

アクセシビリティ指標を用いた 高松市における公共交通再編効果の分析

江田 祐貴¹・紀伊 雅敦²・玉置 哲也³・梶谷 義雄⁴・鈴木 達也⁵

¹非会員 香川大学大学院工学研究科 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)
E-mail: s16t020@stu.kagawa-u.ac.jp

²正会員 香川大学教授 創造工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)
E-mail: kii@eng.kagawa-u.ac.jp.

³正会員 香川大学講師 創造工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)
E-mail: tamaki@eng.kagawa-u.ac.jp

⁴正会員 香川大学教授 創造工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)
E-mail: kajitani@eng.kagawa-u.ac.jp.

⁵非会員 香川大学助教 創造工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)
E-mail: t_suzuki@eng.kagawa-u.ac.jp.

我が国の多くの地方都市では、人口減少、高齢化のもとで、公共交通のサービス水準を維持改善しつつ、供給効率を高めることが強く求められている。その実現のため、高松市では鉄道とバスを含む幹線・フィーダー型の公共交通ネットワークの再構築を計画している。しかし、公共交通ネットワークの再構築は時間・空間的に異なる影響をもたらす、また特に幹線フィーダー型では乗り換えが増加することから、具体策の評価にはこれらを考慮した分析が必要である。本研究ではエージェントシミュレーションソフトであるMATSimを用い、高松市を対象として公共交通再編実施計画前後における利便性をアクセシビリティ指標により定量的に評価する。分析の結果、想定する再編ネットワークでは現況よりも平均的にアクセシビリティが低下すること、またその影響は時間帯により異なることが示された。これより、幹線フィーダー型への再編によるコスト削減のみならず、利便性の改善策を同時に実施する必要性が示唆された。

Key Words : public transport planning, network analysis, MATSim, accessibility

1. はじめに

近年、我が国の多くの地方都市では交通手段の自動車への依存が進み、公共交通の輸送人員は減少している。これに伴い、公共交通の輸送効率は低下し、財務的にその維持が困難となっている。その一方、人口の高齢化も進んでおり、特に公共交通の不十分な地方都市では、免許返納により移動困難者が発生している。加えて、近年では労働人口の減少に伴いバス等公共交通の運転手不足も顕在化している。このように、移動困難を解消するために公共交通のニーズは高まりつつあるものの、その持続可能性は低下を続けている。

こうした状況の下、高松市では2015年に地域公共交通網形成計画¹⁾を策定し、公共交通を持続可能なものとするための基本方針を定め、それを実現するため、2016年に地域公共交通再編実施計画²⁾を策定している。そこ

では、公共交通を抜本的に効率化するため、エリアごとの役割の違いを明確化し、交通結節拠点整備とバスと鉄道を統合した幹線フィーダーネットワークへの再編を目指している。具体的には、交通結節点用地を確保できる鉄道路線上に新駅を整備し、そこを拠点とするようバス路線を再編することにより、バス、鉄道、タクシーを含む統合ネットワークとしての利便性の確保と効率性の改善を目標としている。

一方、こうした公共交通ネットワークの再編の影響は空間的に異なり、またダイヤ設定により時間帯によってもその影響は異なる。加えて、幹線フィーダー系統に再編する場合、乗り換え回数が増加する。このため、再編ネットワークを具体的に検討する上では、再編に伴う乗り換えや利便性の時空間的な変化を分析することが必要である。

