

並走する他社路線間を連絡するマイクロ交通ネットワークの可能性

2022年度建設コンサルタンツ協会懸賞論文

【テーマ1】あなたが市長なら、どのような“まちづくり”をしたいと思いますか？

東京海洋大学

伊藤維胤

緒言と概要

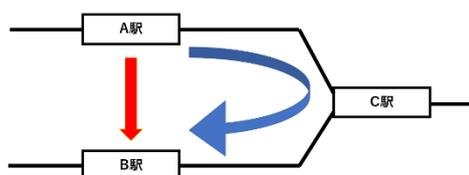
インフラの中でも、公共交通機関の存在は都市を活性化するために重要である。国内には鉄道、地下鉄、路面電車、バス、船舶といった公共交通機関が存在し、旅客輸送を支えている。その中でも、鉄道は輸送人員で全国の9割近くを占めており、三大都市圏に限って言えば鉄道の占有率は52%ほどで、極めて重要な役割を果たしている(国土交通省, 2022)。

本稿では、研究対象を神奈川県横浜駅周辺に設定し、現地の鉄道に関して、Google Mapを用いて現状を分析した。その結果、徒歩で乗り換えた方が、電車を使って乗り換えるより所要時間が短い「代理乗り換え駅」が各所に点在することが分かった。代理乗り換え駅は、網目状に敷設された鉄道ネットワークのポテンシャルを引き下げている。そこで、代理乗り換え駅を自転車をつなぐ、マイクロ交通ネットワークを提案し、詳細に分析した。

現状と課題

神奈川県は、首都圏の一角に位置し、東京湾と相模湾に面している(神奈川県, 2022)。人口は900万人ほどで、東京に次いで全国で2番目に人口が多い。北部では首都圏に接しており、首都圏のベッドタウンとしての機能を有している。首都圏において、毎朝通勤通学のために鉄道を利用する人は900万人程度であるという(田口, 2005)。したがって、神奈川県からもかなりの人口が通勤通学のために鉄道を利用していると考えられる。

神奈川県の鉄道網は比較的発達しており、複数の鉄道会社が網目状の交通ネットワークを形成している。神奈川県に路線を有している会社として、東日本旅客鉄道(JR 東日本)、東海旅客鉄道(JR 東海)、東急電鉄、横浜高速鉄道、京急電鉄、小田急電鉄などがある。JR 東日本は東海道線や横須賀線など7本の路線、東急電鉄は東横線や田園都市線など5本の路線を有している。京急電鉄や小田急電鉄は単一の路線のみを有している。川崎や横浜といった人口密集地ではこれらの路線が絡み、複雑なネットワークを形成している。



〇〇〇〇〇〇

図1 電車を用いた乗り換えに不都合な、代理乗り換え駅の模式的な位置関係

このような鉄道網を移動する場合、現在地の駅と目的地となる駅の鉄道会社が異なり、乗り換えが必要な場合がある。通常、乗り換えを行う場合は、現在地の駅(A駅)から2つの路線で電車が停車する駅(C駅)を経由し、目的地(B駅)まで向かうことになる。しかし、図1に示すような場合は、A駅からC駅を経由してB駅まで向かうよりも、A駅から直接B駅まで歩いた(代理乗り換え)ほうが、所要時間を短縮できる。また、類似した位置関係で、もっと離れた場所から遠くへ移動する場合も、C駅で乗り換えるよりA駅-B駅間で乗り換えた方が合理的な場合も考えられる。このような位置関係の2駅を代理乗り換え駅と呼ぶことにする。代理乗り換え駅では、十分に発達した交通網の潜在的な利便性を十分に活かしていない。A駅とB駅の距離が近い場合は問題ないが、A駅-B駅間の距離が電車移動の間に徒歩で移動するには長すぎることも多い。そこで、徒歩移動において地理的な隔離がある2駅を対象に、電車やバスよりも小規模な自転車などの交通ネットワークをつなぎ、利便性を高めることを考える。まず、対象とした神奈川県内の路線で、代理乗り換え駅を探索した。

