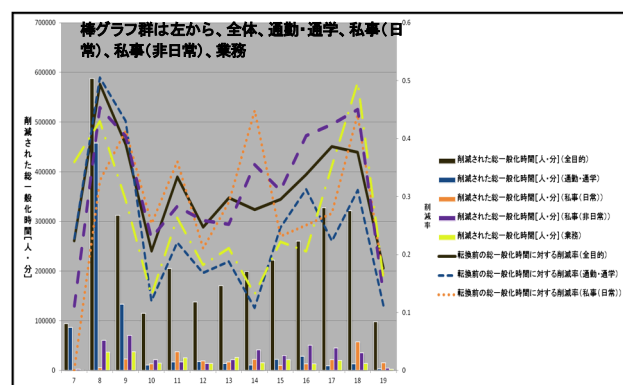


図 5.1 目的別/時間帯別の改善状況

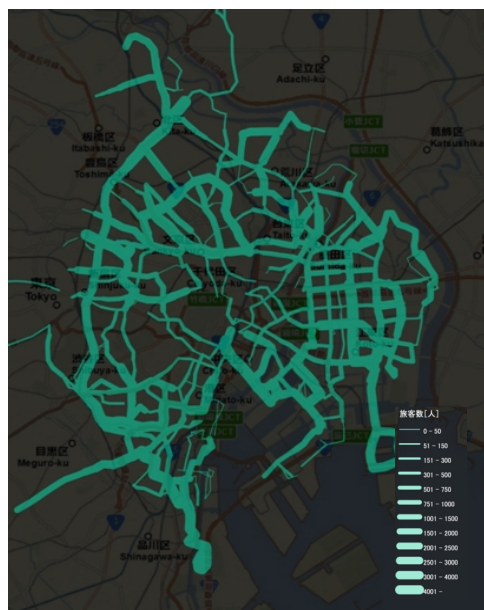


図 5.2 バス転換後の系統区間別旅客数分布

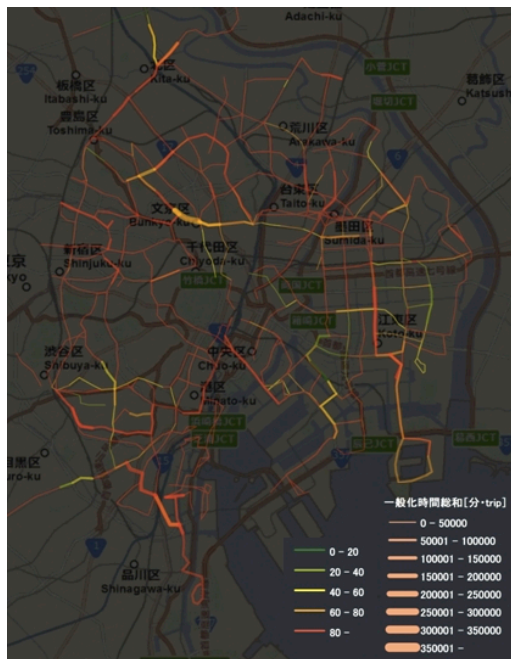


図 5.3 系統区間ごとの一般化時間削減量/率

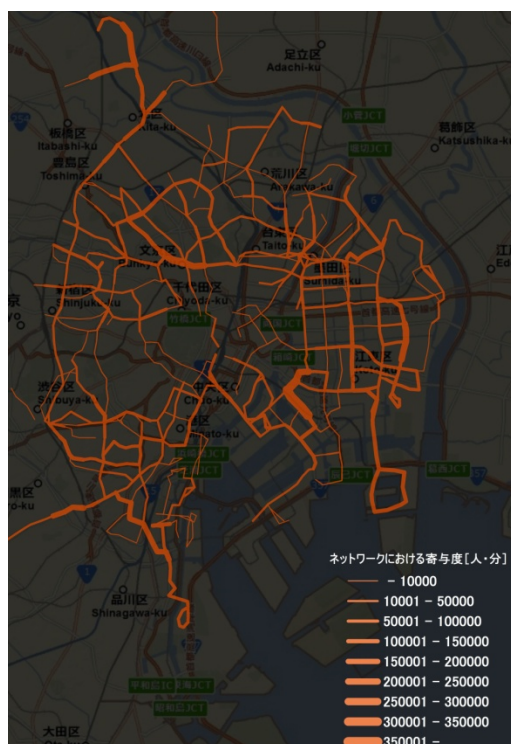


図 5.4 系統区間ごとのネットワークに対する寄与度

6. 結論

路線バスの現況利用特性については、本稿 3. で示したように、通勤・通学、非日常的私事を目的とするトリップ、および、非職業従事者（主婦、主夫等）によるトリップにおいてバス利用の志向性が相対的に高いといった基本的傾向が把握された。またここから、路線バスに関しては、所要時間や乗り換え回数等は、必ずしも手段選

択において支配的要素ではなく、地域やひとびとのバス利用に対する志向性が重要であると考えられる。

また、バス利用の促進・転換により、都心部の移動の利便性は大幅に改善される可能性があることが示唆された。路線バスは東京都心部の交通ネットワークにおいてきわめて高いポテンシャルを有していると言える。

さらに、図 5.4 に示したように、系統・区間により、公共交通ネットワーク全体に対する寄与度が異なる。たとえば、都 02 系統や海 01 系統などは、鉄道網を含んだ公共交通ネットワークに対して、他の系統に比べて大きく寄与していることが分かる。150 近くもの膨大な系統を同一の次元で扱うことは不合理である。今後、バス系統の機能を分類するなどし、基幹的路線と地域交通を担う路線などに分担したうえで、バスネットワークを発展・形成させていくべきである。

謝辞

「人の流れデータ」を利用させていただくにあたり、東京大学空間情報科学研究センター・関本義秀先生にご助言をいただき、共同研究者にもなっていただきました。この場を借りて、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小塚琢也「東京都心部における基幹的バス路線導入に関する研究—アクセシビリティ分析をもとに」東京大学都市工学科卒業論文, 2010.
- 2) 東京都交通局「都営交通ネットワーク及び運賃制度検討委員会報告 都営交通におけるネットワークのあり方—『シームレス・トランスポート』の実現に向けて」1999.
- 3) Yoshihide Sekimoto, Ryosuke Shibasaki, Hiroshi Kanasugi and Tomotaka Usui, Yasunobu Shimazaki, PFLOW: Reconstruction of people flow recycling large-scale social survey data, IEEE Pervasive Computing, Vol. 10, No. 4, pp. 27-35, Oct.-Dec. 2011.
- 4) 谷明良、宮武信春「通勤経路選好特性の計量化手法」土木学会論文報告集 第 267 号, 1977 年 11 月.