そこで本研究では、エージェントベースの交通シミュレ

ーションツールであるMATSimを用い、高松市を対象に公共交通再編実施計画前後における利便性を、アクセシビリティ指標を用いて明らかにすることが目的である。

2. Multi-Agent Transport Simulation³⁾

アクセシビリティの算定にはサービス水準の評価が必要となるが、本研究ではMATSimを用いて、公共交通のサービス水準を求める。MATSimはベルリン工科大学とスイス連邦工科大学で共同開発されたマルチエージェントシミュレーションモデルであり、エージェントの交通計画に対して、最もスコアの高い経路を推計する。エージェントの経路推計においては、所要時間、徒歩での移動距離、乗り換え回数等も算定している。本研究では、MATSimを交通需要推計ではなく、サービス水準評価のために用いる。このため、高松市内から一様に主要目的地までの交通を発生させ、目的地の魅力度を重みとするサービス水準の集計指標として出発地点ごとのアクセシビリティを算定する。このアクセシビリティ指標に基づき空間的な公共交通の利便性を可視化し、公共交通ネットワーク改変前後の利便性の変化を評価する。

以下ではMATSimで用いた入力データの内容と作成方法を説明する。

(1) ネットワークデータ

本研究で用いる公共交通ネットワークデータはバス路線と鉄道路線の地理情報に基づき作成している。現況の公共交通ネットワークは基本的には国土数値情報⁴⁾を用いているが、バスネットワークについては一部現況との相違が見られたため、バス路線図と比較して手作業で修正している。再編後の公共交通ネットワークに関しては、高松市が公表している高松市地域公共交通再編実施計画改定(案)⁵⁾や高松市総合都市交通計画(改定版)⁶⁾に掲載されている路線図案に基づき、Googleマップと照らし合わせ、ネットワークデータを作成した。再編後のネットワークデータを図-1に示す。



図-1 再編後Networkデータ

図-1において青線は鉄道路線を表しており、白線はバス路線を表している。

(2) Schedule データ

Schedule データは鉄道やバス路線のルートやダイヤ等の情報を表したデータである。再編前のSchedule データはことでんグループ⁷⁾が公開しているGTFSデータおよび時刻表に基づき作成した。再編後のSchedule データに関しては時刻表等のデータが存在しないため、類似路線を参考にダイヤを設定した。今回の高松市における再編の主な内容は、バス路線の短縮と環状路線の新設である。まず、短縮する路線のダイヤに関しては、短縮されず残った区間を再編前と同じ時刻で通過するように設定した。次に新設される環状線のダイヤに関しては、既存のショッピングレインボー循環バスのダイヤを参考に、30分間隔での運行とした。また、バス路線のルート変更や新設でバス停の新設が必要となるが、従来のバス路線における平均的なバス停間隔である500mを基準として設置した。

(3) Plan データ

Planデータはエージェントの一日のアクティビティを表しており、エージェントの出発地点、出発時間、到着地点を設定する。本研究ではアクセシビリティの空間分布を評価するため、出発地点を4次メッシュの中心として高松市内に均等に配置した。出発地点の数は1574箇所である。図-2に出発地点の空間分布を示す。

次に、エージェントの目的地は高松広域都市圏パーソントリップ調査⁸⁾において定義された小ゾーンの重心とした。ここでは、パーソントリップ調査における集中交通量の総発生交通量に対する比率をそのゾーンの魅力と定義している。具体的なアクセシビリティの算出法は次節に記述する。図-3に目的地の空間分布を示す。