このような鉄道網を移動する場合、現在地の駅と目的地となる駅の鉄道会社が異なり、乗り換えが必要な場合がある。通常、乗り換えを行う場合は、現在地の駅(A駅)から2つの路線で電車が停車する駅(C駅)を経由し、目的地(B駅)まで向かうことになる。しかし、図1に示すような場合は、A駅からC駅を経由してB駅まで向かうよりも、A駅から直接B駅まで歩いた(代理乗り換え)ほうが、所要時間を短縮できる。また、類似した位置関係

代理乗り換え駅の探索及びスクリーニング

神奈川県内の横浜駅周辺の路線について Google Map を用いて位置関係を確認し、代理乗り換え駅を探索した。スクリーニングにあたり、定性的に議論するため、以下の条件を満たすものを選別した。①2 駅の経営母体が異なること。②歩いて移動するのに近すぎず、遠すぎない位置関係にあること。具体的には、500~1500 m の距離にあるものを中心に選別した。③Map の情報を一見して、ほかの駅を使って容易に乗り換えできないと判断できること。例えば、図 1 において A 駅、B 駅、C 駅があまりにも高度に密集している場合は、簡単に乗り換えることができるため選別の対象としない。具体的には、半径 400~600m 以内に 3 駅が存在している場合を対象外にした。その結果、表 1 に示す 20 組が選別された。

代理乗り換え駅を連絡するマイクロ交通ネットワークの提案

表 1 選別した代理乗り換え駅と距離

A 駅	距離[m]	B 駅	提案の概要
桜木町	650	日ノ出町	<p>表 1 で示した 20 組の代理乗り換え駅は電車だけで乗り換えることが容易ではなく、駅間で 500m から 1500m の距離があるため、歩いて乗り換えることも煩わしい。そこで、本稿では、このような代理乗り換え駅を連絡するマイクロな交通ネットワークを提案する。具体的には、自転車や電動キックボード、セグウェイといった、電車と比較して小規模な交通手段で駅間をつなぐ。駅構内や駅の出口からごく近傍に、自転車やキックボードのポートを設置し、乗客がより自由に乗り換えを行うことができるようにする。以下では、実際に収集したデータを用いて効果の検証を行い、具体的な設置の方策について論じる。</p> <p>マイクロな交通ネットワークの効果の検証</p> <p>代理乗り換え駅にマイクロ交通ネットワークを設置する効果についての検証を行う。代理乗り換え駅では、近くに両線が共有する駅がないため、電車のみを用いて乗り換えをする場合は非常に時間がかかる。したがって、通常は徒歩で乗り換えを行うことになるが、提案が実現した場合、自転車やキックボードといったより高速な移動手段で駅間を移動できることになる。実際に</p>
高島町	600	戸部	
新高島	800	高島町	
平沼橋	500	戸部	
馬車道	550	桜木町	
日本大通り	700	関内	
弘明寺	550	弘明寺	
南太田	650	吉野町	
反町	650	神奈川	
三ツ沢下町	900	反町	
東白楽	650	東神奈川	
京急東神奈川	900	東白楽	
大口	900	子安	
石川町(元町・中華街)	850	元町・中華街	
屏風浦	1100	磯子	
杉田	1100	新杉田	
黒川	900	若葉台	
若葉台	850	はるひ野	
稲城	1200	稲城長沼	
京急新子安	1100	大口	

に効果が出ている場合は、電車のみを用いて乗り換えを行うよりも早く到着できるはずである。よって、効果の検証を所要時間によって行う。本稿では、駅間の移動手段を自転車に限定し、表 1 に示した 20 組の駅に関して、自転車を使って移動した場合の所要時間、歩いて移動した場合の所要時間、電車を使って乗り換えした場合の所要時間を ANOVA で比較する。自転車及び徒歩で移動する場合、距離はすでに明らかになっているので、所要時間の

算出のために、自転車巡航速度と歩行速度を計算する。また、電車で乗り換える場合は所要時間を、乗り換え案内アプリケーションを用いて計測した。使用アプリケーションは Yahoo! 乗換案内で、平日の 12:00 に出発するという条件で最短の時間を所要時間とした。

