



道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
No.28-4

研究テーマ

ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と
道路空間の新たな利活用方策についての研究開発

研究代表者： 熊本大学 教授 溝上 章志
共同研究者： 熊本大学 准教授 円山 琢也
熊本高専 准教授 橋本 淳也
合同会社ゴダイベスト 代表社員 森 俊勝
一般財団法人計量計画研究所都市交通研究室長 須永 大介

令和元年 7 月

新道路技術会議

目 次

研究概要	1
第 1 章 はじめに	3
1.1 研究の背景	3
1.2 研究目的と意義	3
1.3 研究の意義	3
第 2 章 パリ Autolib' 事業から見た我が国へのカーシェアリングサービスの導入可能性	5
2.1 はじめに	5
2.2 パリの EV カーシェアリング Autolib'の概要	5
2.3 Autolib'の運営と財務状況	8
2.4 Autolib'サービスの終了	9
2.5 契約解除の要因と今後の展望	12
2.6 我が国へのカーシェアリングの導入可能性	14
2.7 おわりに	14
第 3 章 利便性と収益性から見た我が国でのカーシェアリングサービスのフィージビリティ	17
3.1 はじめに	17
3.2 分析対象地域と分析手法	19
3.3 都市の違いによる導入可能性分析	21
3.4 適切な事業規模に関するシナリオ分析	23
3.5 おわりに	26
第 4 章 メソ交通流シミュレータ K-MATSim の開発とその挙動・性能の標準検証	29
4.1 はじめに	29
4.2 K-MATSim による交通解析	30
4.3 K-MATSim の挙動と性能評価	31
4.4 おわりに	37
第 5 章 K-MATSim によるカーシェアリングの需要予測と道路空間の利活用評価	38
5.1 はじめに	38
5.2 K-MATSim による分析のための条件設定	38
5.3 需要予測と社会・経済インパクトの評価	38
5.4 K-MATSim による路上駐車スペースが道路交通流に与える影響分析	43
5.5 おわりに	46
第 6 章 おわりに	47
6.1 当初の研究目的と計画	47
6.2 研究目的と計画の達成状況	47
6.3 今後の研究課題と展望	48

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（平成 28 年度採択）
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.28-4	ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と道路空間の新たな利活用方策についての研究開発	熊本大学 教授 溝上章志

我が国へのワンウェイ型カーシェアリングサービスの導入可能性とその効果、ステーションの最適配置、路上配置とした場合の道路空間の新たな利活用方策などを明らかにすることを目的として、欧米におけるカーシェアリングシステムの実態と利用意識を分析し、独自開発したマクロ運用シミュレーションモデル、およびメソ交通流シミュレーションモデル K-MATSim を用いて、カーシェアリングの需要予測、インパクト評価を実施する研究開発。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

欧米を中心に普及している大規模なカーシェアリングを我が国に導入するには、利用需要の予測手法だけでなく、効率的なカーシェアリングサービスの運用方法を事前に検討しておく必要があり、これらを可能とする分析システムが求められている。

本研究の目的は、我が国へのワンウェイ型カーシェアリングの導入可能性とその効果、適切な事業規模やステーション配置、路上配置とした場合の道路空間の新たな利活用方策などを明らかにする。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

欧米におけるカーシェアリングサービスの実態と利用意識を分析する。

- 2) カーシェアリングサービスの利用意向調査を行い、導入可能性の検討、カーシェアリングサービスへの転換モデルの推定を行う。この転換モデルを組み込んだマクロカーシェアリング運用シミュレーションモデルとメソ交通流シミュレーションモデルを構築する。
- 3) 幾つかの都市圏を対象として、ステーション型カーシェアリングサービスの運用シミュレーションを実施し、導入可能性について検討を行う。また、ステーションを路外、路上に配置した場合の効果や課題を明らかにすることによって、道路空間の利活用方策の検討を行う。
- 4) 自動運転車両保有者によるシェアリングサービスに対する需要予測とインパクト評価方法のプロトタイプを検討する。

3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

上記 1)~4)の研究成果について、順に以下に概説する。

- 1) 2016 年度にはパリとベルリン、2017、2018 年度はバル、ボルドー、ロンドンのカーシェアリングサービスの視察、自治体や現地コンサルタント、大学教員とのディスカッションを行った。特に、パリ都市圏の Autolib' の利用と運用の実態については深く調査した。また、2011、2013 年に実施されていた Autolib' の利用意識に関する調査を 2016 年にも実施した。これらより、欧米におけるカーシェアリングサービスの利用と運営の状況、事業規模やエリアなど、事業収益性の視点からのフィージビリティの検討の必要性を明らかにした。
- 2) 「MEV カーシェアリングへの手段転換意向に関する選好意識調査」から得られた 430 人の被験者の 3 割が現利用手段からカーシェアリングへ転換する意向を示した。この SP データを用いて推定されたカーシェアリングへの転換モデルは、「予約を受けられない確率」が他の人の行動結果に依存して日々、更新される独創的なモデルとなっている。この転換モデルを組み込んだマルチエージェント型のカーシェアリング運用シミュレータを構築した。さらに、交通流シミュレーションモデルが具備すべき必要条件を満足するメソ交通流シミュレーションモデル K-MATSim (Kumamoto Multi-Agent Traffic Simulation model) を開発した。
- 3) ステーション型カーシェアリングサービスの我が国への導入可能性を検証するために、都市規模や交通特性が異なる 3 都市を対象に、カーシェアリング運用シミュレーションを内挿した最適ス

テーション配置問題を解き、需要予測とインパクト評価を行った。さらに、熊本都市圏では中心部とその周辺部に限定した事業エリア内でステーションを配置することが収益性の向上に繋がること、周辺部を目的地とした利用に対して料金を下げると、カーシェアリングサービスの利用が促進されると同時に、空間的にも時間的にも需要と車両の偏在を緩和することができることを明らかにした。路上に設置されたステーションが道路交通流にどのような影響を与えるかを K-MATSim を用いて予測した。ステーション付近の交通量そのものは減少するが、迂回する車両のためにステーション周辺の道路区間で交通量が増加する。特に交通量の多い交差点付近に設置されたステーション周辺でその傾向は顕著であり、設置には不適である。

- 4) 自動運転車両による AVS (Autonomous Vehicle Sharing) サービスに対する需要とサービス供給の予測モデルを内挿した運用シミュレーションモデルを開発した。熊本都市圏での試算の結果、自動車からの転換を含む総トリップ数の約 1.7% が AVS サービスを利用することによって、都心部での駐車時間が 15% も削減されるという結果を得た。

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

- 1) 溝上章志・森 俊勝: Autolib'事業の契約解除とカーシェアリングサービスの行方, 交通工学, No.53, Vol.5, pp.43-51, 2019.
- 2) 溝上章志・森 俊勝: Autolib'事業から見た我が国へのワンウェイ型カーシェアリングサービスの導入可能性, 交通工学, No.53, Vol.4, pp.54-60, 2018.
- 3) Shoshi MIOZKAMI: Mobility and society combining autonomous driving technology and sharing services, International Academic Seminar on "New Mobility and Society Combining Autonomous Driving Technology and Sharing Service", Campus Innovation Center of Tokyo Institute of Technology, 2018.11.30, Tokyo.
- 4) 中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也: ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と最適ステーション配置, 土木学会論文集 D3, Vol.73, No.3, pp.135-147, 2017.
- 5) 古澤悠吾, 溝上章志, 中村謙太: 普及過程を考慮したカーシェアリングシステムの運用シミュレーション分析, 土木学会論文集 D3, Vol.73, No.5, pp. I_1003-I_1012, 2017.
- 6) Shoshi MIZOKAMI, Demand Forecasting and management Method of Electric Vehicle Sharing System - Simulation Model of One-way Micro Electric Vehicle (MEV) Sharing System, Car Sharing Association Annual Conference, May 18th - May 9th, 2017, Montreal, Canada.

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

本研究で対象としたシェアリングサービスを完全自動運転車で運用する Autonomous Vehicle Sharing サービス, これに相乗りを許す Autonomous Vehicle Ride Sharing サービスは究極のモビリティサービスを提供しうる。しかし, このようなモビリティサービスは果たして市民に受け入れられるのか, バスやタクシーといった伝統的な公共交通事業の役割や運営形態はどのようになるか, 自家用車が占有していた駐車スペースは従来どおり必要か, さらに都市構造そのものがどのように変容していくかといった, 社会的・都市的課題をあらかじめ検討しておく必要がある。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

平成 28 年より開始された国土交通省関東地方整備局東京国道事務所主催の「道路空間を活用したカーシェアリング社会実験協議会」の委員として, 本研究から得られた知見を協議会で紹介した。大手町や新橋でのカーシェアリング実験の実施計画, 利用実態や効果の把握方法などについて提言し, その成果はステーションの設置手続き・運営に当たっての留意事項に反映されている。また, 平成 29 年度には国土交通省道路局環境安全課道路交通安全対策室から諸外国における道路空間を利用したカーシェアリングの制度やその実態についての調査分析結果の問い合わせがあり, これまでの調査成果を提供した。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

現在のところ, ホームページ等は開設していない。今後, K-MATSim について, その性能や機能, 適用事例について公開し, 交通流動解析や交通政策評価に広く適用してもらう計画である。

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

ドイツの car2go やフランスの autolib' など、欧米を中心に大規模なワンウェイ型カーシェアリングサービスが実装され、定着してきている。我が国でも、その利便性や経済性などの面から、カーシェアリングシステムは新たなモビリティとして導入が進むと考えられる。事実、横浜市と日産自動車によるチョイモビ社会実験、パーク24 とトヨタ自動車による東京 23 区内での乗捨て型シェアリングサービス実験などが開始されたが、その規模は小さく、成果についての情報の公開は無い。また、駐車ステーションや利用料金をあらかじめ設定して登録モニターによる利用状況を把握するといった社会実験に留まっている。

実際にワンウェイ型カーシェアリングサービスの導入を検討するには、利用需要の予測だけでなく、駐車デポ配置や料金水準など、効率的なサービスの運用方法を事前に検討する必要がある、これらを可能とする分析システムが求められている。

1.2 研究目的と意義

本研究で明らかにしたいの主要な目的は下記の通りである。

- 5) 欧米におけるカーシェアリングサービスの実態と利用意識を分析する。
- 6) カーシェアリングサービスの利用意向調査を行い、導入可能性の検討、カーシェアリングサービスへの転換モデルの推定を行う。この転換モデルを組み込んだマクロカーシェアリング運用シミュレーションモデルとメソ交通流シミュレーションモデルを構築する。
- 7) 幾つかの都市圏を対象として、ステーション型カーシェアリングサービスの運用シミュレーションを実施し、

導入可能性について検討を行う。また、ステーションを路外、路上に配置した場合の効果や課題を明らかにすることによって、道路空間の利活用方策の検討を行う。

- 8) 自動運転車両保有者によるシェアリングサービスに対する需要予測とインパクト評価方法のプロトタイプを検討する。

1.3 研究の意義

近年、環境負荷低減意識の高まりや自動車総数の削減のため、会員間で車両を共同利用するカーシェアリングサービスの普及が進みつつある。我が国でも、その利便性や経済性などの面から、ワンウェイ型、特に MEV を利用したカーシェアリングサービスの普及は、EV の普及と共に急速に進むと考えられる。しかし、普及過程での利用需要の予測だけでなく、駐車デポ配置や料金水準などの効率的な OWS システムの運用方法、駐車や充電設備配置などの道路空間の利活用方策を検討することを可能にする有効な分析システムは無い。

本研究は、MEV によるカーシェアリングの社会実装を想定して、一日のトリップのうちどのトリップをカーシェアリングに置き換えるかを予測するモデルを運用シミュレーションの中に組み込んだ分析システムを構築する。日単位で実行されるシミュレーションの中では、予約受付可否のリスクの蓄積によって OWS の効用が変化して日々の需要が変動し、かつ、他者の行動結果に予約の可否が依存する構造になっている。さらに、この需要予測モデルは普及過程の社会的相互関係に依存した挙動も反映できるため、サービス提供者の戦略立案にも貢献できる。この分析システムを実際の都市圏に適用し、転換による所要時間短縮だけでなく、時間短縮によっ

て生まれる余裕時間によるアクティビティの変容や MEV ならではの環境改善便益も考慮したカーシェアリングサービスの導入効果の評価を行うという挑戦的な試みでもある。また、カーシェアリング導入のための需要予測と運用シミュレーション分析システムを提供し、国内での実装・導入に結びつけるために克服すべき技術的、社会的課題とその解決方法についての知見を得ることができることは有用である。

新たなモビリティとしてもビジネスとしても近い将来、確実に実装・普及することが見込まれるカーシェアリングについては、先進諸国と比較して、実社会でのシステム運用だけでなく、学術的研究でも後れをとっている。しかし、海外のシェアリングシステムでは EV が導入されている例は少ない。我が国の MEV の車両性能は高い上、高度なトラッキングシステムや交通関連ビッグデータの解析技法を有していることから、本研究の成果は国際的にも高い評価が得られることが期待される。

第2章 パリAutolib'事業から見た我が国へのカーシェアリングサービスの導入可能性

2.1 はじめに

Car2go や DriveNow といったカーシェアリングサービス提供会社がそれぞれ Daimler 社や BMW 社の傘下にあるように、海外ではワンウェイ型カーシェアリングサービスは完成車メーカー系が運営している。また、自治体が許可したエリアであれば路上のどこにでも車輛の返却が可能なフリーフローティングが一般的である。これに対して、パリ都市圏で 2012 年 12 月から運用されている Autolib' は、フランスパリ市とその周辺自治体から成る Paris Metropole によって運営され、同じワンウェイ型ではあるものの、車輛の返却場所を特定の場所に限定したステーションタイプのカーシェアリングサービスである。驚くことに、Autolib' は都市圏内に 1 ステーション当たり 5~6 駐車スペースを持つ 1,000 箇所を超えるステーションを設置しており、ここにブルーカーという愛称の電気自動車を 3,600 台、配置して運用している。これらのステーション間の平均距離はおよそ 360m であり、全ての駐車スペースに充電装置が設置されている。約 100,000 人の年間契約者と約 140,000 回の 1 回払い利用により、1 日 1 台当たり平均 5.2 回もの利用がされている。

車輛の保管場所の確保に関する厳格な規制がある我が国では、ワンウェイ型のカーシェアリングサービスを導入するとしても、実現可能なサービスは Autolib' と同様のステーションタイプとなるであろう。本章では、我が国に導入可能なサービスを実装して運用しているパリ Autolib' 事業の運営と利用の実態を紹介する。2 節では Autolib' 導入の背景と提供されているサービス、利用実績を、3 節では事業契約とステーションの確保などの運営、財務状況を紹介する。

そのような中で、2018 年 6 月下旬に発表された “Autolib', a popular yet unprofitable electric car-sharing system in Paris, on Thursday hit the end of the road after the public body that oversees it decided to cancel the private operator's contract.” という

ニュース¹⁾は著者らに衝撃を与えた。4 節では、2016 年に実施した Autolib' の利用意識と評価に関する WEB 調査結果から得られた市民の Autolib' に対する意識の変化状況を紹介すると共に、Autolib' サービスの終了の経緯について紹介する。次いで、5 節では主としてフランスでの関係者へのインタビューに基づく Autolib' サービス事業の休止の原因と今後の展開について述べる。以上の分析を通して、6 節では我が国へのカーシェアリングサービスの導入可能性について結論づけることにする。

2.2 パリの EV カーシェアリング Autolib'²⁾の概要

(1) パリの交通政策

Autolib' とは、借りた場所と返す場所が異なってもよいワンウェイ型で、専用の駐車ステーションに返却するステーションタイプの電気自動車を用いたカーシェアリングサービスである。パリ市を中心に、フランスの幾つかの都市圏で Autolib' が成功している理由は、2012 年に就任したオランド大統領の環境政策の主要な基本方針の一つであるエコカー、特に電気自動車の普及政策がその根底にある。パリ市では、公共交通手段の一つとしてより多くの人々に利用機会を提供すること、大気汚染など環境を改善すること、新たな雇用と住民サービスの導入により地域経済を活性化することを目的として Autolib' を導入するとしており、特に都市環境への配慮からの理由が大きい。事実、パリ市の交通政策である PDUIF や PDP には車の個人保有台数の削減を目的としたカーシェアリングの推進が明記されている。その文脈の中で、メトロ、トラムウェイ、郊外高速鉄道といった軌道系、高密度で高頻度サービスを提供するバスといった大量公共交通サービスに加え、2007 年にはこれらの公共交通機関を補完することを目的とした貸し自転車サービス Velib' によるサービスを開始した。シェアリングの主要技術でもある予



写真 2-1 シャンゼリゼ通り近くの Autolib'