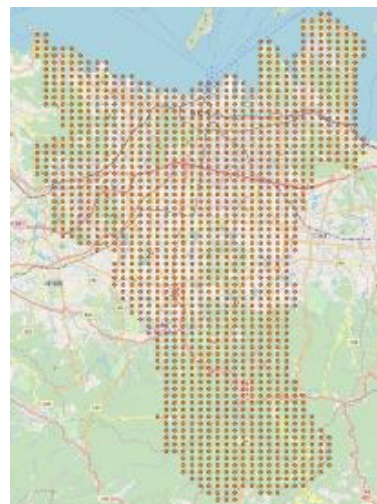


図-2 エージェントの出発地点

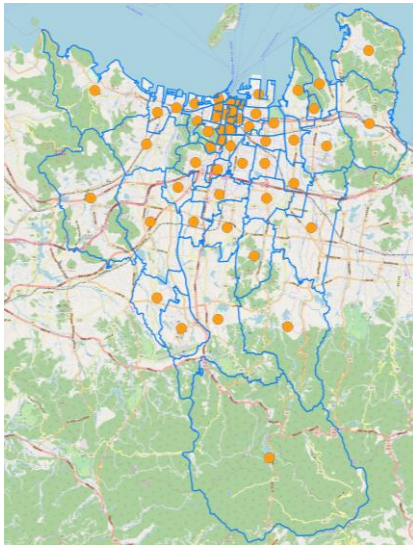


図-3 エージェントの到着地点

図-3において青い枠線はゾーンを表しており、黄色の点はゾーンの重心である。この出発地と目的地のすべての組み合わせ (OD) について公共交通のサービス水準を評価する。また、同じODで、朝 (7:00~7:50) , 昼 (12:00~12:50) , 夜 (18:00~18:50) について評価する。なお、評価に当たっては各時間帯で10分ごとに出発時刻をずらしエージェントを出発させている。なお、移動方法は公共交通と徒歩に限定している。

3. アクセシビリティ算出

高松市内各地の時間帯別のアクセシビリティを算出するため、エージェントの出発地点・出発時間帯ごとに所要時間、乗換回数及び徒歩の移動時間を集計した。まず各 OD について、出発時間帯別の所要時間、乗換回数、徒歩の移動時間は、その時間帯の 10 分ごとの発トリップの平均値で算定する。これにより時間帯別 OD べつのサービス水準指標を求める。次に時間帯別出発地点別のアクセシビリティ ACC を次式で定義する。

$$ACC_i = \sum_j A_j \exp(\theta_1 t_{ij} + \theta_2 n_{ij} + \theta_3 w_{ij}) \quad (1)$$

ただし、 A_j は目的地の魅力を表す重み係数、 t_{ij} は出発地 i から目的地 j までの所要時間、 n_{ij} は i から j まで乗り換え回数、 w_{ij} は i から j までの間の徒歩での移動時間、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ はパラメータである。時間は[時間]単位とする。前述のように A_j は集中交通量の総発生交通量に対する比率に 100 を乗じたものであり、交通が集中するゾーンほど魅力が高いと仮定している。パラメー

タ θ については、所要時間、乗換回数、徒歩での移動時間のアクセシビリティへの影響を調整するよう設定した。本研究では毛利、新田⁹⁾らの等価時間係数を用いてパラメータを設定する。

大東、三秋、折田ら¹⁰⁾によると、等価時間係数とは、「徒歩、バス、電車などの交通形態の違いによる負担感の違いを基準となる交通形態の交通時間に換算するための係数のこと」である。毛利、新田らは電車着席の等価時間係数を 1.00 とし、徒歩を 2.35、乗り換え一回を 9.80 としている。すなわち、徒歩で移動する場合の 1 分の負担は電車に着席して乗車している場合の 2.35 分の負担に相当しているという意味になる。本研究では、着席、立席の違いを考慮せず、所要時間の等価時間係数を 1.00 と設定する。乗り換え一回当たりの等価時間係数は、表-1 を参考に立ち席の割合を考慮し、乗換 1 回の等価時間係数を 8.00/60 として設定した。ここで、表-1 の時間の単位は分であるのに対し、本研究の所要時間の単位は[時間]単位であるため、相当する係数を 60 で割っている。徒歩の等価時間係数に関しては 2.35 を用いるが、本研究で評価にされた所要時間は乗車時間に加え、徒歩での移動時間も含まれているため、1.35 と設定した。これらを基に θ の値はそれぞれ、 $\theta_1 = -1, \theta_2 = -8/60, \theta_3 = -1.35$ とする。

4. アクセシビリティの空間分布

式(1)に基づき算定した、再編実施前後の高松市内の時間帯別のアクセシビリティの空間分布を示す。まず、朝の時間帯における再編前後のアクセシビリティの空間分布とその差分を図-3、図-4、図-5 にそれぞれ示す。