さて、自転車は街路を走る場合、信号の影響を大きく受けることが知られている(山本ほか, 2012)。自転車が信号の影響を受けることなく移動する旅行速度を基準自転車旅行速度という。基準自転車旅行速度と信号サイクル長、信号交差点数などから実質的な自転車旅行速度を算出した山本ら(2012)によると、AB 間の旅行速度 V_{ab} は信号遅れ時間 d_{ab} 、基準自転車旅行速度 V 、距離 l_{ab} を用いて以下のように表されるという。

$$V_{ab} = l_{ab} / (l_{ab} / V + d_{ab} / 3600)$$

山本らは東京都江東区で実験を行ったが、信号交差点の密度は神奈川県横浜駅周辺と同様であると仮定し、基準自転車旅行速度などのパラメーターは山本らの実験を参考にした。自転車速度は距離に依存するので、山本らの式と駅間の距離を用いて算出した結果、どの区間でも 10.12 km/h であった。

一方、歩行速度に関しては、先行研究を精査したが信号によって歩行速度が有意に変化するという論文は確認できなかった。本稿で用いる歩行速度は、Ji ら(2005)の結果を参考に、5.040 km/h と推定する。

徒歩、自転車、電車の所要時間に差はない、という帰無仮説 H_0 を仮定して行った ANOVA の検定結果を表 2 に示す。P-値が 0.05 以下であり、有意水準 5% で帰無仮説は棄却された。また、差の信頼区間を用いて 3 つの群の平均値を調べると、3 群とも互いに有意差が生じていることも明らかになった。したがって、自転車を使って移動すると、徒歩または電車移動と比べて所要時間に有意な差が生じることから、自転車を用いたマイクロ交通ネットワークは十分に機能するはずである。

表 2 スクリーニングした代理乗り換え駅間の移動に関して、徒歩、自転車、電車の所要時間を ANOVA で分析した。3 群の所要時間の平均値に差はない、という帰無仮説のもと、検定を行った。

変動要因	変動	自由度	分散	分散比	P-値	F 境界値
グループ間	1304.7	2	652.35	29.388	1.6952E-09	3.1588
グループ内	1265.2	57	22.197			
合計	2569.9					

考えられる移動手段

自転車

統計的検定でも効果を確認した自転車による移動は、最も現実性がある移動手法である。自転車は津波に係る避難時の移動手段として有力視されている例もあるように(村上ほか, 2016)、機動性が高く、短い区間での移動に最適である。また、自動車や鉄道といった動力を必要とする移動手段と比べて、コストが低く抑えられるというメリットもある。清水(2014)は、東京、高松、ウィーンの 3 都市を対象にして、走行時空間機会や駐車時空間機会、環境への負荷などを総合的に考慮した外部費用を自動車と自転車で算出し、比較した。その結果、いずれの都市においても自転車のコストは自動車の 5 分の 1 ほどであることを明らかにした。したがって、自転車によるマイクロな交通網の整備は、少ない初期投資で効果

的な便益をもたらすことが予想される。

電動キックボード

電動キックボードは、車輪付きの板に電動モーターを取り付けて、立った状態で運転する移動手段である(独立行政法人国民生活センター, 2022)。電動キックボードは道路交通法に定める原動機付自転車に分類されており、ヘルメットの着用や車道左側の通行が義務付けられていたが、事業者から原動機付自転車として扱うことは合理的でない旨の申し入れがあり、経済産業省により規制緩和が行われた(経済産業省, 2022)。緩和後は自転車道の通行が認められ、ヘルメットの着用も任意になった。オーストリアのウィーンではすでに電動キックボードの実用化が進み、法整備も行われている。日本では移動手段として浸透していないこともあり、公道をヘルメットや免許なしで通行する電動キックボードに対して、否定的な意見もある。