写真 2-2 リヨン駅近くのステーションと登録所

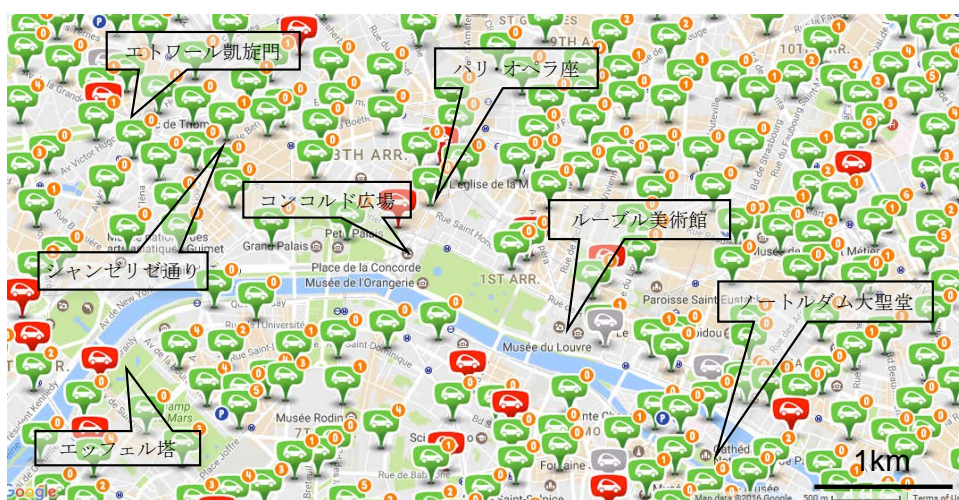


図 2-1 Autolib'のステーションの分布

約システムなどはすでにVelib'での運用実績があること、シェアリングに対する利便性・効率性の認識の共有もあったせい、Autolib'は当時のベルトラン・ドラノエ市長によって2008年に導入が決定され、2011年12月5日にサービスが開始された。化石燃料を使わず、占有のステーションを持ち、IT技術による予約システムを完備したAutolib'は、まさに究極の環境配慮型モビリティVerib'の電気自動車版と考えると良い。

(2) Autolib'のサービスと利用実態

パリ市の政策である電気自動車の積極的な導入施策は充電設備やバッテリーの普及にも繋がることから、ニース・コート・ダジュール都市圏ではビュログ社(VULOG)、パリではボロレ・グループといった電気自動車関連事業者が、地方自治体と共同で電気自動車利用のショーケースともなるカーシェアリング事業を開始した。Autolib'を運営するボロレ・グループは1822年にブルターニュ地方で家族経営の製紙会社として創業したが、1981年に就任したヴィンサン・ボロレ氏によって交通、

物流、エネルギー、メディアなどの部門を持つ国際的複合企業ボロレ・グループとなった。2012年の売上高は102億ユーロであった。

パリ市を含むイル・ド・フランス(le-de-France)州内46自治体から成るAutolib'混成事務組合(複数の普通地方公共団体や特別区が行政サービスの一部を共同で行うことを目的として設置する我が国の一部事務組合のような組織)で、2013年にオートリブ・メトロポール(Autolib' Metropole)に組織・名称を改編はボロレ・グループ(Le Groupe Bolloré)に対して12年間のAutolib'の事業委託契約を行い、サービスが開始された。2011年末のサービス開始当初、登録のための基本料金はプランによって1日が10€、1週間が15€、1年間は144€であり、使用料金は最初の30分がプランによって5~7€、その他に別途、保証金50€が必要であった。Autolib'ステーションは254箇所、車両としてはボロレ・グループがAutolib'専用開発したBluecar(歴代フェラーリのデザインで著名なPinfarinaデザインによる30kWh LMPリチウム・メタル・ポリマーバッテリーの4人乗り2ドアのEVであり、約4時間の充電で

表2-1 Autolib'のサービスと利用の実態

サービスの提供範囲	パリ+周辺都市圏 86 自治体から成るオートリブ・メトロポール
ステーション数	1,042 箇所
駐車スペース数	5,838 スペース
ステーション間平均距離	364m (パリ中心部では250m)
車両数	3,698 台
サービス加入者数	年間契約：99,600, 1回チケット：137,000
年間利用回数	5,193,312 回年
1日1台あたり平均利用回数	52 回/台・日
年間契約者の利用率	96.7%
女性の利用率	37%
郊外トリップ比率	46.9%

表2-2 料金プラン

プラン	契約期間	登録料	予約料	使用料 (30分)
1年間	1年	120€年	無料	6€
1回払い	1年	無料	1€	9€

表2-3 車両とステーションのパフォーマンス

Autolib'車両	
利用可能車両1台あたり加入者数:	27人
平日1日1台あたり利用回数:	47回
週末1日1台あたり利用回数:	58回
年間1台平均利用回数:	1,569回
年間サービス回数:	330日
年間メンテナンス回数:	35日
平均速度:	15.6km/h
1日の平均走行距離:	44.2km
1トリップあたりの平均走行距離:	9.3km
1日のレンタル時間:	3時間10分
Autolib'ステーション	
利用可能駐車スペース数:	1.73
平日出発数:	152 レンタル/ステーション
連休出発数:	183 レンタル/ステーション
年間出発数:	5,367 レンタル
年間サービス日数:	353日
年間メンテナンス日数:	12日
利用可能車両比率:	73%
利用可能駐車スペース比率:	71%
ステーションあたり平均駐車スペース数:	5.32 (4~7)
ステーション間の平均距離:	364m

250km走行可能。最高速度は130km/hで、GPS付きのカーナビを搭載。2015年後半より7:3でRenaultが生産開始) 250台を用いていた。当時でさえ、Autolib'充電ターミナルは各ステーションにある駐車スペースに1箇所ずつ、計1,094機、その他、登録しておけば電気自動車や電動バイクへの充電も可能なステーションが144箇所、合計で1,238機の充電端子が用意されていた(写真2-1, 写真2-2参照)。

Autolib'運営主体であるParis Metropoleが毎年発行している報告書2015³⁾による2015年12月現在のAutolib'のサービスと利用の実態を表2-1に示す。なお、個人利用者向け料金は当初から表2-2に示すように改定されている。サービスの提供範囲はパリ市とその周辺86自治体まで拡大

した。また、ステーション数は1,042箇所、駐車可能スペース数は5,838、車両数は3,698台となり、ステーション間の平均距離は364m(パリ中心部では250m)となっている。契約者は1年間が99,600人、1回チケットが137,000人となり、年間の利用回数は5,193,312回、1日1台当たりの平均利用回数は5.2回/台・日(平日4.7, 休日5.8)、年間契約者のうちの利用率は96.7%にもなっている。女性の利用率が37%もある。また、パリ市内ではなく市外でのトリップが46.9%を占めているのも特徴である。運転年齢人口1,000人当たりの利用者は全域で26.9人(2.69%)である。地域別ではパリ市の40.7人が最大であるが、オー・ド・セーヌで25.9人、ヴァル・ド・マヌルで13.6人、エソンヌで9.4人、セーヌ・サン・ドニで9.3人であり、郊外での利用率は46.9%にも上っている。

図2-1には2017年3月23日Autolib'のHPのステーションマップから検索できるノートルダム大聖堂からエトワール凱旋門までの周辺のステーションの分布と、そこに駐車している利用可能な車両の数を示す⁴⁾。このマップからもステーションの分布が非常に密であり、マップ上の北東部や南西部と比較して都心部では利用可能な車両が少なくなっていることなども分かる。

表2-3にはAutolib'車両とステーションのパフォーマンスの状況を示す。車両については、1台当たり平均速度は15.6km/h、1日の平均走行距離は44.2km、1トリップ当たりの平均走行距離は9.3km、1日の使用時間は3時間10分にもなっており、非常に頻繁に利用されていると言える。一方、ステーションについては、1ステーション当たりの平均利用回数は平日が15.2回、休日では18.3回、年間では5,367回もある。1ステーション当たり平均利用可能駐車スペース数は常時1.73台分の余裕が有り、駐車スペースの利用可能率(返却可能なスペースが1つでも空いている確率)は71%、車両の利用可能率(利用可能な車両が1台でもある確率)は73%となっており、利用需要と提供される車両、駐車スペースとのバランスに依存する借りる際の車両、返却する際の駐車スペースは、現在のところ、ほどほどに確保されていると言える。

その他、主要なステーションには登録手続きを行う端末が設置されている。その中でも77箇所に整備されているエスパス・オートリブは半径3mほどの半円形のお洒落な構造物であり、中に設置されているTV電話付きの専用登録端末により、オペレータのガイドに従って登録手続きが可能である。オペレータとの会話は仏語と英語から選択でき、運転免許証、身分証明書、クレジットカードをTV画面にかざすかスキャンしさえすれば、すぐに登録が完了する。2016年6月からはVerib'と同様メトロなどで利用

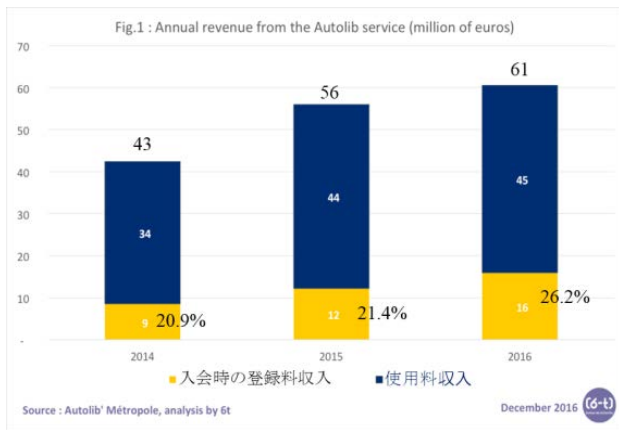


図2-2 Autolib'サービスの年間収入の推移
(注：本グラフは文献5)を独自に加工したものである)

可能な交通系スマートカードNavigo (ナヴィゴ) を解錠時のICカードとして利用可能となり、さらに利便性が向上している。

2.3 Autolib'の運営と財務状況

(1) 事業契約とステーション確保の方法

前述したように、Autolib'のサービスはオートリブ・メトロポールからボロレ・グループに事業委託がなされている。オートリブ・メトロポールは構成自治体のためにAutolib'事業を運営するために、Autolib' サービス事業を発注する責任を担っている。一方、事業を受託したボロレ・グループはAutolib'事業に必要なインフラを整備すること、同事業を維持・管理すること、自家用電気自動車の充電設備についても整備することを求められている。このとき、2011年の事業開始時の契約では、ボロレ・グループは事業の年間運営費用として1億€を投資する代わりに、利用者からの登録料や使用料は全てボロレ・グループの収入となること、運営赤字が出た場合は6,000万€まではボロレ・グループが負担するが、それ以上の赤字となった場合はオートリブ・メトロポールが補填することという契約になっている。ボロレ・グループは一定のリスクを負いながらも、経費削減や利用者獲得の努力により利益を増大させるインセンティブが働く。一方で、オートリブ・メトロポールは赤字補填の可能性はあるものの、ボロレ・グループの非効率な運営がなければリスクは全くない。

欧米の他のワンウェイ型カーシェアリングがフローフローティングであるのに対して、Autolib'の特徴はステーションベースであるため、駐車ステーションが必要になる。平均5.32台(4~7台)の駐車スペースとスペースごとに1機の充電ターミナルが整備された1,024ものステーションは、その大半が公道上に設置されている。

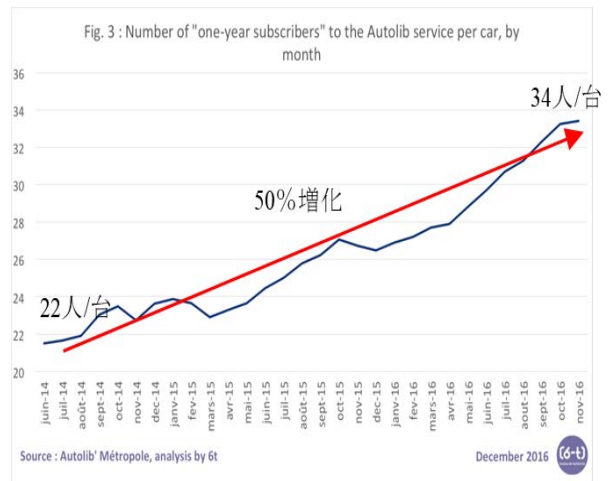


図2-3 1台当たり年間会員数の月別推移
(注：本グラフは文献5)を独自に加工したものである)

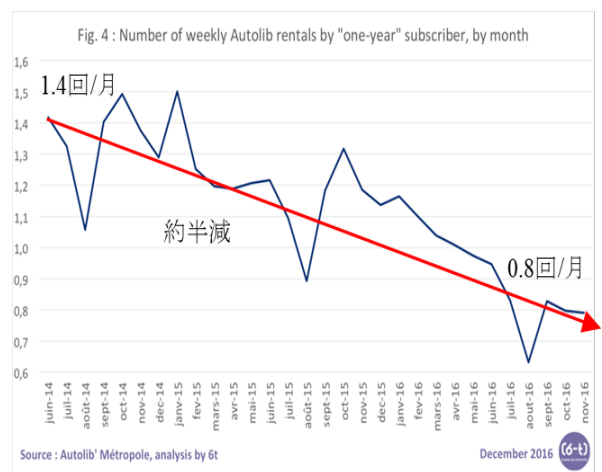


図2-4 年間会員の週平均利用回数の月別推移
(注：本グラフは文献5)を独自に加工したものである)

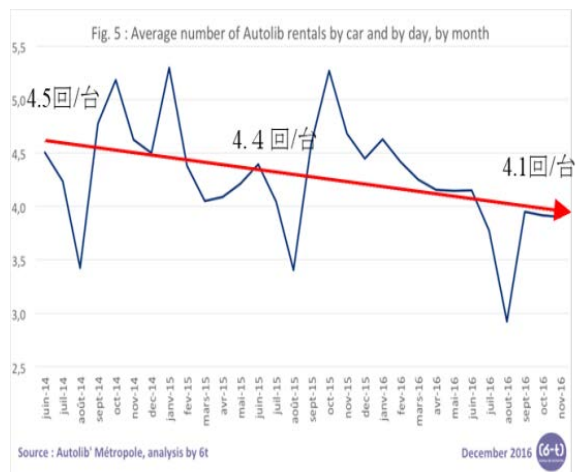


図2-5 1日1台当たりの平均利用回数の月別推移
(注：本グラフは文献5)を独自に加工したものである)

このステーションの整備費用約5万€(現在は6万€)は所在の自治体が支出するが、ステーション整備後はボロ

レ・グループから 1 駐車スペース当たり年間 750€を借用料として自治体が受け取ることになっている。750€スペース・年×平均 5.32 スペース/ステーション×12 年によって単純に算出した 12 年間の 1 ステーション当たりの駐車スペース賃料 47,880€と公道使用料から成る自治体のリターンは、ステーション整備費用に等しいかそれよりも大きくなる。オートリブ・メトロポールに参加する自治体が増加しているのも、適切にステーションを整備することによって市民のモビリティを向上させると同時に、一定のリターンを得られるためと考えられる。

(2) 財務状況

近年の Autolib'の収支について、Paris Metropole が毎年発行している報告書をもとに 6t が分析した結果⁴⁾を参照する。なお、図 2-2～図 2-5 は文献⁵⁾からの出典であり、それを独自に加工したものである。図 2-2 は 2014 年から 2016 年の 3 年間の Autolib'サービスからの収入の内訳を示す。収入は年会員に入会する際の年間登録料（年会員は 120€/年、1 回払い会員は無料）と Autolib'の使用料 6€（年会員は 6€/30 分、1 回払い会員は使用料 9€/30 分とともに予約料 1€が必要）から成る。総収入は経年的に増加し、2016 年には 6,100 万€となった。年間投資額は 1 億€であることから、2020 年に目指している黒字転換までにはまだ時間が掛かりそうである。また、総収入の前年比は 2015 年が 30%増であったものが、2016 年には 9%増と、その総収入の増加率は低減している。一方で、2014 年と 2015 年には全収入に占める入会時の登録料収入は 20.9%、21.4%であったが、2016 年にはその比率が 26.2%にまで増加し、逆に総収入に占める使用料収入の比率が毎年、数%ずつ減少している。

この理由を示したものが図 2-3～図 2-5 である。図 2-3 は 2014 年 6 月から 2016 年 11 までの 1 台当たりの年間会員数を月別に示したものである。2014 年 6 月当初には 1 台当たりの年間会員数は 22 人/台であったものが、車両数の増加が登録者の増加に追いつかず、2016 年 11 月には 34 人/台にまで増加した。つまり、車両 1 台当たりの潜在需要が増えたために、利用したいときに近くのステーションに車両が不在だったり、返却時にスペースが無かったりすることにより、利用可能性が低下した。図 2-4 は年間会員の 1 人当たりの週平均利用回数であるが、当初は 1.4 回/週であったものが 0.8 回/週まで低下している。その結果、車両 1 台当たりの稼働率に当たる 1 台当たりの利用回数も図 2-5 に示すように 4.5 回/台から 4.1 回/台まで減少し、その結果として使用収入の総収入に占める比率も低下したものと考えられる。