図-3、図-4 を見ると、高松市北部の市内中心部でアクセシビリティが高く、郊外に向かうに従い低くなっていることが分かる。図-5 を見ると、高松市内中心部で赤いゾーンが目立っており、利便性が大きく低下する結果となっている。再編による路線短縮は乗り換え回数の増加をもたらすため、ここで想定する再編は利便性を低下させる可能性があると考えられる。一方で高松市西部を走る琴電長尾線沿いや JR 予讃線鬼無駅付近では再編によってアクセシビリティが増加している。鬼無駅や長尾線の複数の駅では再編によりバスが接続されるようになっており、バス-鉄道間の接続強化の効果が出たと考えられる。

表-1 等価時間係数

電車 着席	電車 立席	バス 着席	バス 立席	徒歩	待ち 時間	乗換 1回
1.00	1.44	2.05	2.79	2.35	1.02	9.80

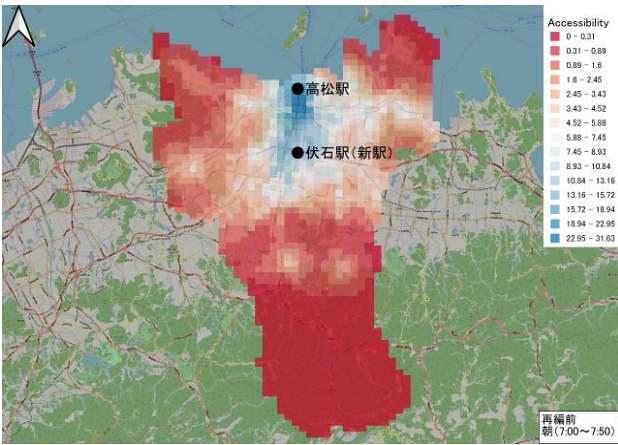


図-3 アクセシビリティ (再編前, 朝)

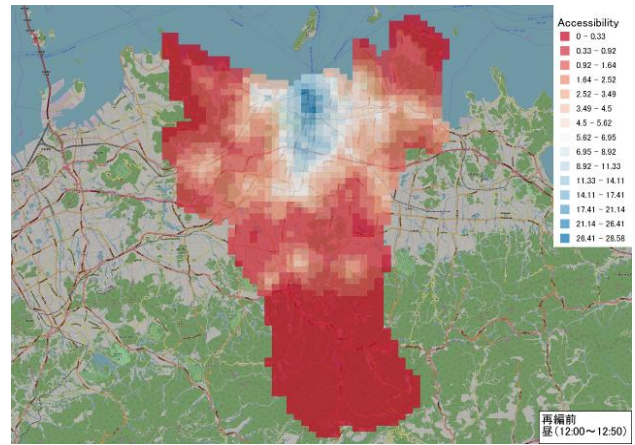


図-6 アクセシビリティ (再編前, 昼)

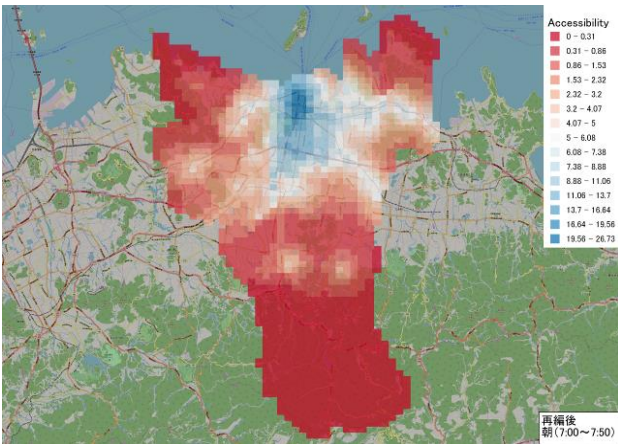


図-4 アクセシビリティ (再編後, 朝)