既存の自転車シェアリングシステムとその限界



図 2 元町中華街の鉄道駅(赤枠)と、サイクルポート(青い自転車マーク)の位置関係

昨今、低炭素でスマートな都市交通手段として、自転車シェアリングシステムは世界各国で注目を浴びている(神之門ほか, 2018)。自転車シェアリングとは、一定の地域内に複数配置されたサイクルポートで、自転車を自由に貸し出し、返却できるサービスで、借りたサイクルポートとは別のサイクルポートに乗り捨てすることも可能である(東京都環境局, 2022)。現在、神奈川にはいくつかの業者がシェアサイクル事業を展開している。

ハローサイクリングは、東京を中心に全国で利用できるシェアサイクリングサービスで、ボーダレスな交通インフラを実現している。横浜市に 215 カ所、川崎市に 280 カ所、相模原市に 25 カ所と、複数の市町村に多数のサイクルポートを設置している。アプリや Web で会員登録を行ったのち、出発地の近くのサイクルポートを探し、貸し出された電動自転車を利用することができる。ハローサイクリングは、携帯電話事業で著名なソフトバンクの傘下である、OpenStreet 株式会社が運営する。自転車には、専用の操作パネルと GPS 通信機能が搭載され、管理サイト上で利用状況やサイクルポートの空きなどを確認でき、料金もリアルタイムで設定することができる。ソフトバンクが有する IoT のノウハウやリソースを十分に活用した事業形態である。

ハローサイクリングは、東京を中心に

ベイバイクは、横浜を中心に事業展開するシェアサイクリング事業者で、ハローサイクリングと同様、電動自転車をレンタルすることができる。操作パネルにパスワードを入力するか、IC カードをかざすだけで貸し出しが完了する。サイクルポートは東京湾沿岸に偏在しており、横浜駅からみなとみらい、元町中華街にかけて多数のポートを設置している。こちらは NTT ドコモの子会社である、株式会社ドコモ・バイクシェアが運営している。

紹介した 2 事業者以外にも、ダイチャリやライドサイクルといった事業者が神奈川県に展開している。これらの自転車シェアリングシステムは、会社や学校が最寄駅から遠い場合

や、バス・電車を乗り過ごした場合、取引先を効率よく回りたい場合など、小規模な移動に向いていることが分かる。本稿でスクリーニングした代理乗り換え駅の周辺にも、これらのサイクルポートは存在する。しかし、出発地となる駅とサイクルポート、目的地となる駅とサイクルポートが離れている場合がほとんどで、駅とポートの間を余計に往復しなければならないため、徒歩の場合と比べて大幅な所要時間の短縮を見込めないという問題がある。

図 2 は元町中華街周辺の地図とサイクルポートを示した図である。中華街周辺には横浜高速鉄道が運営するみなとみらい線の元町・中華街駅と、JR 東日本が運営する根岸線の石川町(元町・中華街)駅がある。この 2 駅は代理乗り換え駅であり、850 m ほど離れており、鉄道のみを使って乗り換えすると 27 分もかかってしまう。そこで、既存のベイバイクが提供するサイクルポートを使った移動を試みる。ところが、どちらの駅とサイクルポート間でも 100 m ほどの距離があり、実際は倍の距離を余計に往復しなければならない。往復を考慮した所要時間を算出すると、9.52 分ほどかかってしまい、徒歩で移動した所要時間の 13 分と比較しても、短縮できるのは高々 3 分程度である。ここでは一例として元町中華街の地理関係を図示したが、サイクルポートと駅の間隔があるのは元町中華街だけではない。ほとんどの駅は、サイクルポートと距離があり、代理乗り換え駅を移動する場合、これが既存のサイクルポートを利用する上での大きな障壁となっている。

駅に隣接したマイクロ交通ネットワークの可能性

そこで、本稿では代理乗り換え駅の連絡を前提に、マイクロな交通ネットワークの可能性を模索する。鉄道事業者の中には駐輪場を設置している事業者もいる(国土交通省, 2004)。本稿で分析対象とした鉄道事業者では京王電鉄、小田急電鉄、京浜急行電鉄、JR 東日本、相模鉄道が該当する。ほとんどが地方公共団体への用地提供という形で設置が行われているが、小田急電鉄は自己経営の駐輪場を 72 カ所所有している。駐輪場を擁する鉄道駅では、駅から直接サイクルポートへ向かい、自転車に乗ることが可能である。事業者の有する駐輪場と既存のシステムを融合させることで、効率的な代理乗り換えが可能になる。