総収入は、登録者数とステーション数や車両数といったサービス規模との微妙なバランスのもとに得

られていることが分かる。収入増加のための対応策として 6t が提言するのは利用者負担の増額である。それが可能なのは、Autolib'利用者の平均世帯所得はパリの平均世帯所得よりも 27%も高いので、料金弾力性はそれほど大きくないであろうということと、Autolib'を 1km 利用した場合の費用はタクシーを同距離利用した場合の半分弱であるからと言っている。パリで収支バランスが取れないと、リヨンやボルドーなどフランス国内の幾つかの都市を始め、シンガポールやイタリアでボロレ・グループが展開する全てのカーシェアリングシステムのモデルが疑われることになる。政策的にも技術的にも成功したものの、経済的には成功し得なかったフランスのもう一つのイノベーションである超音速旅客機コンコルドの二の舞にならないよう、総収入を増加させる対応策を見つけて収支バランスを取れるようになることが望まれていた。

2.4 Autolib'サービスの終了

車輛の保管場所の確保に関する厳格な規制がある我が国でも導入可能なワンウェイ型カーシェアリングサービスのお手本であるフランスの Autolib'について、その充実した事業内容、驚くほど多くの利用者数、委託者・受託者双方の巧妙な契約、および開始時から 2016 年末までの運営と財務状況について紹介した。今号ではサービス導入の直前と 1 年後、および 2016 年に実施した Autolib'の利用意識に関する WEB 調査結果から、Autolib'サービスに対する評価が市民の中でも向上しており、パリでは非常に有用なモビリティになっていると結論づけるつもりであった。しかし、2018 年 6 月下旬に発表された“Autolib', a popular yet unprofitable electric car-sharing system in Paris, on Thursday hit the end of the road after the public body that oversees it decided to cancel the private operator's contract.”というニュースは著者らに衝撃を与えた。ワンウェイ型のカーシェアリングサービスを導入する際の最大の課題は駐車スペースをいかに確保するかである。

以下では、ステーションタイプの Autolib'を導入したパリだけでなく、フリーフローティングのサービスを導入しているロンドンなどの欧米の都市におけるワンウェイ型カーシェアリングの導入政策と駐車政策とのジレンマについて解説し、最後に駐車政策と事業採算性から見た我が国でのカーシェアリング事業の展開導入可能性について私見を述べることにする。

(1) Autolib'サービスのスタート

Autolib'事業は、パリ市とその周辺の 46 コミューンが

表 2-3 Autolib'の利用意識に関する 3 回の WEB 調査

	2011年調査	2013年調査	2016年調査
対象者	Autolib'サービス地域（イル・ド・フランス）内の 20～65 歳の免許保有者で、月 1 回以上車を運転するパリ市民	2011 年調査と同様の 758 名、内 558 名は 2011 年調査の協力者、残り 200 名は新規	2011 年、2013 年調査への協力者で、2013 年調査、2011 年調査への協力者、および新規の順に 750 名
サンプル数	558	408（内、225 は 2011 年調査の協力者）	776（内、2011 年と 2013 年調査への協力者 86、2013 年調査への協力者 32、2011 年調査への協力者 18、新規 64）
質問内容	①個人属性 ②日常の移動特性 ③自動車利用特性 ④Autolib'について ⑤Autolib'の利用意向 ⑥環境と交通に関する意識	①個人属性 ②Autolib'について ③Autolib'の評価 ④車保有・利用意識など ⑤EVの購入意向 ⑥環境と交通に関する意識	2013年調査と同一

設置した事務組合（その後、オートリブ・メトロポールからオートリブ・パリブ・メトロポールに移行）によって 2011 年 12 月 5 日に 250 ステーション、250 台の EV で、18 歳以上の運転免許保有者を対象に、事前登録制、24 時間 365 日利用可能なモビリティサービスとして開始された。その後、競争入札の結果、Bollore 社に 1,000 ステーション、車両 3,000 台の EV で運用、12 年の契約でこの事業を委託した。契約時、Bollore 社は 2020 年には黒字転換し、12 年間の契約終了時の 2023 年までに 56.30 百万€の純利益を想定していた。また、この契約では 60 百万€までの赤字は Bollore 社自身が負担し、超過分はオートリブ・メトロポールが負担するという、Public Service Obligation を伴う Public Service Delegation（PSD）契約であった。

(2) その後の経緯

初年度から想定したの利用回数や利用時間を下回ってはいったが、これまでにない革新的なモビリティとして Autolib'はオートリブ・メトロポールだけでなく、市民にも大いに期待されていたようである。そのため、多くの近隣自治体がオートリブ・メトロポールに加盟し、Autolib'サービスエリアの拡大を Bollore 社に要請し、最終的には 110 のコミューンなど（コミューンは 103 であるが、地方公施設法人 3 団体、2 つの県、1 つの州、およびグランパリメトロポールを合わせて 110 団体）がオートリブ・メトロポールのメンバーになった。Bollore 社はこの要請に応じて、2018 年 6 月時点で車両を約 4,000 台まで増車し、ステーションを 1,086、駐車スペースも 6,200 台分まで増設した。しかし、パリ市内やその近郊では利用頻度はかなり高かったが、新たに加入した自治体にあるステーションでの利用頻度回数はかなり低迷していた。

2014 年末、2015 年末に Bollore 社が収益予想を下方修正したが、赤字であることをオートリブ・メトロポールには公式には報告していなかったようである。2016 年末には、予想収益の急激な悪化のため、Bollore 社は契約満了時点までに累積赤字が 179.3 百万€に達する可能性を発表したものの、オートリブ・メトロポールからの赤字補填のための補助金を受けなくても済むよう、サービスの改善を行い、自己負担額の 60 百万€以下に赤字を抑制できると表明した。しかし、あまりの過大な負債のため、オートリブ・メトロポールは 2017 年 1 月に監査法人 Ernst & Young 社に監査を依頼した。その結果、Bollore 社の収益見込みが余りに楽観的すぎであり、Bollore 社の赤字の一部については改善の余地があることからため、両者で改善策の議論を行うことで合意した。監査法人が両者に提案した改善策は、オートリブ・メトロポール側に対しては、パリから離れたステーションをこれ以上設置しないことや赤字のステーションは閉鎖すること、利用料金を上げることなどであり、Bollore 側に対しては利用者からの不満が多い車両の手入れとサービスの質の向上とその周知などを求められた。しかし、Autolib' オートリブ・メトロポール側はこれらの改善策を実施したものの、Bollore 社は提案は不当としていずれも実施していない。このような監査報告に対する両者の意見の対立により、2017 年 3 月には、両者は和解協議に取り組むことに合意した。

(3) Autolib'利用者の意識

ここでは、2016 年 11 月にパリおよびその近郊に在住の住民を対象にして実施した Autolib'に対する利用者意識 WEB アンケート調査（2016 年調査と記す）の分析結果⁷⁾を紹介する。安藤ら^{8),9)}は、2011 年 12 月の Autolib'の運用開始直前の 2011 年 11 月と運用開始から 1 年を経過した 2013 年 1 月にほぼ同様の調査（それぞれ 2011 年、2013 年調査と記す）を実施している。以下では主要な質問事項について、3 時点で比較した結果を紹介する。上記 3 回の WEB 調査の概要を表 2-3 に示す。

a) Autolib'の認知度と利用経験

図 2-6 は Autolib'の認知度、図 2-7 は Autolib'の利用経験についての 3 時点の比較結果である。認知度は経年的に増加しており、運用開始前の 2011 年には 7.2%であった「サービス内容や料金を含めよく知っている」の比率が 2016 年には 18.0%まで増加している。利用経験についても、2011 年当初は 3.6%に過ぎなかったものが、2013 年には 11.4%、2016 年には 19.3%まで増加しており、市民への普及はかなり進んできた。

図 2-8 は Autolib'の利用目的である。2016、2013 年とも最多は「娯楽やレジャー」であり、利用者の

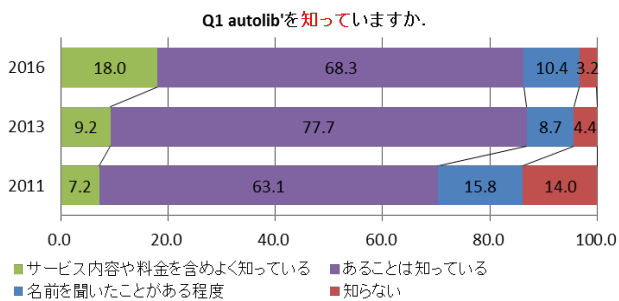


図 2-6 Autolib'の認知度

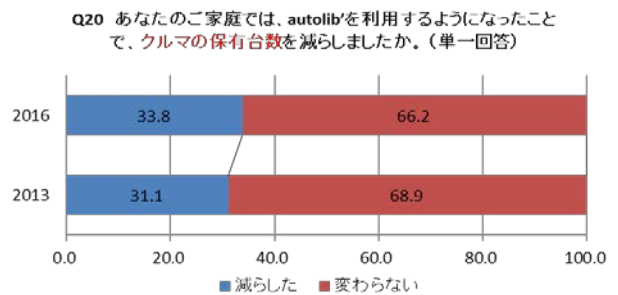


図 2-9 Autolib'利用による自動車保有台数の変化

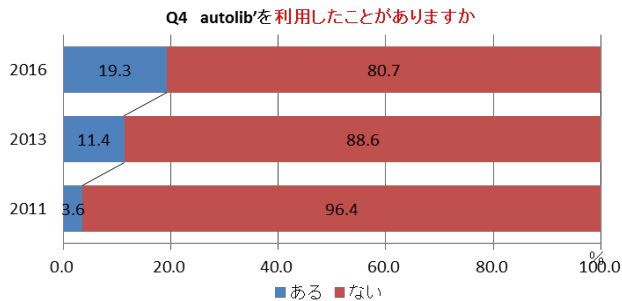


図 2-7 Autolib'の利用経験

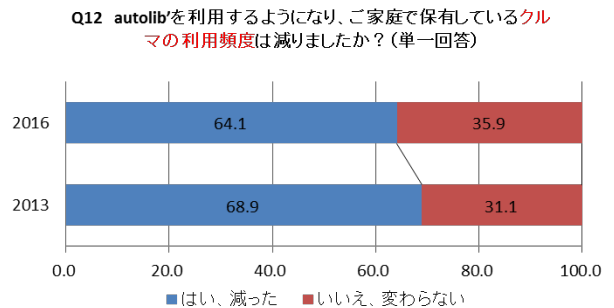


図 2-10 Autolib'利用による自動車の利用頻度の変化

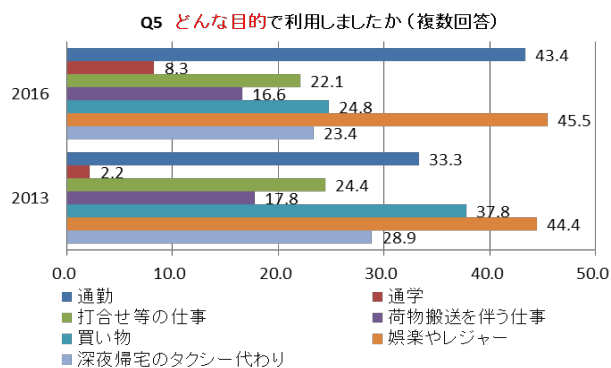


図 2-8 Autolib'の利用目的

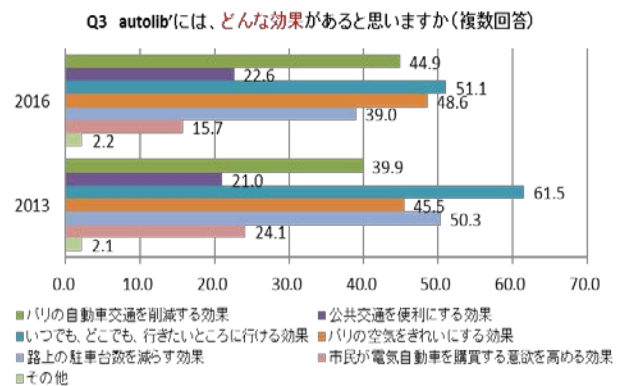


図 2-11 Autolib'の効果

4 割以上となっている。2013 年には「買い物」や「通勤」、「深夜帰宅のタクシー代わり」が上位 2 位～4 位であったが、「買い物」は 37.8%から 24.8%まで減っており、Autolib'の利用目的が「娯楽やレジャー」と「通勤」に特化してきている。

b) Autolib'利用による車の利用と保有の変化

図 2-9 は Autolib'利用後の自動車保有台数の変化を示す。Autolib'の利用により、自動車の保有台数を減らしたと回答したのは兩年とも 3 割を超え、2016 年には 33.8%にもなった。図 2-10 は自動車の利用頻度の変化を示している。Autolib'利用後、自動車の利用頻度が減ったと回答した比率は 2013 年の 68.9%よりはやや減少したものの、2016 年も 64.1%の Autolib'利用者が車の利用頻度が減ったと回答した。一方で、公共交通機関については、Autolib'利用後に利用頻度が増加した比率が 2013 年に 33.3%、2016 年には 37.9%まで増加した。Autolib'の

Q29 今後、autolib'を利用しようと思いますか？(単一回答)

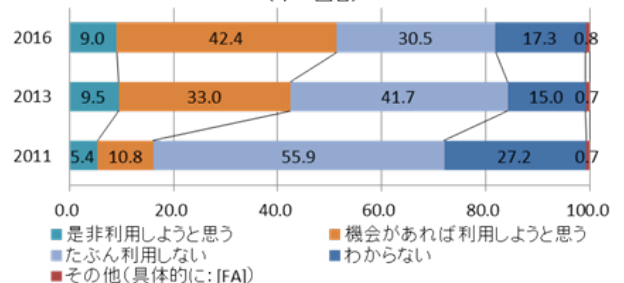


図 2-12 今後の Autolib'の利用意向

利用は自動車の保有と利用を減少させると共に公共交通機関の利用を増加させている。

c) Autolib'の効果と今後の利用意向

Autolib' の効果を図2-11に示す。2013年には「いつでも、どこでも、行きたいところに行ける効果」といった利便性向上と「路上の駐車台数を減らす効果」という路上駐車削減効果に対する期待が大きかったが、2016年に

なると上記の2つの効果に加えて、「パリの自動車交通を削減する効果」や「パリの空気をきれいにする効果」といった自動車交通削減や環境改善という社会的効果を期待するようになってきている。

図 2-12 には今後の Autolib' の利用意向を示す。「是非利用しようと思う」、「機会があれば利用しようと思う」という Autolib' に対して積極的な利用意向を持つ比率は、2011 年には 16.2% しかなかったが、2013 年には 42.5% と増加し、2016 年には 51.4% にまで増加している。

(4) 和解協議から契約解除

2017年9月には、それぞれが指定した独立専門家による和解協議が開始され、半年後の2018年3月には1)オートリブ・メトロポールは過去の累積赤字のうち、88百万€を負担する、2)両者は協力してAutolib'の再建に取り組む、3)Bollore社は事業の改善を行い、将来起こりうる負債に責任を持つという和解案を提示した。これに対して、Bollore社は2018年5月25日に和解協議を終了し、オートリブ・メトロポールに対して年間46百万ユーロ、契約満了までに46百万€@ (2023-2018)+α=233百万€の補填を要求し、合意されなければ契約解除することと発表した。一方、オートリブ・メトロポールは、契約解除に必要な費用は数千万€と見込み、Bollore社からの要求額より安いと判断し、2018年6月21日には構成メンバーによる投票でBollore社との契約解除を決定した。

これに対して、Bollore社は2018年9月26日に契約不履行の違約金235百万€をオートリブ・メトロポールに請求してきた。合意が得られない場合は契約解除に関して裁判での係争もあり得るようである。また、契約解除を強く主張したパリ市に対して、Autolib'サービスの存続を求めるコミュニケーションもあり、パリ市との間で訴訟が起こる可能性も指摘されており、非常に複雑な問題になっている。

2.5 契約解除の要因と今後の展望

契約解除にまで至った原因を、需給バランスの調整失敗、巧妙と思われた契約内容の解釈の齟齬、および都市内の移動モビリティサービスにおけるカーシェアリングの位置づけといった面から考察する。

(1) 利用需要と経費の調整の失敗

2014年6月には53,365人であった年間登録者は順調に増加し、潜在的な需要は増加したかに見えたが、2016年11月にピークの109,450人に達した後はやや減少し、2018年1月には102,479人となった。同様に車両1台あたりの年間登録者数は2016年9

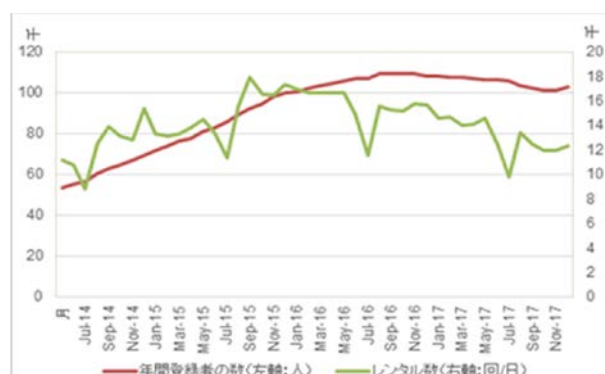


図2-13 年会員数と利用回数の推移
(Autolib'年間報告書2017オープンデータより著者作成)