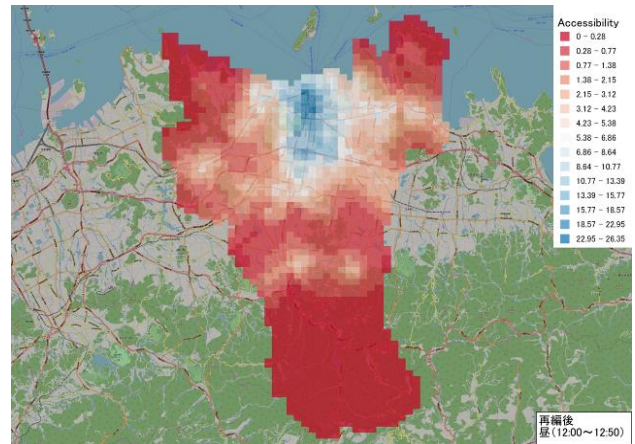


図-7 アクセシビリティ (再編後, 昼)

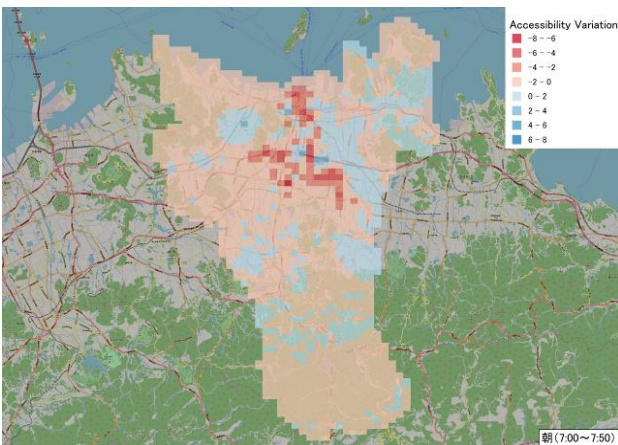


図-5 再編によるアクセシビリティ変化 (朝)

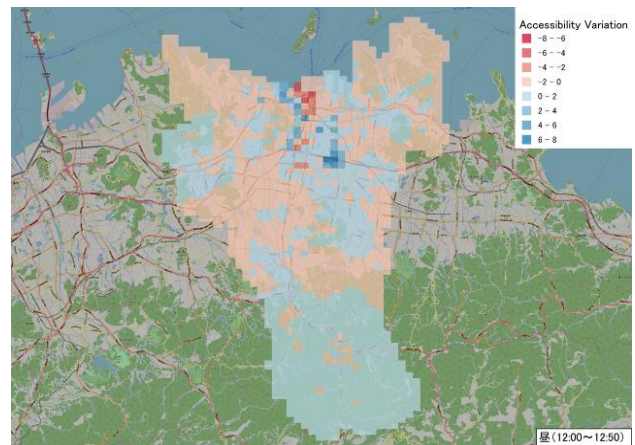


図-8 再編によるアクセシビリティ変化 (昼)

次に昼の時間帯における再編前後のアクセシビリティの空間分布とその差分を表した図を図-6, 図-7, 図-8 にそれぞれ示す。

図-6, 図-7を見ると、朝の時間帯と同じく、市内中心部を中心にアクセシビリティが高く、郊外に向かうに従いアクセシビリティが低下することが分かる。一方、図-8を見ると、朝の時間帯の結果と異なり再編によりアクセシビリティが改善されるエリアが多いことが分かる。特に市内中心部では濃い青のエリアがいくつか発生して