大都市圏では、鉄道の利用率が比較的高く、人々の消費活動を見込んで、駅構内に商業施設を建設する場合がある。一般に、主要駅改札内に新たなスペースを捻出し、人気ブランドや飲食店を揃えた空間を駅ナカ、改札外にファッションを中心に多数のテナントを揃えた商業施設を駅ビルと呼称する(長岡, 2013)。JR 東日本は駅構内に多店舗が集積した「エキュート」、東京メトロは同様に「エチカ」を展開し、注目を集めている。したがって、公共交通機関の改札内・改札外の空間には、ある程度の空間的なゆとりがあり、未利用のスペースをサイクルポートへと改装することも十分考えられる。

結論と展望

本稿では、神奈川県横浜駅周辺の鉄道に着目し、代理乗り換え駅という便益を損なう地理的な課題を見出した。この課題に対し、駅に隣接したマイクロな交通ネットワークの可能性を指摘し、統計的な解析も踏まえて定性的な解決案を提示した。検定の結果、自転車を用いた代理乗り換え駅の連絡は、徒歩または電車での乗り換えよりも所要時間を有意に短縮することが示された。次に、自転車やキックボードといったマイクロな交通手段を検討した。最後に既存のシェアサイクリングサービスと鉄道駅の融合を提案し、実現可能性を視野に入れた議論を行った。利用可能なスペースがあるか、実際に運用する際に採算がとれるかという点は、今後検討する必要がある。

参考文献

- ・ Crowinshield, R. D., Brand, R. A., & Johnston, R. C. (1978). The effects of walking velocity and age on hip kinematics and kinetics. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (132), 140-144.
- ・ Ji, T., & Pachi, A. (2005). Frequency and velocity of people walking. *Struct. Eng*, 84(3), 36-40.
- ・ 田口東. (2005). 首都圏電車ネットワークに対する時間依存通勤交通配分モデル. *日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌*, 48, 85-108.
- ・ 山本彰, 大脇鉄也, & 上坂克己. (2011). 自転車の走行空間等の違いによる旅行速度の差異に関する分析. *土木計画学研究・講演集*, 43(375).
- ・ 山中英生, 田宮佳代子, 山川仁, & 半田佳孝. (2001). 自転車走行速度に着目した歩行者・自転車混合交通の評価基準. *土木計画学研究・論文集*, 18, 471-476.
- ・ 山本彰, 小林寛, 橋本雄太, 上坂克己, & 岸田真. (2012). 自転車旅行速度の推定と活用方法に関する提案. *土木計画学研究・講演集 (CD-ROM)*, 45.
- ・ 張馨, 中村英樹, 井料(浅野)美帆, & 陳鵬. (2014). 横断歩道長と歩行者信号現示を考慮した横断歩行速度のモデル化. *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, 70(5), I_1031-I_1040.
- ・ 伊東元, 長崎浩, 丸山仁司, 橋詰謙, & 中村隆一. (1989). 健常男子の最大速度歩行時における歩行周期の加齢変化. *日本老年医学会雑誌*, 26(4), 347-352.
- ・ 村上ひとみ, 脇浜貴志, 小山真紀, & 奥村与志弘. (2016). 津波避難における移動手段と自転車活用に関する研究—南海トラフ地震に備える愛知県田原市の訓練事例. *地域安全学会論文集*, 28, 147-155.
- ・ 神之門はな子, & 中村文彦. (2018). ステーションレイアウトの違いによる自転車シェアリングコスト差異に関する研究. *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, 74(5), I_571-I_580.
- ・ 清水哲夫. (2014). 都市における自転車と自動車の外部費用の試算. *観光科学研究*, (7), 29-35.
- ・ 保坂稔. (2016). サイクルシェアリング普及に向けての意識研究-長崎市の公共交通機関との比較を中心に. *長崎大学総合環境研究 = Journal of Environmental Science, Nagasaki University*, 19(1), 1-10.
- ・ 長岡亮介. (2013). 鉄道会社による駅ビル・駅ナカ事業の展開: JR 東日本グループを事例として. *法政地理*, (45), 47-58.
- ・ 船曳悦子, 松本直司, & 片山一郎. (2013). 「駅ナカ広場」にみる利用者の停留・滞留行動特性について 大阪ステーションシティ「時空の広場」を対象として. *日本インテリア学会 論文報告集*, 23, 61-66.
- ・ 国土交通省. “都市鉄道の整備”. 国土交通省. https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk4_000002.html, (2022年9月29日参照)
- ・ 神奈川県. “神奈川県の概要”. 神奈川県. (2022). <https://www.pref.kanagawa.jp/docs/ie2/cnt/f530001/>, (2022年9月29日参照)
- ・ 東京都環境局. “自転車シェアリング”. 東京都環境局. https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/vehicle/management/bicycle_sharing/index.html, (2022年9月30日参照)