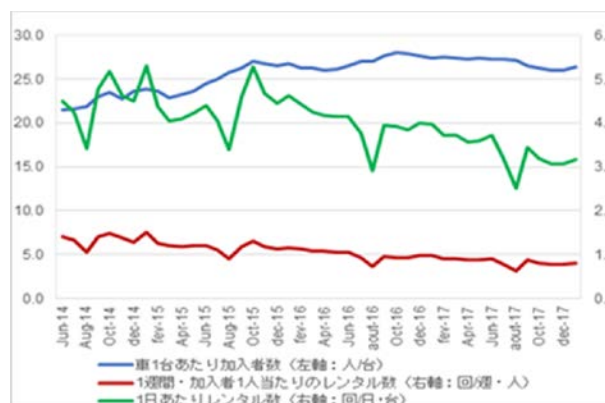


図2-14 各種パフォーマンス指標の推移
(Autolib'年間報告書2017オープンデータより著者作成)

月にピークに達した後もそれほど減少しているわけではない。しかし、2014年6月以降、増減を繰り返しながらも順調に増加してきたレンタル数は、2015年10月に最大17,932回/日となった後は減少し続け、2018年1月には12,327回/日まで減少している(図2-13参照)。そのため、当初は4.5回/日・台あった1日1台あたりのレンタル数は、増車の影響もあって2016年には4.1回/日に、2018年1月には3.2回/日・台まで大きく減少している。また、年間登録者1人の週あたりの平均レンタル数も1.4回/週・人から0.8回/週・人まで一貫して減少してきている(図2-14参照)。このように、2016年秋以降も登録者数には大きな減少はなかったものの、1日当たりのレンタル回数は減少し、特に利用車両数とサービス地域を大幅に拡大した2016年4月以降、車両1台当たりのレンタル数が急激に減少した。

ステーション別の1日あたりのレンタル回数をAutolib'サービスが提供されている地域別に見ると、パリ市内、及びその近郊では12回/日以上ステーションが大半であり、20回/日以上利用があるステーションもかなり見られるが、周辺部の自治体では4回/日以下のステーションがかなりの箇所で見ら

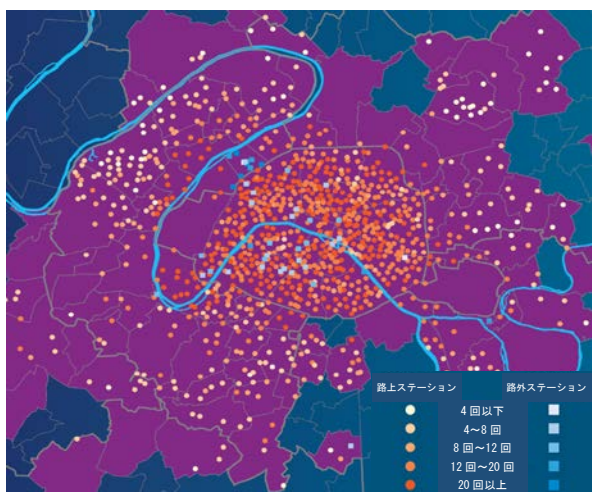


図 2-15 ステーション別日当たりレンタル回数
(Autolib' Metropole Rapport d'activite 2016 より転写し、著者が加工)

れる (図 2-15 参照)

これらによって、総収入は 2016 年の 55 百万€から 2017 年には 52 百万€ (契約の種類による利用回数の平均値の算出方法が 2016 年以降、変更されたため、過去のデータも修正されているため、前号とは値が異なる) に減少している。この間、新規登録料収入は 23% と高水準のまま推移していることから、総収入に占める料金収入の比率が増加しないまま、総収入が減少する収入構造になった (図 2-16 参照)。

(2) 契約に関する相互認識の齟齬

フランスでは、公共交通に関する権限は我が国の地方自治体に当たるコミューンが有する。多くの場合、単一のコミューンではなく、コミューン共同体などの広域行政組織が交通整備局 (AOM: Autorite organisatrice de la mobilite) としてその責任を持つ。オートリブ・メトロポールはその範囲内のコミューンなどがカーシェアリングという事業を実施するための組織であり、AOM というわけではない。オートリブ・メトロポールは自らカーシェアリングサービスを運営することはなく、民間事業者による事業の運営を担当させる。その際、Public Service Delegation (PSD) という契約 (交通分野の場合は補助金の支払いを規定する契約) を結ぶ。この契約には、管理人契約、業務委託、固定料金契約、固定拠出契約、経営委託、事業特許がある。

オートリブ・メトロポールが、Bollore 社と何故、そのような契約としたかは不明であるが、ステーションと充電装置といった施設整備についてのリスクは自治体が受け持つが、総費用から総収入を引いた純費用のうち、60 百万€までは Bollore 社が、それ以

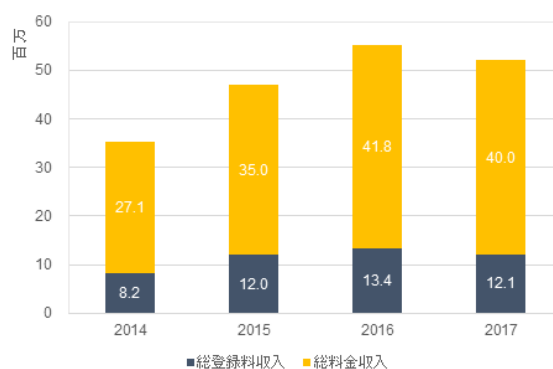


図 2-16 Autolib'の年間収入の構成と経年推移
(Autolib'年間報告書 2017 オープンデータより著者作成)

上の費用リスクはオートリブ・メトロポールが受け持つという固定拠出契約と経営委託の中間的な契約になっている。契約時には、Bollore 社は、過小な費用見積りか過大な需要推計、またはそれら両者により、期間内に 56.30 百万€の純利益が出ると楽観的に想定していたようである。一方、オートリブ・メトロポールは Bollore 社の提案を見て期間内に 60 百万€を超えるような純費用は出ない、つまり自ら補填すべき補助が必要になるとは考えてもいなかったと思われる。

結果として Bollore 社から 233 百万€の純費用の補填を求められることになったが、この額があまりに大きいことや未償却資産の買い取りなどの契約解除の費用はたかだか数千万€程度と見込んだこと、契約時の費用見積りが甘かったことや財務状況についての正式な報告がなかったことなど、赤字の原因は Bollore 社にあるとして、契約解除を決定した。特に最大の自治体であるパリ市が強く契約解除を主張した。

(3) 新たなモビリティとその役割

パリ市を中心として、Uber や leCab などの運転手付きのタクシー配車サービス VTC など、形態は異なるが Autolib'と同じ自動車による移動サービスが普及してきている。また Cityscoot (電動スクーター) や LimeBike (電動キックボード) など、自動車以外のモードのシェアリングサービスも普及してきた。Cityscoot に至っては 2014 年 3 月にサービスを開始し、現在では 1,500 台でフリーフローティング型のサービスを行っている。来年からは台数を 3,000 台に増車し、パリ郊外でも利用可能にする計画である。

一方で、契約者の 41% もが不満を表明していた Autolib'車両の不整備や不潔さは、監査時に Bollore 社に対して強く指摘されていたにもかかわらず、改善されないままである。

Autolib'は、利便性の高いワンウェイ型とはいえ、自動車や公共交通機関の代替モードとしての役割から脱皮できず、モビリティをサービスととらえ、テクノロジーやデータを活用して移動の利便性や快適性を追求する MaaS (Mobility as a Service), つまりユーザーに対してより魅力のある交通の仕組みと使い方を提供するモビリティの一翼を担うことへの転換を怠ってきたといえよう。事実、2018年6月16日付け *le Parisien* のユーザーインタビュー記事によると、Autolib'常連ユーザーからは不満や失望は聞かれるものの、Autolib'のサービス終了に対する市民の反応は思いの外、冷静であり、サービス終了後には必ず新しいシェアリングサービスの参入があるはずという意見も出ている。

(4) 今後のシェアリングサービス

いずれもステーションベースのラウンドトリップ型であるが、パリ市内では今でも 600 台以上 (Ubeeqo 310 台, Communauto 130 台, Zipcar 105 台, Renault Mobility 50 台, Zencar3 30 台) のシェアリングカーが利用可能である。パリ市は Autolib'のために整備した 3,244 の駐車スペースを 6 時間までは無料で利用可能な自家用 EV, またはカーシェアリング用 EV 向けの充電スペースとして利用することも計画しており、2019 年初頭から運用を開始する予定である。

これらのサービスの他、フランス国内の自動車メーカーがシェアリングサービスに新規参入の動きがある。2018年7月4日にパリ市とルノーが共同記者会見を開き、1984年事業開始の近距離レンタカーサービスの Ada (半日~30日までのレンタルが可能で、現在、パリ市で 300 台のガソリン車によるサービスを展開している近距離レンタカーサービスの最大手) と提携して、フル EV を用いた 3 種の新サービスを 2018 年 9 月から提供することを発表した。主要なサービスは Moov'in Paris by Renault である。これは、パリ市内、および近郊向けの距離無制限で最大 4 時間まで利用が可能なワンウェイ型フリーフローティング EV シェアリングで、Autolib'の後継サービスになる。当初は 120 台の EV を 11 区と 12 区、その近隣県に投入して事業を開始し、2019 年までに 2,000 台まで拡大する予定である。その他、長距離向けラウンドトリップ型ステーションベースの EV レンタルサービスの Renault Mobility や、EV を用いた Taxi 配車サービスの導入も検討されている。また、2018 年 7 月 3 日には、PSA が 2018 年最終四半期から Free2Move を使ったフリーフローティングの EV レンタサービスをパリ市でも開始すると発表した。

Free2Move は、予約まで可能な配車アプリで、近くで利用可能な複数の Autopartge サービス (管理者である団体や個人が利用可能な車を公共の場に配置し、契約者がそれをシェアする B2C, P2P サービス) を検索でき、これらを比較して最適なサービスを選択することができる。そのために、まずはフル EV を 500 台、最終的には 1,000 台程度を配置すると発表した。これはまさに MaaS の概念に近い。

その他、タクシーではなく一般のドライバーが自分のために行う車での移動の経路の全て、または一部を、無償で、1 人または複数人の他の人とシェアする Covoiturage というライドシェアに対して、その仲介業者や利用者に補助金を支給するなどの支援に取り組む自治体も増えつつある。また、広く知られている Velib' (ステーション型) や Obike, Ofo, Mobike (フリーフローティング) などのバイクシェアリング、前述したシェアリングスクーターの Cityscoot や coup, 2018 年 6 月 22 日にサービスを開始した LimeBike や Bird (2018 年 8 月~), Bolt (2018 年 9 月~) といったキックボードシェアリングサービスが移動目的や距離などに応じて自在に利用できる環境になっている。これらは全てフリーフローティングである。

2.6 我が国へのカーシェアリングの導入可能性

(1) カーシェアリングサービスと駐車政策

Autolib'事業の成否は Bolllore 社が提供する車両数やそれに伴って整備すべきステーションの数と配置に依存した。なぜなら、Bolllore 社は Autolib'事業に対して 1 億€の投資を行うが、登録料や利用料金収入はそのまま Bolllore 社の収入となる。また、Bolllore 社は 1 駐車スペース当たり年間 750€の使用料をオートリブ・メトロポールに支払うものの、戦略に応じて新たに整備するステーションには自治体から 6 万€ (当初は 5 万€) の補助を受けるという契約となっていた。従って、需要獲得や経費削減の努力、適切なサービス規模の設定を行うことによって、収益を上げることが可能であった。しかし、これに失敗した。

同じワンウェイ型でも、Car2go や Zipcar, DriveNow のように欧州や北米で主流のフリーフローティングとは異なり、Autolib'は専用の駐車スペースを持つステーションタイプである。勿論、駐車スペースの使用料はその道路管理自治体に支払うものの、駐車禁止エリアを除いて自家用車を道路上に駐車可能な欧米の都市では、自家用車の増加に伴っ

て駐車場として配分できる道路空間が減少するなど、公共空間での駐車スペースの確保が大きな問題となっている。パリ市では Autolib' サービスを拡大して専用のステーションを増加させることにより、自家用車に配分する駐車スペースを削減したり、自家用車で行って移動を Autolib' で代替させたりすることによって、自家用車の利用と保有の削減を目指している。

路上の駐車スペースの確保は、ロンドンなどフリーフローティングのカーシェアリングサービスを導入している都市でも同様の課題である。自家用車とカーシェアリングへの駐車スペースの配分を行う道路管理者は、自動車保有者への駐車スペース確保と自家用車台数の削減という、相反する目的を折り合わせるため、カーシェアリングをどの程度普及させるかに腐心している。高層住宅の立地が急速に進行しているロンドンの周辺部では居住者の駐車スペースさえ、その確保が困難になってきている。ロンドンでは主要な幹線道路以外はボロー (borough) が管理しているため、ボローごとに自家用車保有者とカーシェアリングサービスへの駐車スペースの割り当て戦略が異なる。そのために、カーシェアリングサービスの導入に積極的なボローがあるかと思えば、極めて消極的なボローもあり、33のボローから成るロンドン全域で統一的なシェアリングサービスを提供することはできない。事実、Carplus (Bikeplus と共に、Car Clubs や bike sharing, 2+ car sharing などのシェアードモビリティの社会的、および環境的便益を最大限にするために活動する独立した環境・輸送慈善団体) の年次報告¹⁰⁾によると、2015年1月現在、ロンドン市内にはカーシェアリング用の路上駐車スペース (bay) はパリ都市圏の Autolib' のその約 1/3 の計 2,019 ある。そのうち、Camden では最多の 252、続いて Westminster が 188、Kensington and Chelsea が 173、Islington が 167、Lambeth が 164、Hackney が 157 の路上駐車スペースが提供されているが、100以上の駐車スペースを持つボローは9しかない。逆に、Barnet, Bexley, City of London, Harrow, Havering, Hillingdon には路上駐車スペースが全く存在せず、50以下しかないボローが上記6ボローを含めて19ボローもあるといった具合である。

(2) 駐車政策から見た我が国での事業可能性

カーシェアリングが市民に定着している欧米でさえ、路上駐車スペースをカーシェアリング事業と住民にどう配分するかに苦勞をしている中、我が国でカーシェアリング事業は成立するのであろうか。日

本には自動車の保管場所に対して「自動車の保管場所の確保等に関する法律」、いわゆる車庫法がある。この第3条には「自動車の保有者は、道路上の場所以外の場所において、当該自動車の保管場所を確保しなければならない。」とあることから、カーシェアリング事業を開始したとしても、シェアリングに供する車両は道路上の場所以外の場所、通常は「当該車両の使用の本拠の位置との間の距離が2キロメートルを超えない」（自動車の保管場所の確保等に関する法律施行令）路外に固有の保管場所を確保しておく必要がある。

レンタカーは、各車両は道路運送車両法でいう「使用の本拠の位置」から2Kmを超えない位置に「保管場所（車庫法）」を持った上で、「配置事務所（道路運送法）」を使用の本拠の位置にして事業を行うものであった。そのため、たとえ貸渡しと返却の場所が異なっても、事業者が保管場所（使用の本拠位置でもあり、配置事務所でもある場所）に短期間のうちに戻しさえすれば、ワンウェイ方式の業態が認められていた。しかし、カーシェアリングでは、配置事務所は無人であり、路外駐車場はレンタカーのそれよりもはるかに多くなるため、ワンウェイ型になると返却先から使用の本拠の位置である保管場所に戻すのは容易ではない。しかし、2014年3月に国土交通省が出した通達「いわゆるワンウェイ方式のレンタカー型カーシェアリングの実施に係わる取り扱いについて」で、IT等の活用により車両の貸渡状況や整備状況等の車両の情報を的確に把握することが可能と認められる場合には、無人の路外駐車場を配置事務所とすることができると共に、配置事務所を「使用の本拠の位置」とすることができると、つまり路外駐車場を保管場所として乗り捨てても良いことが認められた。

これを契機に、通達の運用開始の2014年9月には「smaco」、2015年4月には「TOYOTA i-ROAD」、 「チョイモビヨコハマ」がサービスを開始した。しかし、これらは社会実験として試行されただけで、2年以内にすべて終了してしまった。その理由は、貸渡し配置事務所であるシェアリング車両の路外駐車スペースが満車の場合は返却するスペースがなく、サービス利用者が路上にシェアリング車両を放置する可能性があるため、事業化の際はシェアリング車両1台に対して複数の専用駐車スペースを用意するようという確約を求められ、事業者は収支がとれないと判断したためである。

現在、事業として展開されているワンウェイ型カーシェアリングサービスは、千代田区以南の東京湾岸の8つの区でパーク24とトヨタ自動車とが共同で

行っているTimes Car PLUS×Ha:moなど、ごくわずかである。これらは路外に専用のステーションを用意し、車両には原動機付き自転車扱いの1人乗り（一部2人乗り）の超小型電動自動車（MEV）を使用している。上記のTimes Car PLUS×Ha:moは、駐車場事業社のTimesが持つ駐車スペースの一部をモビリティ事業社のTimes car PLUSに提供しているもので、自前で駐車場事業を行っているパーク24だからできる事業であり、他社にはなかなか真似できない。