おり、再編によって大きく利便性が向上したエリアがあることが分かる。

次に夜の時間帯における再編前後のアクセシビリティの空間分布とその差分を表した図を図-9, 図-10, 図-11 にそれぞれ示す。

図-9, 図-10を見ると朝、昼の時間帯と同様の傾向である。図-11の再編によるアクセシビリティの変化を見ると、昼の場合と同じような変化となっている。

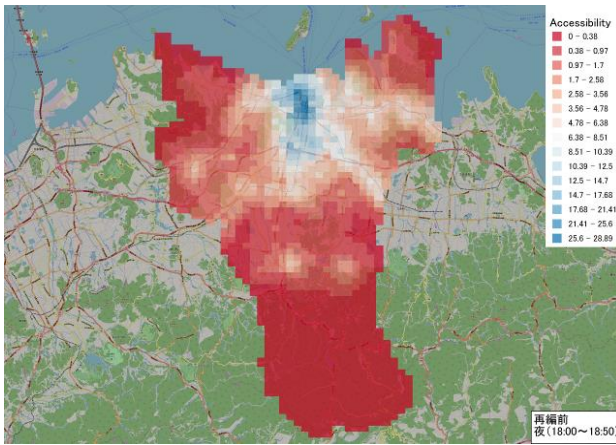


図-9 アクセシビリティ (再編前, 夜)

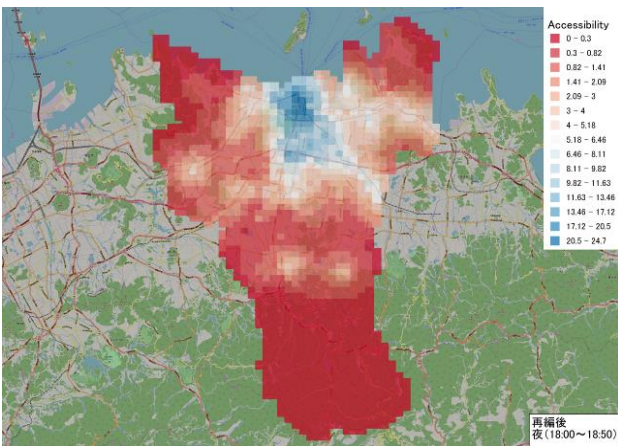


図-10 アクセシビリティ (再編後, 夜)

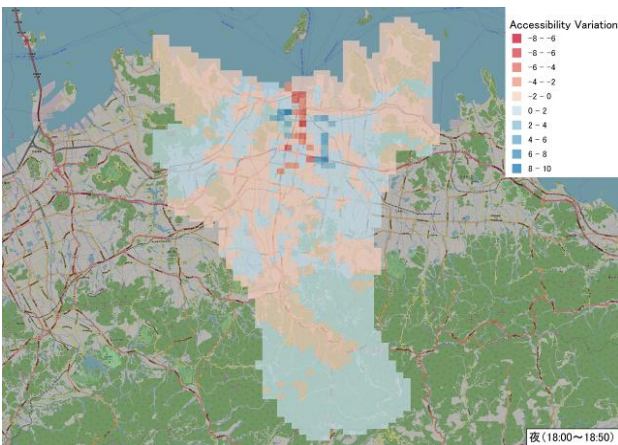


図-11 再編によるアクセシビリティ変化 (夜)

表-2 各時間帯におけるアクセシビリティ (平均)

	朝	昼	夜
再編前	2.556	2.020	2.028
再編後	2.302	2.010	1.995

各時間帯における各地点のアクセシビリティの平均を表-2に示す。表-2より、空間平均で見ると、すべての時間帯で再編前の方がアクセシビリティが高いという結果となったが、昼、夜の時間帯ではその差が小さくなって

いる。便数が少なくなる昼、夜の時間帯では再編後のネットワークでも一定程度の利便性を確保できている。本研究が想定した再編案は、特に幹線フィーダー系統とすることで、路線長を短くしていることで公共交通の供給費用を抑制するものである。費用に対する利便性の変化について、今後検討することが必要である。