・独立行政法人国民生活センター. “電動キックボードでの公道走行に注意－公道走行するためには運転免許や保安基準に適合した構造及び保安装置が必要です－”. 独立行政法人国民生活センター. (2022). https://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20220317_1.html, (2022年9月30日参照)

・経済産業省. “電動キックボード”. 経済産業省. (2022). https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/seikatsuseihin/mobility/index.html, (2022年9月30日参照)

・国土交通省. “鉄道事業者による駐輪場設置状況”. 国土交通省. (2022). https://www.mlit.go.jp/tetudo/toshitetu/03_08.html, (2022年9月30日参照)

付録

付表1 ANOVA に用いた各代理乗り換え駅間の所要時間推定値

A 駅	距離[m]	B 駅	所要時間[分]		
			自転車	徒歩	電車
桜木町	650	日ノ出町	3.85	7.74	10.00
高島町	600	戸部	3.56	7.14	13.00
新高島	800	高島町	4.74	9.52	14.00
平沼橋	500	戸部	2.96	5.95	13.00
馬車道	550	桜木町	3.26	6.55	15.00
日大通り	700	関内	4.15	8.33	18.00
弘明寺	550	弘明寺	3.26	6.55	8.00
南太田	650	吉野町	3.85	7.74	16.00
反町	650	神奈川	3.85	7.74	10.00
三ツ沢下町	900	反町	5.34	10.71	18.00
東白楽	650	東神奈川	3.85	7.74	14.00
京急東神奈川	900	東白楽	5.34	10.71	10.00
大口	900	子安	5.34	10.71	15.00
石川町(元町・中華街)	850	元町・中華街	5.04	10.12	27.00
屏風浦	1100	磯子	6.52	13.10	13.00
杉田	1100	新杉田	6.52	13.10	43.00
黒川	900	若葉台	5.34	10.71	14.00
若葉台	850	はるひ野	5.04	10.12	12.00
稲城	1200	稲城長沼	7.11	14.29	20.00
京急新子安	1100	大口	6.52	13.10	20.00

差の信頼区間 Q に関しては、以下の式を用いて検定を行った。

$$\bar{X}_A - \bar{X}_B - t(\alpha/2; v_E) \sqrt{(1/v_A + 1/v_B) Se} < Q < \bar{X}_A - \bar{X}_B + t(\alpha/2; v_E) \sqrt{(1/v_A + 1/v_B) Se}$$

ただし、 \bar{X} は平均、 $t(\alpha; v_E)$ は自由度 v_E のt分布における上側100 α %点、 $v_A = n_A - 1$ はAの自由度、 $v_B = n_B - 1$ はBの自由度、 $v_E = n_A + n_B - 2$ とする。また、 $Se = (v_A s_A^2 + v_B s_B^2) / v_E$ とする。信頼区間が0をまたがない場合は、A群B群間に有意差があるとした。

付表2 差の信頼区間に関する検定結果

比較した2群	差の信頼区間	
	上端	下端
自転車-徒歩	-3.52	-6.10
徒歩-電車	-2.83	-10.31
電車-徒歩	14.98	7.77