車両は原動機付き自転車扱いのため保管場所は必要ないが、1人乗りであり、荷物の収納容量も小さく、使用目的は限定される。世界で最も普及しているCar2goは当初は車両に2人乗りのSmart for twoを使ってきたが、乗車人員、積載貨物共に容量不足という不人気のため、最近では4ドアタイプの車両が投入されている。

このように、我が国の車両の保管場所に関する法律、およびその運用のもとでは、路外に駐車スペースを準備することができる事業者しか、自動車を用いたカーシェアリングサービスの提供は容易でない。保管場所を必要としない原動機付き自転車によるサービスも利用目的に制約があり、需要の飛躍的拡大は容易でないと思われる。我が国にカーシェアリングサービスを導入し、広く利用してもらうには解決すべき課題が多い。

2.7 おわりに

日本でのカーシェアリング事業のひな形とも言えるAutolib'について、そのサービスと利用の実態、事業契約方式、運営・財務状況などについて紹介してきた。2016年初頭までの利用状況や3回のAutolib'利用意識調査の結果からは、まさか2018年7月にサービスを終了することになるとは思いもよらなかった。しかし、需給調整の失敗や契約方法の曖昧さ、サービスとしてのモビリティの役割の急速な変化への適応の遅さなどについて分析するうちに、パリにおいて結末を迎えた理由もおおよそ理解できるようになった。パリにおける今後の新たなモビリティの展開に期待しよう。

Autolib'は我が国に唯一導入可能なワンウェイ型ステーションベースのカーシェアリングサービスのお手本であった。しかし、契約期間を半分も残してサービスは休止せざるを得ない状況となった。そうになった経緯と原因は我が国へのカーシェアリング事業の導入に当たって、貴重な教訓となると言えよう。なお、本章は文献11)と12)を統合して再編集したも

のであることを記す。

参考文献

- 1) FRANCE 24 with AFP and REUTERS, <http://www.france24.com/en/20180621-france-paris-end-road-car-sharing-system-autolib>, Latest update :2018-06-21, 2018/06/30 取得
- 2) クレアパリ：続・フランスの環境配慮型交通政策〜パリ市等による Autolib'をはじめとした EV カーシェアリングの取組み〜, Clair Report, No.408, 2014.
- 3) Autolib' Metropole: 2015 en chiffres, 2016.
- 4) Autolib' Station map: <https://www.autolib.eu/en/station-map>, 2017/03/23取得.
- 5) Nicolas Louvet, Gautier Jacquemain : Autolib' is still not profitable and perhaps it never will be, 6-t report, 20 Jan, 2017. (Autolib' n'est toujours pas rentable et ne le sera peut-être jamais, Version mise à jour du 20 janvier 2017) <https://6-t.co/en/autolib-not-profitable/>,
- 6) Pris.fr. , <https://www.paris.fr/actualites/autolib-le-point-sur-la-situation-5880>, Latest update :2018-08-30, 2018/09/25 取得
- 7) 溝上章志 他：ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と道路空間の新たな利活用方策についての研究開発、道路政策の質の向上に資する技術研究開発2年目報告書, pp.52-70, 2018.
- 8) 安藤 章, 山本俊行, 森川高行：EU諸国のEVカーシェアリングの新動向と市民の利用意向に関する分析, 都市計画論文集, Vol. 47, No. 3, pp. 757-762, 2012. 1
- 9) 安藤 章, 山本俊行, 森川高行：路上乗り捨て型EVカーシェアリングが市民意識と交通行動に及ぼす影響分析 -パリ市・autolib'を例として-, 都市計画論文集, Vol. 48, No. 3, pp. 465-470, 2013.
- 10) A Car Club Strategy for London - Growing car clubs to support London's transport future -, Car Clubs Report, 2015.
- 11) 溝上章志, 森 俊勝：Autolib' 事業から見た我が国へのカーシェアリングの導入可能性, 交通工学, Vol.53, No.4, pp.54-60, 2018.
- 12) 溝上章志, 森 俊勝：Autolib' 事業の契約解除とカーシェアリングサービスの行方, 交通工学, Vol.54, No.1, pp.43-51, 2019.

第3章 利便性と収益性から見た我が国でのカーシェアリングサービスのフィージビリティ

3.1 はじめに

(1) 内外におけるシェアリングサービスの動向

a) 国内のシェアリングサービス

国内におけるCSサービスは、1999年に東京・大阪・神奈川の3府県で社会実験として実施されたのが始まりである。その後も社会実験は続けられ、2002年4月にオリックス自動車のオリックスカーシェアが国内初のカーシェアリングを事業として開始した。様々な事業者がサービス開始や中止を繰り返し、2018年3月時点で31の事業が展開されている。表3-1に国内における主要なCS事業者を示す。チョイモビ・ヨコハマやHamo Rideでは、MV (Micro Vehicle) やMEV (Micro Electric Vehicle) などの小型自動車や小型電気自動車を利用しており、環境負荷削減の取り組みとしても注目されている。Hamoは沖縄県内でMEVを用いた観光地の周遊と途中の寄り道に焦点をあてたサービスを提供している。レンタカーと比較して小回りが利き、運転がし易いといったメリットから、旅行中の観光や移動のための交通モードとしても利用されているが、これも今だ試験的な運用である。

一方、タイムズカープラスは、ステーション数11.4千ヶ所、車両台数23.8千台、会員数113万人（2019年1月末現在）により、47都道府県でCSサービスを事業として展開している。しかし、このサービスはラウンドトリップ型である。これに対して、トヨタ自動車を母体して愛知県豊田市で試験的に運営されているHamo Rideと江東区や千代田区など東京湾岸の8つの区で合計73ヶ所のステーションと約100台の一人乗りMEVで運営しているTimes Car PLUS+Hamoはワンウェイ型である。しかし、いずれもSB-CSである。

上記で述べたCSサービスは、事業者側が一般消費者側にサービスを提供するB2C (Business to Consumer) である。近年、DeNAが母体となって運営しているAnycaやシェアのりのように、個人間で車両を共同利用するC2C

(Consumer to Consumer) の新たなCSサービスも登場しており、シェアリングエコノミーが普及する中、C2Cサービスは今後はさらに利用者と車両提供者も増加すると考えられる。

b) 海外のシェアリングサービス

Shaheenら²⁾は、2016年10月時点で、6大陸、世界46か国、約2,000都市でCSサービスが運営されていると報告している。2016年におけるCSサービスの会員数約1,500万人、車両台数約15.7万台であり、2012年時点と比較すると、会員数は約7倍、車両台数は約4倍と、わずか4年間に爆発的に市場が拡大している。今後も右肩上がり市場が広がっていくことが予想されている。

サービスタイプ別の会員数については、ラウンドトリップ型が約1,000万人、ワンウェイ型が約400万人強となっており、ラウンドトリップ型の方が市場規模は大きい。地域別にみると、アジアではラウンドトリップ型の会員数が800万人弱であり、世界の市場の大半を占めている。北米では両者の市場規模に差はほとんどないが、欧州ではラウンドトリップ型よりもワンウェイ型の市場規模が大きい。アジアはCS市場に占める割合は高く、人口規模や高度情報化社会の進展といったポテンシャルを考慮すると、ワンウェイ型CSの市場規模は現在はそれほど大きくないものの、将来的にはCSサービスの市場に大きな影響を与えることが予想される。

次に海外における主要事業者、主要国のサービスについて概説する。CSサービス先進国であるドイツにおいては、2018年1月時点で大小合わせて165の事業者が存在し、677の市町村で運営されている。表3-2にドイツにおけるCSサービスの主要事業者の一覧を示す。CSサービスへの登録者数は200万人を超え、SB-CSが約55万人、FF-CSは約160万人、車両数はSB-CSが約10千台、FF-CS型が約8千台、合計約18千台となっている。このうち、SB-CSサービスはStadtmobilやFlinksterのようなCSサービス協会やドイツ国鉄が提供しており、ベルリンやミュンヘン、

表 3-1 国内における主要なカーシェアリング事業

タイプ	サービス名	実施地域	ステーション数	車両台数	会員数
ラウンド トリップ型	タイムズカープラス	47都道府県	9,091	17,492	783,282
	オリックスカーシェア	14都道府県	1,531	2,600	170,050
	カレコ・カーシェアリングクラブ	8都道府県	1,159	1,761	57,058
	アースカー	17都道府県	257	257	24,584
	チョイモビ・ヨコハマ	神奈川県横浜市	14	30	1,000
	名鉄協商カーシェア cariteco	東海4県	304	386	20,150
ワンウェイ型	Hamo RIDE	愛知県豊田市	51	103	3,653

ハンブルグ、デュッセルドルフといった都市だけでなく、人口規模の小さい地方都市においても事業を行っているのが特徴である。しかし、これらはすべてラウンドトリップ型SB-CSサービスである。両事業者はワンウェイ型も運営しているが、ベルリンなどの一部の都市に限られる。

一方、ワンウェイ型FF-CSの事業主体はDaimlerやBMWといった世界有数の自動車メーカーである。ドイツをはじめ、主に欧米で運営されているCar2goは世界最大のCSサービスであり、ワンウェイ型CSの中でも道路路側帯にも駐車可能なFF-CSサービスを提供している。Car2goの母体はDaimler AGであり、2008年10月にドイツのウルムでサービスを開始した。その後、欧州や北米の都市を中心に事業を展開、近年は採算が取れずサービスを中止した都市もあるものの、2019年1月末時点で9カ国、25都市で事業を展開している。2016年4月には欧州や北米以外では最初のサービスを中国の重慶で開始した。都市によって異なるが、車両台数は数百台規模、ドイツのベルリンとカナダのバンクーバーのように1,000台を超える規模で事業を行っている都市もある。

種々の形態のCSサービスのうち、利用者にとってはワンウェイ型FF-CSが最も利便性が高い。このサービスを導入するためには、サービス提供地域内でCS車両を乗り捨てるために十分な幅の道路空間が必要となる。しかし、我が国では自動車の保管場所に関する制約や駐車のための道路空間の確保が容易でないため、導入は困難な状況である。一方で、SB-CSについては、車両を返却する専用スペースを十分な数だけ用意さえすれば、現在の制度でもワンウェイ型のメリットを十分に生かすことが可能である。しかし、ステーションの用地確保や建設、維持・管理のための費用が大きいいため、実際にワンウェイ型SB-CSサービスを提供しているのは、これらを系列会社で準備できるTimes Car PLUS+Hamoだけである。

(2) 既存研究と本研究の位置づけ

CSサービスが普及している欧州や北米などでは、利

用需要や普及過程の分析など、運用中のCSサービスの運行データを用いた実証研究が盛んに行われている。本研究の主題であるサービスの規模や範囲と事業可能性についても、サービスの適切な規模、偏在した車両の再配置、ステーションの最適配置などに関する研究が行われており、その分析手法としては、数理モデルとシミュレーションモデルが用いられている。

数理モデルによる方法としては、Kai³⁾らはSB-CSを対象に利益を最大化する最適なステーション配置とその容量を求めるMINLPモデルの定式化と解法を提案した。その結果、市場のシェアを80%の時に利益が最大になること、利用料金がCSサービスのパフォーマンスに影響を与える重要な要素であることを示した。Songhua⁴⁾らは一般化加法モデルと一般化線形モデルを組み合わせたモデルを提案し、上海をフィールドとして、CSサービスの運用を行うのに効率的な地域特性、ステーションの条件と設置箇所を明らかにしている。Lu⁵⁾らは、利益を最大化するステーションの駐車スペース数と配車台数を同時に決定する問題を提案している。このモデルにより、道路混雑や時間料金などによる利益の違いを明らかにしている。Goncalo⁶⁾は車両の再配置数、デポサイズ、および潜在的なデポ配置問題に対して、車両のメンテナンス、運営コストを最小限に抑えることでCS事業収益を最大化する混合整数最適化MIPアプローチを提案し、100トリップあたり22.7台の車両が最適であると結論づけている。しかし、数理モデルによる方法は、定式化も解法も極めて複雑になるため、適用できるネットワークは単純であり、導入できる政策変数に限度がある。

シミュレーションモデルを用いる方法については、Milos⁷⁾が汎用のメソスコピックのマルチエージェントベースシミュレーションMATSimを用い、スイスのチューリッヒにおけるFF-CSを対象にした駐車料金政策のモデル分析を行った。その結果、車両規模の増加による利用回数の増加、料金変化による駐車スペースの占有率の低下などを明らかにした。Ana S⁸⁾らは、ガソリン車や電気自動車の車種ごとに車両の再配置の有無による事業

表 3-2 ドイツのカーシェアリング主要事業者一覧

タイプ	ステーションベース				フリーフロート		
事業者	Stadtmobil	Cambio	Flinkster	Greenwheels	Car2go	DriveNow	Multicity
開始年	1999	2000	2009	2016	2008	2011	2013
母体	Stadtmobil	Cambio	DB	Volkswagen	Daimler AG	BMW	CITROEN
展開都市数	180	22	392	21	6	5	1
車両数	約 4,000 台	約 2,200 台	約 4,000 台	約 400 台	約 4,000 台	約 3,000 台	約 400 台
利用時間単位	1時間	1時間	1時間	1時間	1分	1分	1分

収益の違いをシミュレーションモデルを用いたシナリオ分析によって明らかにした。西垣ら⁹⁾は、公共交通のサービス水準が高い地域とそうでない地域の間で利用されるようにCSステーションを配置することによって都市圏全体のアクセシビリティ水準を向上させることができることをシミュレーションモデルを用いて検証している。しかし、手段転換などの行動モデルが単純な上にモデル都市上の仮想的な検討であり、一般性には乏しい。

既存研究では、単一の都市や都市圏、または仮想都市を対象としてCSサービスが与える種々の効果についての分析を行なっている。しかし、都市構造や交通特性と事業フィービリティとの関係性に言及している研究はない。また、通常は目的関数や評価指標は単一であり、利用者にとっての利便性と事業者にとっての収益性という、相反するであろう評価の視点からCSサービスの導入可能性について分析した例はない。さらに、前節で概説したAutolib'の例のように、事業規模や範囲によっては同一エリアであっても事業が成立しなくなることを実証した研究はない。本研究では、1) 都市の規模や構造、交通特性の違いによるSB-CSサービスの導入可能性を利便性と収益性の観点から検討すること、2) 事業エリアの拡大による収益性の低下や中心部での需要の偏在など、実際にCSサービス事業を展開する上で起こり得る問題を実証すること、3) その解決策としてODごとの料金差別化の有効性について検証する。

3.2 分析対象地域と分析手法

(1) 分析対象地域とその特徴

都市の構造や規模、交通特性の違いによるSB-CSサービスの導入可能性の違いを検証するために、北九州市、熊本市、久留米市の3都市圏に次節で概説するCS運用シミュレーションモデル^{10),11)}を適用し、得られた各種のパフォーマンス指標を比較する。CSへ転換する可能性のある潜在需要は各都市圏で生成される1日の全トリップであり、これらの情報は熊本市では2012年の第4回熊本市圏パーソントリップ(PT)調査、北九州市と久留米市では2005年の第4回北部九州圏PT調査のマスターデ

ータから得ている。

3都市の概要について表3-3に示す。人口は北九州市が約97万人と最も多く、次いで熊本市が約73万人、久留米市が約30万人である。DID地区人口はそれぞれ、約87万人、約58万人、約18万人であり、これらの全市人口に対する比率は、それぞれ90%、78%、60%であり、北九州市が最も大きい。しかし、DID地区面積も最大であるため、DID人口密度は5,572人/km²と3都市で最も低くなっている。このことから、北九州市は全域的に高密度に居住しているものの、DID人口密度は大きくない都市といえる。一方、熊本市はDID人口密度は6,643人/km²と3都市の中でもっとも高く、中心部およびその周辺地域に人口が集中している。久留米市はDID人口密度が北九州市よりやや大きい。総人口に占めるDID地区の人口が6割程度であることから、郊外部にも人口の4割が居住している都市構造となっている。

次に3都市の交通特性を比較する。CSサービスへの転換可能性がある内々トリップ(18歳以上かつ、自動車運転免許保有者による都市圏内に発着を持つトリップであり、潜在需要)は、北九州市が約130万トリップ、熊本市が約98万トリップ、久留米市が約36万トリップであり、都市の人口規模が大きいほど多い。しかし、一人あたりのグロスの生成原単位はそれぞれ、2.25、2.78、2.75であり、都市によってかなり異なる。ネットの生成原単位は北九州市が2.89、久留米市が2.88でほぼ同じ値であるが、熊本市では3.14と他2都市と比較して1割ほど高い。自動車分担率は久留米市が65.4%と最も高く、熊本市が55.3%で最も低い。これに対して、公共交通分担率は北九州市が14.9%と最も高く、熊本市が6.8%と最も低い。徒歩や二輪などのその他は、熊本市が37.9%と最も高く、他の2都市よりも10%程高い。3都市ともに自動車が必要な交通手段であるものの、北九州市では公共交通機関の、熊本市では徒歩や二輪といったアクティブモードの分担率が高いのが特徴である。平均トリップ長においては、北九州市と熊本市は共に久留米市よりも1kmほど長い。分散は北九州市が熊本市より1割ほど大きい。