また、運行本数が多い朝の時間帯では、バスの運行キロがより長い再編前のネットワークでは乗り換え回数が少なく、アクセシビリティが高く評価されている。再編後のネットワークでは、類似路線の頻度を参考にバスの便数を設定しているが、便数を増加させることで朝のアクセシビリティを改善しようと考えられる。また、本研究では乗り換え1回が8分間の所要時間に相当すると想定したが、結節性の改善による乗り換え抵抗を少なくすることが出来れば、アクセシビリティを改善しよう。今後は、鉄道やバスのダイヤの設定を変更した場合や、主要結節点での乗り換え抵抗変化の感度分析等が必要である。

5. おわりに

本研究では、エージェントシミュレーションソフトであるMATSimを用い、高松市を対象に公共交通再編実施計画前後の利便性の変化を、アクセシビリティ指標を用いて明らかにした。また、エージェントベースシミュレーションの特性を生かし、時間帯別のアクセシビリティを算出し、再編前後の変化を分析した。分析の結果、いずれの時間帯においても再編前の公共交通ネットワークのアクセシビリティの方が高いことが示された。ただし、昼、夜の時間帯ではその差が小さくなっており、公共交通を効率化しつつ一定程度の利便性を確保していると考えられる。

また、路線長が長い再編前のネットワークでは、運行本数の多い朝の時間帯にアクセシビリティがかなり高いことが分かった。本研究では再編後のダイヤを従前の類似路線に基づき設定しているが、今後はこのダイヤを調整し、運行本数がアクセシビリティに与える影響を分析することが必要である。

また、高松市では今後、総人口は減少するものの、引き続き人口増加が見込まれてる地区が存在していることから、将来の人口分布とアクセシビリティの空間分布を照らし合わせることで、戦略的な公共交通網の検討に貢献しようと考えられる。以上は今後の課題とする。

参考文献

- 1) 高松市：高松市地域公共交通網形成計画，2015。
- 2) 高松市：高松市地域公共交通再編実施計画，2016。

- 3) Horni, A., Nagel, K. Axhausen, K. W.: The multi-agent transport simulation MATSim, London: Ubiquity Press Ltd. 2016.
- 4) 国土数値情報 : <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 5) 高松市 : 高松市地域公共交通再編実施計画改定 (案) , 2019
- 6) 高松市 : 高松市総合都市交通計画 (改定版) , 2019
- 7) ことでんグループ : <http://www.kotoden.co.jp/>
- 8) 高松広域都市圏総合都市交通体系調査委員会 : 高松広域都市圏都市交通マスタープラン, 2015.
- 9) 毛利正光・新田保次 : 一般化時間を組み込んだ交通手段選択モデルに関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, Vol.1984, No.343, pp.63-72, 1984
- 10) 大東延幸・三秋英二・折田康明 : 公共交通手段別のサービスレベルに関する研究, 広島工業大学紀要研究編, Vol.40, pp.75-80, 2006

IMPACT OF PUBLIC TRANSPORT REFORMATION ON SPATIAL DISTRIBUTION OF ACCESSIBILITY, CASE OF TAKAMATSU CITY

Yuki GODA, Masanobu KII, Tetsuya TAMAKI, Yoshio KAJITANI,
and Tatsuya SUZUKI

Under the depopulation and aged society, most of local cities in Japan are pushed to improve both of the level of service and its supply efficiency of public transport systems. To achieve the target, Takamatsu city government plans to reform the public transport system into trunk-feeder network consisting with bus and railway routes.. Public transport reform will have uneven impacts spatially and temporally on its service, but those impacts are not enough clarified. In this study we analyze spatial distribution of accessibility for public transport network in Takamatsu city and assess the impact of public transport reformation using agent based microsimulation. As a result, we found that our assumed reformed network will decline the level of service of the public transport but the impact is different by time of day. In addition to the efficiency improvement by cost reduction of public transport system, further service improvements like higher frequency and supply of intermodal connecting facilities should be considered in the reform.