(2) 分析手法

a) ワンウェイ型CSサービスへの転換モデル

表 3-3 3都市の概要

	北九州	熊本	久留米	
人口(人)	976,846	734,474	302,402	
人口密度(人/km ²)	1,995	1,885	1,316	
DID地区人口(人)	877,833	579,318	183,547	
DID地区人口密度(人/km ²)	5,572	6,643	5,644	
内々トリップ数(万)	130	98	36	
生成原単位	ネット			
(トリップ/日)	2.89	3.14	2.88	
	グロス			
	2.25	2.78	2.75	
交通機関別	自動車	57.8	55.3	65.4
分担率(%)	公共交通	14.9	6.8	9.9
	その他	27.3	37.9	24.7
トリップ長(km)	平均	45	47	37
	分散	20.55	18.52	15.91

ワンウェイ型CSサービスへの転換モデルは、個人のトリップごとに、現利用手段からCSサービスに転換するか否かを予測する非集計型2項選択モデルであり、その推定には熊本市民を対象としたSP調査データを用いた。調査方法と項目の詳細は文献10)に譲る。転換モデルの推定結果を表3-4に示す。個人属性では、性別が男性、年齢は高くなるほど、目的は私用・業務であり、トリップ所要時間は長いほど、CSサービスの予約リード時間は短く、「予約不可の確率」は小さいほど、当該トリップは現利用手段からCSサービスに転換する確率が大きくなるという結果を得た。

熊本市民を対象としたSP調査データから推定されたこのモデルが北九州市や久留米市へ移転可能かどうかは不明であるが、2都市へも移転可能と仮定して以下の運用シミュレーションを実行する。

b) 運用シミュレーションの概説

図3-5に運用シミュレーションのフローを示す。本シミュレーションモデルは次の2つの特徴を持つ。

- 1) 発ステーションでの利用可能な車両の有無や着ステーションでの返却可能性は、それ以前の他の転換意向のある人の予約の可否の結果によって決まるといったマルチエージェントシミュレーションモデルである。
- 2) 車両偏在のために最寄りステーションに利用可能な車両が存在しないことや目的地近くのステーションが満車で返却できないために予約が受け付けられないリスクを表す「予約不可の確率」が日々更新されるため、CSサービスへの転換確率も日々変動する。この変数の導入は、Autolib' のサービス終了の要因の一つである需要偏在による利用頻度の低下を表現するのに有効である。

c) 最適ステーション配置問題の定式化と解法

CSサービスの効率的な運用を行うためには、需要の規模や空間的偏りを考慮して適切な位置に適切な数のステーションを配置する必要がある。このとき、利用者は利便性が高く、事業者は収益性が高いほど良いが、両者

表 3-4 モデルの推定結果

説明変数		推定値	t値
置き換える	時間料金(円/min)	-0.188	10.33
	事前予約時間(分)	-0.0046	1.83
	予約不可の確率の逆数	0.047	1.96
置き換えない	トリップ所要時間(分)	0.016	3.26
	私用・業務目的ダミー	0.415	2.20
	性別(男性=1)	0.318	1.68
	年齢	0.011	2.07
サンプル数		784	
尤度比的比率		0.31	
		0.74	

には確保されるトレードオフの関係があることが明らかになっている¹⁰⁾。そこで利用者の利便性を表す予約受付率(利用トリップ数/利用希望トリップ数)と事業者の収益性を表す実車率(利用時間/日/台)の二つの目的関数を同時に最適にするようなステーション配置計画を多目的計画問題として定式化する¹¹⁾。ここでは、両目的関数のうち、一方をある水準値以上として制約条件に組み込み、他方を最適化にする満足解を求めることとする。

変数の説明を行う。決定変数として、候補地*p*にデポを配置するとき1、そうでないとき0の値をとる離散的な解変数 δ_p と、時刻*t*から*t+t_{pq}*の時間に個人*i*が車両*n*でステーション*p*からステーション*q*へ移動するとき1、そうでないとき0の値をとる離散的な状態変数 $x_{p,q,t+t_{pq}}^{i,n}$ を導入する。*V_i*は1日の置き換え意向利用希望のトリップ数、*a_p(t)*は時刻*t*でのステーション"p"に存在する車両数、*C_p(t)*は時刻*t*でのステーション*p*の駐車スペース数、*S*はステーション候補地集合、*N*は総車両数、*t_{pq}*はステーション*p*からステーション*q*までのトリップ所要時間である。以下には実車率が一定の水準を満たしたうえで、予約受付率を最大にする最適ステーション配置問題の定式化を示す。

$$\max_{\delta, x} \frac{\sum_t \sum_i \sum_n \sum_{pq} \delta_p x_{p,q,t+t_{pq}}^{i,n}(t)}{V} \tag{1}$$

$$s. t. \delta_p = \{0, 1\} \tag{2}$$

$$x_{p,q,t+t_{pq}}^{i,n}(t) = \{0, 1\} \tag{3}$$

$$\sum_i \sum_s \sum_n \delta_p x_{p,q,t+t_{pq}}^{i,n}(t) + \sum_p \delta_p a_p(t) = N \tag{4}$$

$$\delta_p a_p(t) \geq 0 \tag{5}$$

$$\delta_p C_p(t) \geq \delta_p a_p(t) \tag{6}$$

$$\delta_p a_p(t) = \delta_p a_p(t-1) - \sum_i^I \sum_n^N \sum_q^S \delta_p x_{p,t-1,q,t-1+p_q}^{i,n}(t-1) + \sum_i^I \sum_n^N \sum_q^S \delta_p x_{q,t-p_q,p,t}^{i,n}(t-t_{pq}) \quad (7)$$

$$\frac{\sum_i^I \sum_n^N \sum_{pq}^S \delta_p x_{p,t-1,q,t-1+p_q}^{i,n}(t) t_{pq}}{T * N} \geq 0.3 \quad (8)$$

式(2)~(8)の制約条件のうち、式(4)は初期時点 $t=1$ での配車台数と移動する車両の台数は総車両数に等しいという初期制約条件である。式(5)はステーション p での配車数に対する非負条件、式(6)はステーション p における容量制約条件である。式(7)は時刻 t でのステーション p における車両数の保存条件である。また、式(8)が実車率を最低限の目標値以上とする満足化基準条件である。この目標値については文献 12) を参考に 0.3 に、予約受付率を満足化基準条件とした場合は著者らの既存研究結果¹¹⁾ から 0.3 とした。

離散変数 δ_p の組み合わせ数は膨大となり、厳密解を求めるのは容易でないため、ここでは解法として組み合わせ最適化問題に適した遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた。選択アルゴリズムはエリート戦略とルーレット選択を併用し、交叉は一様交叉で行う。その他の各パラメータは解の収束性を検証した既存研究¹¹⁾ にならって、個体数20、交叉率0.5、突然変異確率0.2とし、終了は50世代を超えた時点とした。

3.3 都市の違いによる導入可能性分析

最適ステーション配置問題を解くことによって得られたステーションの配置と各種パフォーマンス指標の値を3都市間で比較することによって、都市の規模や構造、交通特性の違いによるワンウェイ型SB-CSサービスの導入可能性を検討する。計算に用いる運用シミュレーションの設定値を表3-5に示す。ステーションの配置と数を同時に決定することは困難であるため、ここではAutolib'のステーション密度を参考に、人口3,000人に1つの数のステーションをPT調査のCゾーンとJRや私鉄等の駅、市役所・病院等の公共施設に1つずつ、中心市街地では町丁目に1つずつ、残りはゾーン人口に比例してゾーン内のPTネットワーク上のノードにランダムに配置した。以後これらの配置を基本配置と呼ぶ。

(1) 利便性から見たCSサービスの導入可能性

基本配置、および予約受付率最大化の場合の各種パフォーマンス指標値を表3-6に示す。予約受付率を最大化

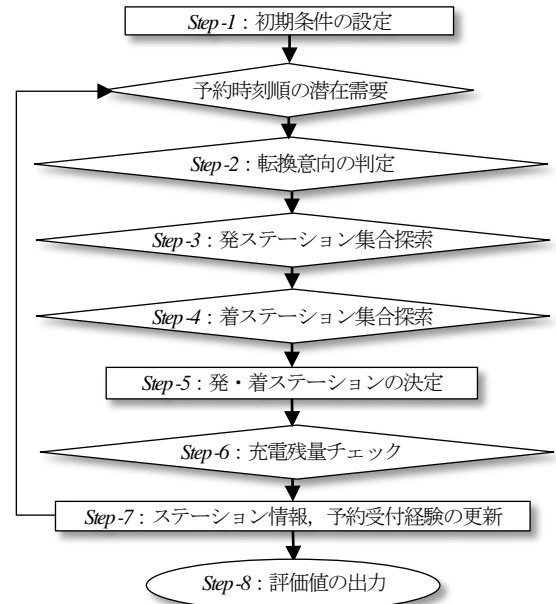


図 3-5 運用シミュレーションのフロー

した場合、基本配置からの予約受付率の増加率は久留米市が18%と最大で効果は大きいですが、北九州市では10%、熊本市では4%であり、利用者にとって利便性の大きな向上は期待できない。ステーション数については、北九州市で6か所増加の331ヶ所、熊本市で15ヶ所増加の260ヶ所、久留米市で3ヶ所減少の98ヶ所となり、基本配置と比べて大きな変化はない。その結果、予約受付トリップ数は北九州市と熊本市は約2,000トリップ増加し、久留米市は約700トリップ減少、車両一台当たりの利用回数も同様に北九州市と熊本市で増加、久留米市で減少している。以上より、北九州市や熊本市のような大、中規模の都市では、ステーション数を増加させることにより、久留米市のような小規模都市ではステーション数を削減することにより、利用者の利便性の向上が図られる。

図3-6にステーションの配置（基本配置が●、最適配置が●）を示す。基本配置と比較して、予約受付率を最大化するステーションは、北九州市ではDID内（図中の着色部）にその大半が配置されるのに対して、熊本市と久留米市ではDID全域だけでなく、郊外部にも多くが配置される。

ステーションあたりの利用回数が多いゾーンは、北九州市ではDID内にあり、DID外のゾーンでの利用回数は小さくなっている。同様に、熊本市でも利用回数が多いのはDID内のゾーンであるが、中心部とその周辺ゾーンで特に利用回数が多い。久留米市でも利用回数が多いゾーンは中心市街地とその周辺部であり、郊外部での利用回数は少ない。

次に、ゾーンペア別の予約受付を朝、昼間、夕方の時間帯別に考察する。北九州市では全域で予約受付率は

表 3-5 シミュレーションの基本設定

ステーションの設定			利用に関する設定		ステーション配置数		
配置密度	駐車スペース	配車台数	料金	予約リードタイム	北九州市	熊本市	久留米市
3,000人/ステーション	5	2	20円/分	30分前まで	325	245	101

表 3-6 基本配置, および最適配置の場合のパフォーマンス評価値

	北九州市			熊本市			久留米市		
	基本配置	目的関数		基本配置	目的関数		基本配置	目的関数	
		予約受付率	実車率		予約受付率	実車率		予約受付率	実車率
実車率 (%)	48.2	46.4	-	27.4	30.6	31.6	34.0	30.0	35.0
予約受付率 (%)	20.0	22.0	-	31.2	32.4	31.4	27.4	32.4	30.0
予約受付トリップ数	19,010	21,243	-	9,323	11,527	11,855	5,376	4,602	5,150
利用回数/台	29.2	32.1	-	19.0	22.2	23.2	26.6	23.5	27.7
利用時間(分)/台	23.6	20.6	-	20.4	20.1	19.5	18.4	18.4	18.2
ステーション数	325	331	-	245	260	255	101	98	93
車両台数	650	662	-	490	520	510	202	196	186

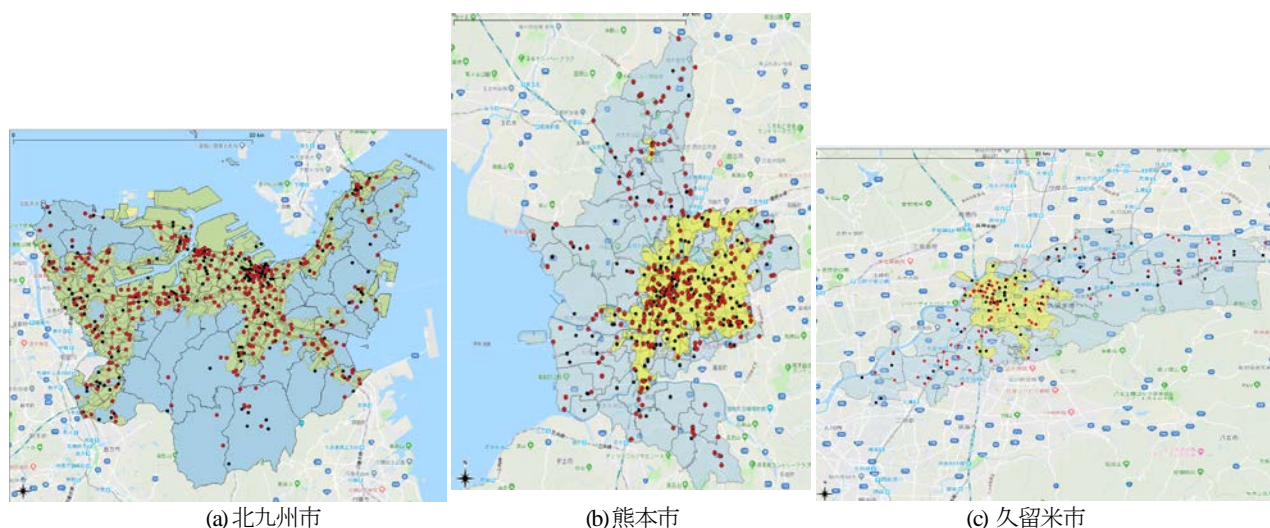


図 3-6 予約受付率を最大にするステーションの配置

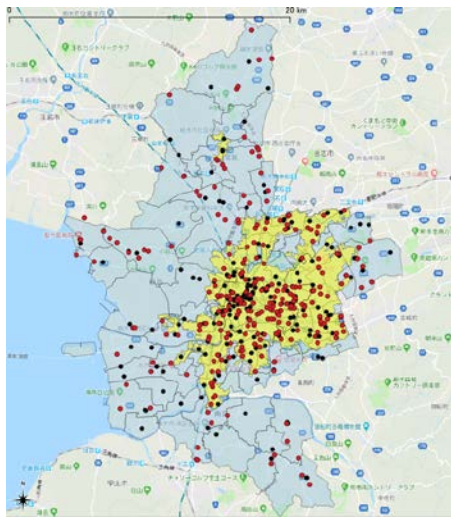
高く、朝から夕方になるにつれて増加する。熊本市では中心部とその周辺のゾーンペア間で高く、最大となる時間帯は昼間である。久留米市では中心部のゾーンペア間で高く、熊本市と同様に昼間の時間帯に最大になる。

以上より、利便性の視点からみた場合、北九州市のように、人口密度が高い地域が市全体にわたっており、公共交通が発達している都市では、DID 全域へ満遍なくステーションを配置するのが適切である。熊本市のように特に中心部に人口が密に集中しており、アクティブモードによる移動が活発な都市では、中心部とその周辺部に集中してステーションを配置すると同時に、郊外部の幹線道路沿いや鉄道駅周辺にも配置するのが望まれる。郊外部にも人口が分散しており、自動車が主要な移動手段である久留米市のような都市でも、熊本市と同様に中心部への集中したステーション配置を基本とし、郊外部へ

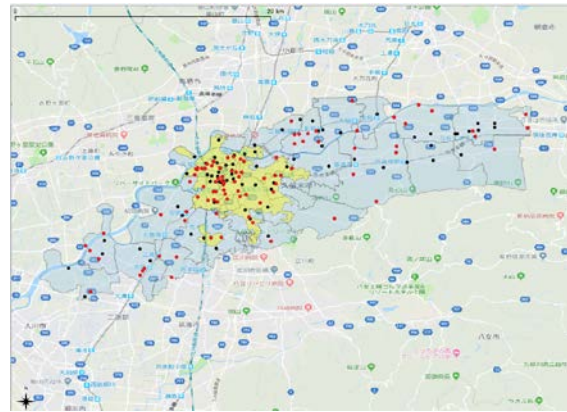
拡大させるのが望ましい。

2) 収益性から見たCSサービスの導入可能性析

表3-6には予約受付率を制約条件として実車率を最大化するステーション配置問題の解も他の解と同時に示している。なお、北九州市では事業規模に対してCSサービスの需要が大きすぎるため、予約受付率に関する制約条件を満足する解は得られなかったため、以後の説明からは省略する。このときの基本配置からの実車率は熊本市で16%、久留米市で3%改善している。ステーション数については基本配置から、熊本市で10ヶ所増加、久留米市で8ヶ所減少となり、予約受付トリップ数は熊本市は基本配置の場合より約2,500トリップ増、久留米市は約200トリップ減となっているものの、車両一台当たりの利用回数は熊本市で22%、久留米市で4%増加してい



(a) 熊本市



(b) 久留米市

図3-7 実車率を最大にするステーションの配置

る。

図3-7には熊本市と久留米市におけるステーション配置（基本配置が●，最適配置が●）を示す。両市とも、ステーションは中心部とその周辺地域に集中して配置される。ステーションあたりの利用回数が高いゾーンは、両市とも予約受付率最大化問題の場合と同様、中心部街地とその周辺地域である。以上より、収益性の視点からみた場合、熊本市のような中規模の都市では、ステーションの数を増加させることによって予約受付トリップは増加、久留米市のような小規模都市ではステーションの数を少なくすることによって予約受付トリップ数は減少するが、中心部とその周辺ゾーンへ集中させたステーション配置により、車両一台当たりの利用回数が増加して収益性が向上する。また、北九州市のような大規模都市では、実車率は一定水準以上になるものの、利用需要が過大となって予約受付率を設定水準以上にするのが困難になることも明らかになった。

3.4 適切な事業規模に関するシナリオ分析

ワンウェイ型SB-CSを事業として成立させるためには、一定水準の収益を確保するための適切な事業規模とエリアを見出しておく必要がある。本章では、Autolib'の経験から実際に起こり得るであろう事業上の課題、その解決策と効果について検討する。

(1) 適切な事業規模の検討

a) 収益最大化問題と事業規模

Autolib'は事業規模を過度に拡大したために、需要の偏在による利便性の低下と同時に収益性の低下も招いた。

事業を持続するためには適切な事業規模とエリアを設定することが必要である。通常、CSサービスは都心部から、順次、周辺部、郊外部に事業エリアを拡大していく。ここでは、熊本市を分析対象として、中心部エリアからその周辺部を含めたエリア、郊外部までを含めた市全域のエリアへと、段階的に事業エリアを拡大させた場合、利益を最大にするときのステーション配置と各種パフォーマンス指標を比較することによって、適切な事業規模や範囲を実証的に明らかにする。なお、ここでは自治体が料金水準と予約受付率の下限を設定した上で、事業規模を含めたCSサービスの供給を民間事業者へ委託する事業契約を想定している。

まず、変数の説明を行う。 C_s はCSサービスの1分当たりの利用料金、 C_{m1} は車両1台当たりの1日の維持費用、 C_{d1} は車両1台の1日あたりの減価償却費、 C_{m2} はステーションの1日当たりの維持費用、 C_{d2} はステーションの1日あたりの減価償却費、その他の変数については前章と同様である。このとき、予約受付率の目標値を0.3とした式(10)を制約条件(2)~(7)に加えることによって、一定水準の利便性を保証しながら収益を最大にする最適ステーション配置問題は以下のように定式化される。

$$\max: B = C_s \cdot \sum_t \sum_i \sum_n \sum_{pq}^S t_{pq} x_{p_i q_{t+\delta_{pq}}}^{i,n}(t) - (C_{m1} + C_{d1}) \cdot \sum_p^S 2\delta_p - (C_{m2} + C_{d2}) \cdot \sum_p^S \delta_p \quad (9)$$

s.t. (2)~(7)

$$\frac{\sum_t \sum_i \sum_n \sum_{pq}^S \delta_p x_{p_i q_{t+\delta_{pq}}}^{i,n}(t)}{V} \geq 0.3 \quad (10)$$

目的関数式(9)の第1項は利用料金と総利用時間の積で

表3-7 変数の概要と設定値

変数	説明	設定値 (円)
C_s	利用料金 (円/分)	20
C_{m1}	車両の維持費用 (円/日/台)	1,000
C_{d1}	車両の減価償却費(円/日/台)	1,500
C_{m2}	ステーションの維持費用 (円/日/カ所)	1,000
C_{d2}	ステーションの減価償却費 (円/日/カ所)	7,500

ある総収入である。第2項は車両1台当たりの維持費と減価償却費の和に総車両台数をかけた車両の維持管理費用、第3項はステーションの維持費と減価償却費の和に配置ステーション数をかけたステーションの維持管理費用である。

各変数の設定値を表3-7に示す。車両とステーションの維持費用は文献14)を参考にした。小型電気自動車とアスファルト舗装の耐用年数は、文献15)よりそれぞれ3年、10年とする。また、車両価格はメーカーによってばらつきはあるものの、本研究では100万円、ステーションの建設費用を1ヶ所あたり500万円とし、耐用年数で価格を除いたものを減価償却費とした。

b) 事業エリアの設定

図3-8に示すように、熊本市の中心部のみのArea 1から、Area 1を含む都心から半径約5kmまでのArea 2、市全域のArea 3まで、3段階で事業エリアを拡大すると想定する。各々の事業エリアの概要を表3-8に示す。Area 1からArea 2、Area 3と事業エリアを拡大するにつれて、人口密度は減少し、エリア内トリップ数とトリップ長は増加する。エリア内トリップの交通機関分担率はエリアの拡大に伴ってアクティブモードと公共交通が低くなり、自動車が増加する。以後、Area 1を中心部（図3-8茶色部）、Area 2のうちArea 1の外側を周辺部（青色部）、Area 3のうちArea 2の外側を郊外部（緑色部）とよぶことにする。

c) 計算結果と考察

収益最大化問題の解と各種パフォーマンス指標を表3-9に、ステーションの配置を図3-9に示す。事業エリアがArea 1だけの場合、ステーションの数は53ヶ所となり、中心市街地とその周辺や鉄道駅付近、病院や大学などの公的施設に配置される。事業エリアをArea 2まで拡大するとステーション数は167ヶ所に増加する。その内訳はArea 1内に98ヶ所（58.7%）、その外側の周辺部に69ヶ所（41.3%）となり、Area 内への配置数が1.85倍に増加する。また、周辺部でも鉄道駅や公共施設付近、幹線道路沿いにステーションが配置される結果となった。Area 3まで拡大すると、ステーション数は258ヶ所となり、Area 1に123ヶ所（47.7%）、周辺部に92ヶ所（35.6%）、郊外部には43ヶ所（16.7%）が配置される。

収益はArea 1で4.8万円、Area 2では98.4万円、Area 3では110.0万円となり、事業エリアを拡大するにつれて増

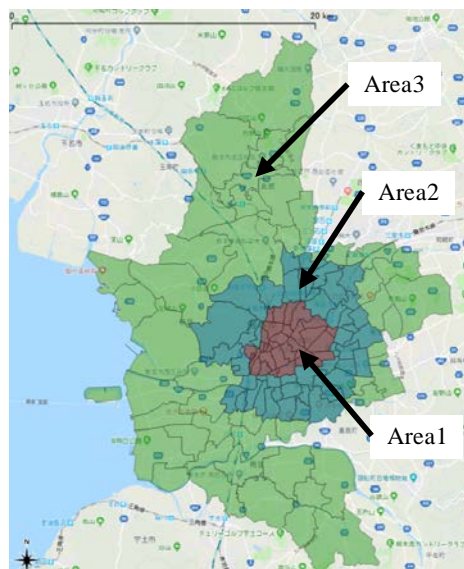


図3-8 事業エリアの区分

表3-8 事業エリアの区分と概要

事業エリア	Area 1	Area 2	Area 3	
Cゾーン数	30	77	128	
人口(人)	152,312	44,8419	734,394	
面積(km ²)	200	94.1	391.7	
人口密度(人/km ²)	7,606	4,762	1,874	
エリア内トリップ(万トリップ)	15	48	98	
交通機関分担率(%)	徒歩	31.4	17.4	12.3
	二輪	25.3	21.3	16.4
	自動車	34.1	53.5	65.1
	バス	6.4	5.6	4.5
トリップ長(km)	鉄道	2.8	2.2	1.7
	平均	2.5	3.8	5.1
	分散	2.81	8.64	20.03

加するが、Area 1からArea 2にエリアを拡大した場合の増加額が93.6万円であるのに対して、Area 2からArea 3に拡大した場合は12.6万円であり、増加率はかなり減少する。また、収益はArea 2での利益は中心部と周辺部でそれぞれ、72.2万円（73.4%）と26.2万円（26.6%）、Area 3での利益は中心部、周辺部、郊外部でそれぞれ、84.3万円（76.6%）、46.7万円（42.5%）、-21.0万円（-19.1%）となり、中心部と周辺部では収益は増加するが、郊外部では赤字となる。予約受付トリップ数についても、事業範囲とArea 1からArea 2に拡大したときには約4倍になるが、Area 2からArea 3まで拡大したときは1.3倍にしかならない。エリア内トリップ数に占める割合（CSへの転換率）もArea 2が1.8%と最も高く、Area 3では1.3%と、1.4%のArea 1よりも低くなる。実車率はArea 2が33.7%と最も高く、次いでArea 3が31.4%と減少し、Area 1が22.8%と最も低い。車両1台あたりの利用回数も同様の順である。

図3-10には車両稼働率の時間的変動を示す。いずれのエリアでも7～8時台と17～19時台にピークがある。しかし、Area 1と比較してArea 2では朝のピーク時前から20時ころまで、稼働率は20%ほど大きい。一方で、Area 2

表 3-9 収益最大化問題の解と各種パフォーマンス指標

		Area 1	Area 2	Area 3
予約受付トリップ数*1		2,198 (1.4%)	8,890 (1.8%)	11,954 (1.3%)
予約受付率 (%)		42.8	36.4	37.4
実車率 (%)		22.8	33.7	31.4
1台あたりの利用回数		20.8	26.6	23.4
1回あたりの利用時間(分)		15.8	18.2	19.2
最大収益(万円)		4.8	98.4	110.0
地域別の収益(万円)*2	中心部	4.8 (100%)	72.2 (73.4%)	84.3 (76.6%)
	周辺部	-	26.2 (26.6%)	46.7 (42.5%)
	郊外部	-	-	-21.0 (-19.1%)
車両台数		106	334	516
ステーション数		53	167	258
事業エリア区別のステーション配置数*2	中心部	53 (100%)	98 (58.7%)	123 (47.7%)
	周辺地域	-	69 (41.3%)	92 (35.6%)
	郊外部	-	-	43 (16.7%)

注) *1の()内の値はエリア内トリップ数に占める割合を、*2の()内の値は全数に占める割合を示す。

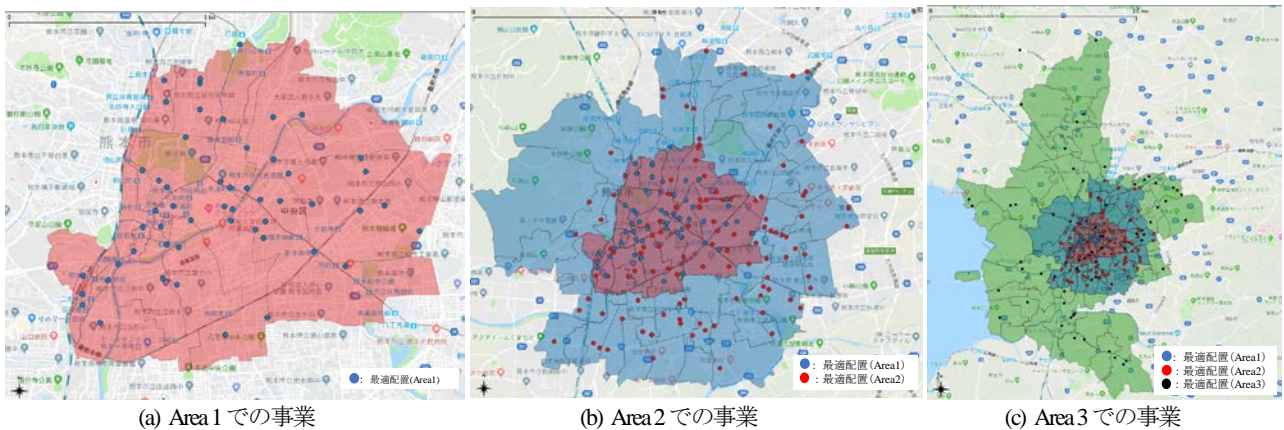


図 3-9 ステーションの最適配置

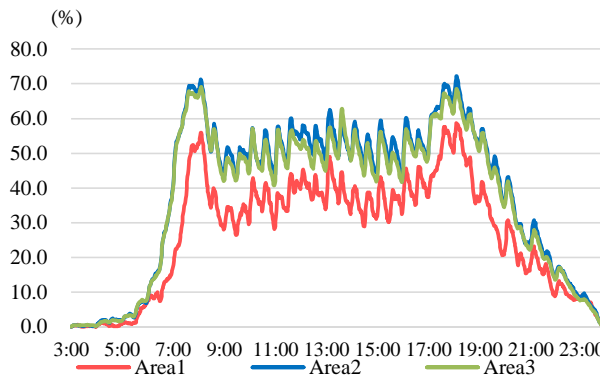


図 3-10 車両稼働率の時間的推移

とArea 3とでは1日中、大きな差はない。

以上より、収益最大化を目的としたステーション配置を行う場合、Area 2からArea 3にエリアを拡大すると郊外部での収益は赤字となる。しかし、Area 2内に8割以上のステーションが配置されて実車率が向上することにより、高い収益が得られている。さらに、Area 1からArea 2へ事業エリアを拡大した場合と比較してCSサービスへの転換率は低く、実車率や車両稼働率といった事業の効率性も低下し、規模の拡大による収益増加の効果を得られな

い。このように、利便性と事業性の両視点からみた適切な事業エリアはArea 2までといえる。

(2) 料金の差別化方策による需要偏在の解消策

海外の多くのワンウェイ型CSサービスでは車両の偏在が問題となっており、それを解決するために人手で車両の再配置を行っている。しかし、再配置には多大な費用がかかるため、収益を低下させる要因となっている。ここでは、ODペアごとに利用料金を差別化する施策が需要の偏在、利便性や収益性にどのような効果を及ぼすかをシナリオ分析を用いて検討する。分析対象地域は前節で適切な事業範囲としたArea 2であり、表3-10に示すように、基準利用料金の20円/分から、Case 1では中心部を目的地とするODの料金を5円高くし、周辺部を目的地とするODでは5円安くする。Case 2では中心部を目的地とするODの料金だけを5円高く、Case 3では周辺部を目的地とするODの料金だけを5円安くしている。

表3-11にシナリオ別の各種パフォーマンス指標値を基本設定の場合の値と比較して示す。Case 1では予約受付トリップ数が基本設定の83.2%に減少し、予約受付率、実車率もそれぞれ、10.3%、5.8%減少し、利便性、収益

性共に低下する。Case 2では予約受付トリップ数が基本設定の67.4%まで減少するため、予約受付率は1.6%増加して利便性は向上するものの、実車率は10.1%減少して収益性は大幅に低下する結果となった。Case 3では予約受付トリップ数は基本設定の114%まで増加するが、予約受付率は9.3%減少、実車率は4.2%の増加となった。表3-12にシナリオ別の地域間予約受付トリップ数と総トリップ数に対する比率を示す。基本設定では中心部内々のトリップ数が総トリップ数の2.9%と最大であり、周辺部内々が0.9%と最小である。Case 1では基本設定とは全く逆に周辺部内々が2.2%と最大、中心部内々が0.8%と最小になる。いずれも地域間で予約受付率に大きな差が生じる。これに対して、Case 2、Case 3では地域間で予約受付率に差はないが、それぞれ約1.2%、約2.0%であり、Case 3はCase 2の約2倍となった。

図3-11には使用される車両数の時間的推移を示す。Case 1では午前中は基本設定とほぼ同様に推移するが、午後になると使用される車両数が減少する。Case 2は基本設定からの差が最も大きく、使用される車両数は一日を通して少ない。Case 3は午前中の使用台数が基本設定より多くなるという特徴がある。

次に、中心部にある車両数の時間的推移を図3-12に示す。初期時刻3:00に中心部に配置される車両はいずれのケースでも196台であるが、基本設定の場合、8時台には約130台まで減少するのに対して、Case 1とCase 2では約160台の車両が存在する。その後、中心部に車両が集中し、9時台にはCase 2で240台、Case 1で220台となるが、Case 3では約200台である。その後は中心部に存在する車両は減少し、12時台から17時台までCase 1とCase 2で180~200台、Case 3では140~160台の間で推移する。18時台に再びピークを迎え、基本設定では約80台まで減少するのに対して、Case 1とCase 2では約160台、Case 3でも120

台までしか減少しない。

Case 1では周辺部内々や中心部から周辺部への利用が促進され、中心部での利用はかなり減少するため、中心部にある車両の時間的変動も小さく、車両の偏在も小さい。Case 2では中心部を目的地とする利用が抑制され、予約受付トリップ数は基本設定の場合の7割程度まで減少する。そのため、車両使用の推移も最も小さく、実車率も大幅に減少する。また、地域間の予約受付比率は約1.2%で等しいが、Case 1と比較して目的地を周辺部とする利用が進まないため、ピーク時に多くの車両が中心部に偏在する結果となった。Case 3は、中心部内々の利用は抑制される一方で、中心部から周辺部、および周辺部内々での利用が促進され、予約受付トリップ数は基本条件の場合よりかなり増加する。そのため、全域での予約受付率は減少するが、実車率は最大となる。ピーク時においても中心部の存在台数を初期配置台数以下に抑制することができ、基本配置ほどの車両偏在は緩和される。

これらの結果を整理すると、Case 1では周辺部での利用は増加するが、中心部での利用の減少によって中心部に存在する車両の利用頻度は減少し、効率的な運用に支障をきたす。Case 2では最も利用が減少するため、地域間の予約受付比率は低く、全域にわたって利用されるがピーク時に最も中心部に車両が偏在する。Case 3では利用が増加し、初期配置台数以上の流入およびピーク時の流出が緩和され、地域間の予約受付比率にも差がなく、空間的にも時間的にも平滑して利用される。以上より、周辺部を目的地とする料金を割り引くことは、事業者側と利用者側の双方にとって需要と車両の偏在の緩和に対して有効である。

3.5 おわりに

本研究では、我が国でのワンウェイ型SB-CSサービスの導入可能性について、利便性と収益性の視点から検討を行った。得られた成果について以下に簡潔に記す。

- 1) 国内外におけるCSサービスの現況と課題、および欧米におけるCSサービスに対する研究成果を包括的にまとめた。
- 2) かつてはワンウェイ型SB-CSサービスの成功例でも

表 3-10 シナリオ別の地域間料金

地域ペア	利用料金 (円/分)			
	基本設定	Case 1	Case 2	Case 3
中心部⇒中心部	20	25	25	20
中心部⇒周辺部	20	15	20	15
周辺部⇒中心部	20	25	25	20
周辺部⇒周辺部	20	15	20	15

表 3-11 シナリオ別のパフォーマンス指標値

	基本設定		Case 1		Case 2		Case 3	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
予約受付トリップ	8,890	2135	7,394 (83.2%)	199.6	5,996 (67.4%)	120.1	10,142 (114%)	266.4
予約受付率 (%)	36.4	0.7	26.1	0.5	38.0	0.7	27.1	0.6
実車率 (%)	33.7	0.0	27.9	0.0	23.6	0.5	37.9	1.0
利用回数 (回/台)	26.6	0.64	22.1	0.58	18.0	0.36	30.4	0.80
利用時間 (分/回)	18.2	0.17	18.1	0.17	18.9	0.25	18.0	0.09

注) ()内は基本設定との比率を示す

表 3-12 シナリオ別の地域間予約受付トリップ数

	基本設定	Case 1	Case 2	Case 3
中心部⇒中心部	4,452 (2.9%)	1,312 (0.8%)	1,890 (1.2%)	3,337 (2.2%)
中心部⇒周辺部	1,384 (1.7%)	1,329 (1.6%)	1,099 (1.3%)	1,789 (2.2%)
周辺部⇒中心部	1,399 (1.7%)	998 (1.2%)	964 (1.2%)	1,589 (1.9%)
周辺部⇒周辺部	1,655 (0.9%)	3,752 (2.2%)	2,041 (1.2%)	3,426 (2.0%)

注) ()内は総トリップ数に占める割合を示す。

あったパリのAutolib' がサービスを終了せざるを得なかった原因は、過度な事業規模の拡大が需要と車両の偏在を招き、実車率が低下して収益が悪化したことによることを明らかにした。

3) 都市の規模や構造、交通特性の異なる3つの都市に対してCS運用シミュレーションモデルを内包した最適ステーション配置問題を適用した結果、利便性が収益性のいずれを目的関数（他方は制約条件）にするかによって、ステーション配置やパフォーマンス指標値に差が生じる。

4) CSサービスの収益性を担保するためには、公共交通の分担率が高い都市よりはアクティブモードの分担率が高い中小都市において、適正な事業規模により一定水準の利便性を確保しながら実車率を向上させることが重要である。

5) 熊本市を対象として、事業規模シナリオに基づく収益性の分析を行った結果、熊本市全域へ事業を拡大するのではなく、中心部とその周辺部にエリアを限定し、そこに適切にステーションを配置することが収益性の向上に繋がる。

6) 周辺部を目的地とするODの利用料金を下げる料金政策で、CSサービスの利用が促進されると同時に、空間的にも時間的にも需要と車両の偏在を緩和することができる。

本研究では最適ステーション配置問題を解くのにGAを用いているが、膨大な計算量を要する。解の収束具合を可視化すると、目的関数値の改善・収束が図られており、特異な解になっているとは思えないものの、厳密解となっている保証はない。シミュレーションを多数回行うこと、初期遺伝子集団や各パラメータの適切な設定によって、解の妥当性を図る必要がある。また、本研究では自治体が料金水準と予約受付率の下限を設定した上で、単一の事業者が独占的に事業規模やステーション配置を最適化することを想定した。しかし、海外の多くの都市では複数の事業者が差別的なサービスを提供している。今後の研究課題として検討する必要がある。

参考文献

1) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財HP, 我が

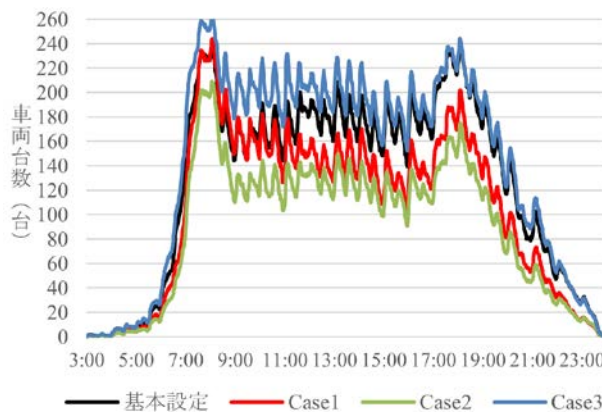


図 3-11 ケース別の使用車両数の推移

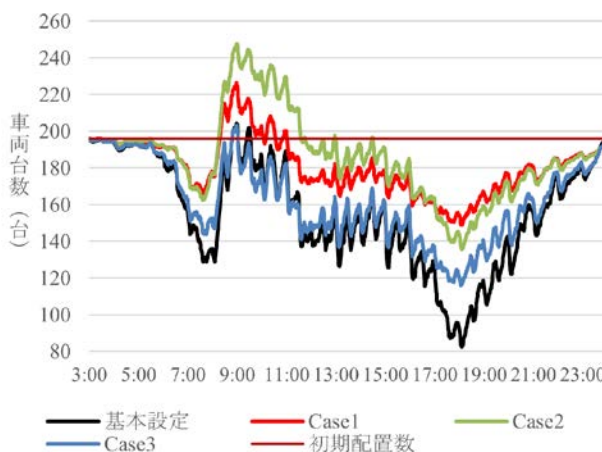


図 3-12 ケース別の中心部にある車両数の時間的推移

国のカーシェアリング車両台数と会員数の推移, http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare_graph2018.3.html, 2019.02.03最終閲覧。

- Susan Shaheen, Adam Cohen, Mark Jaffee : Innovative Mobility Carsharing Outlook CARSHARING MARKET OVERVIEW, ANALYSIS, AND TRENDS Spring 2018, Transportation Sustainability Research Center, University of California, Barkley.
- Kai Huang, Goncalo homem de Almeida Correia, Kun An : Solving the station-based one-way carsharing network planning problem with relocations and non-linear demand , Transportation Research Part C, Vol.90, pp.1-17, 2018.
- Songhua Hu, Peg Chen, Hangfei lin, Chi Xie, Xiaohong Chen : Promoting carsharing attractiveness and efficiency : An exploratory analysis, Transportaton Part D, Vol.62, pp.229-243, 2018.
- Lu Hu, yang Liu: Joint design of parking capacities and fleet size for one-way station-based carsharing systems with road congestion, Transportation Research Part B, Vol.93, pp.268-299, 2016.
- Goncalo Homen de Almeida Correia, Antonio Pais Antunes: Optimization approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems , Transport. Research Part. E, 48, pp.233-247, 2012.
- Milos Balac, Francesco Ciari, Kay W. Axhausen : Modeling

- the impact of parking price policy on free-floating carsharing : Case study for Zurich, Switzerland , Transportation Research Part C, Vol.77, pp.207-225, 2017.
- 8) Ana S Vasconcelos, Luis M. Martinez, Gncalo H.A. Correa, Daniel C. Guimaraes, Tiago L. Farias : Environmental and financial impacts of adopting alternative vehicle technologies and relocation strategies in station-based one-way car-sharing: An application in the of Lisbon, Portugal, Transportation research Part D, Vol.57, pp.350-362, 2017.
- 9)西垣友貴, Jam-Dirk Schmocker, 中村俊之, 宇野伸宏, 桑原昌広, 吉岡顕 : アクセシビリティ指標を用いたワンウェイ型カーシェアリングシステムの評価, 第56回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.56, CD-ROM, 土木学会, 2017.
- 10)溝上章志, 中村謙太, 橋本淳也 : ワンウェイ型MEVシェアリングシステムの導入可能性に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集D3, Vol.71, No.5, pp.I_805-I_816, 2015.
- 11)中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也 : ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と最適ステーション配置, 土木学会論文集D3, Vol.73, No.3, pp.135-147, 2017.
- 12)アースター・ディ・リトル・ジャパン : モビリティ進化論, 日経BP社, 2018.
- 13)山本真生, 溝上章志, 古澤悠吾 : 都市構造や交通特性の違いによるカーシェアリングシステムの普及に関する都市間比較分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.56, CD-No.76, 2017.
- 14)山本俊行, 中山晶一郎, 北村隆一 : 再配車を用いない複数ステーション型自動車共同利用システムの挙動に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集, No.786, pp.11-20, 2005.
- 15)国税庁, 耐用年数表 車両・運搬具の耐用年数 https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/34255/faq/34311/faq_34357.php, 2019.02.03最終閲覧.

第4章 メソ交通流シミュレータK-MATSimの開発とその挙動・性能の標準検証

4.1 はじめに

都市交通に対して渋滞解消や利便性向上を期待して道路の新設や新規交通システムを導入したとしても、期待通りの効果が得られないケースが多々存在する。したがって、実際の交通利用者の交通行動や交通状況への影響を考慮した上で、導入効果を事前に評価することは重要である。このとき、交通状況への影響としてネットワーク上に発生する渋滞現象を予測することが求められるが、広範囲の道路ネットワークと多数の車両を対象とする場合には、複雑かつ大規模な計算が必要となる。これまで様々な交通状況の評価するモデルが提案されているが、それらは、交差点需要率や静的な均衡配分法を動学化したマクロ交通需要予測モデルと、計算機上で交通状況を再現する交通流シミュレーションモデルの2つに大別される。前者のモデルの多くは交通の均衡を前提としているが、動的に変化する交通における均衡状態の成立には疑問がある。動的な交通状態変化の再現を目指す場合、均衡を前提としない後者がより現実的な交通状況を再現可能と思われる。

交通流シミュレーションモデルには、マクロモデル、マイクロモデルおよびそれらの中間的性質を持つメソモデルがある。マクロモデルは、複数の車両群を単位として交通密度-交通量曲線や利用者均衡を前提として交通状況を再現する。交通流を連続した流体として計算するため、計算コストが小さく大規模な交通ネットワークを対象とすることが容易である。しかし、巨視的な交通状態を対象とするため、経路選択行動に十分に対応することは困難である。また、複数の車両群を単位として扱い個々の移動プロセスを考慮しないため、車両間のミクロな相互作用により引き起こされるショックウェーブのような交通現象を再現できない。マイクロモデルは、車両一台単位の挙動に関して詳細な仮定を設けて現象を記述可能であるが、個々の車両の挙動を逐次的に追跡するため、

計算コストが大きく大規模なネットワークを対象とすることは容易ではない。メソモデルは、車両一台単位で表現され、各車両の道路リンク上での挙動は、マクロモデルと同様に交通密度、交通量、平均速度の関係式に基づいて決定され、渋滞は、待ち行列として表現され個々の車両間の相互作用を考慮しない。そのため、計算コストはマイクロモデルよりも小さい。

メソモデルの待ち行列の表現方法は、代表的なものに Point Queue モデルと Physical Queue モデルがある。Point Queue モデルは、待ち行列の物理的長さを無視することで渋滞現象を簡潔に表現する。各リンク終端部の待ち行列台数は、流入交通流率と流出交通流率の時間変化によって表現される。待ち行列が存在する場合、あるいは流入交通流率が飽和交通容量を上回る場合には、流出交通流率は交通容量に制限される。このとき、FIFO 原則が成立するため、待ち行列による遅れ、つまり渋滞が発生することを表現する¹⁾。しかし、待ち行列の物理的な長さを無視しているため、渋滞の上流リンクへの延伸を考慮できずボトルネックとなる道路リンクを通過しない車両は渋滞に巻き込まれることはない。実際はボトルネックとなる箇所での渋滞が深刻な場合には、その渋滞は上流リンクまで延伸し、ボトルネックを通過しない車両にも影響を及ぼすことがある。一方の Physical Queue モデルは、待ち行列の物理的な長さを考慮することで、渋滞の上流リンクへの延伸を表現できる。

Physical Queue モデルを採用した交通流シミュレータに、スイス連邦工科大学チューリッヒ校とベルリン工科大学により共同開発された MATSim がある。Ciari ら²⁾は、フリーフローティングカーシェアリングの価格設定が及ぼす交通需要への影響を明らかにするために、MATSim を用いてチューリッヒの都市圏を対象とした約 45 万人分の大規模なシミュレーションを実施している。また、Wahaballa ら³⁾は、交通状況に応じたロードプライシング料金設定のための交通状況の評価手法として、MFD

(Macroscopic Fundamental Diagram) 形状に基づく交通ネットワーク性能指標を提案し、その検証のために MATSim を用いている。このように MATSim は、都市レベルでの交通システム導入時の評価が可能であり、MFD で表現されるような渋滞現象を再現可能である。

しかし、MATSim はシミュレーションの実行過程における道路状況や交通利用者の振る舞いを直接可視化することができず、可視化するためには結果として出力されたデータを加工し、別途 GIS のソフトウェアなどを用いる必要がある。しかし、車両の動きを地図上にアニメーションで可視化し俯瞰することは、交通状況を評価する際には有用である。そのため、交通環境および交通利用者の交通行動をシミュレートし、交通状況を評価するツールである K-MATSim (Kumamoto mesoscopic Multi-Agent Traffic Simulator) を開発した。

交通状況への影響を評価する上で、交通ネットワーク上に発生する渋滞現象を予測することが求められ、そのためには交通流シミュレーションの挙動が現実の交通現象を正しく表現されている必要がある。そこで、K-MATSim のメソ交通流シミュレーションの挙動が、想定される交通現象を正しく表現されているかを検証した。

4.2 K-MATSim による交通解析

図 4-1 に示すように、K-MATSim は入力されたシナリオデータに基づき対象地域の交通環境を生成し、交通利用者の交通行動および動的な交通状況をシミュレートする。以下にその概要を説明する。

(1) 車両の発生

交通需要データに基づいて交通利用者エージェントを生成させる。車両の発生パターンとしてランダム発生と等間隔発生との 2 つが仮定される。ランダム発生はポア

ソン到着 (到着するヘッドウェイ時間はポアソン分布に従う) を仮定し、各車両発生時のヘッドウェイ時間をポアソン乱数によりランダムに決定するものである。例えば、交通需要が 1,800 (台/時) の場合には、平均 2 秒のポアソン乱数に基づきヘッドウェイ時間を決定する。一方、等間隔発生は、各車両発生時のヘッドウェイ時間を等間隔に決定するものである。例えば、需要が 1,800 (台/時) の場合は、ヘッドウェイ時間は 2 秒の等間隔となる。

(2) 交通手段選択・経路選択

個々のエージェントは、交通手段選択モデルおよび経路選択モデルに基づき交通行動が決定される。交通手段は、徒歩、自転車、原付・二輪車、自動車、バス、鉄道、新モビリティなど複数モードから選択される。エージェントは与えられた OD に対して最も経路コストの小さい経路を選択する。経路コストは、経路を構成する各道路リンクのそれぞれの距離や制限速度、過去に利用した際の移動速度に基づいて計算される予想移動時間とする。

(3) 交通流シミュレーション

個々のエージェントが選択した交通行動を行った場合の交通状況をシミュレートする。交通流シミュレーションはメソタイプとし、Physical Queue モデルを採用した。メソモデルは、飯田ら⁴⁾のボックスモデルを参考とした。ボックスモデルの道路ネットワークは、ノードとリンクで表現される。各道路リンクは、渋滞領域と走行領域の 2 つの領域に区分され、それぞれ長さを持つ (図 4-2)。渋滞領域は次のリンクに流入できない車両の待ち行列とし、渋滞領域の長さは渋滞する車列の長さとする。次のリンクには渋滞領域の待ち行列の先頭から順に流入する。一方、走行領域は走行可能な領域を移動している車両の待ち行列を示し、リンク長と渋滞領域の長さの差とする。ボックスモデルでは、走行領域内の車両の速度は走行領域の交通密度によって決定される。しかし、前方車両の速度までもが後方の車両群の密度に影響されることはない。K-MATSim では、式 (1) より走行領域を走行する前方車両とのヘッドウェイ距離から交通密度 k (台/km) を算出し、これを式 (2) の Greenshields の k - v 曲線に代入することによって、走行領域内の車両の走行速度 v (km/h) を算出する。

$$k = \frac{10,000}{D_h} \quad (1)$$

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_f} \right) \quad (2)$$

ここで D_h はヘッドウェイ距離 (m)、 v_f は自由速度 (km/h)、 k_f は飽和密度 (台/km) である。

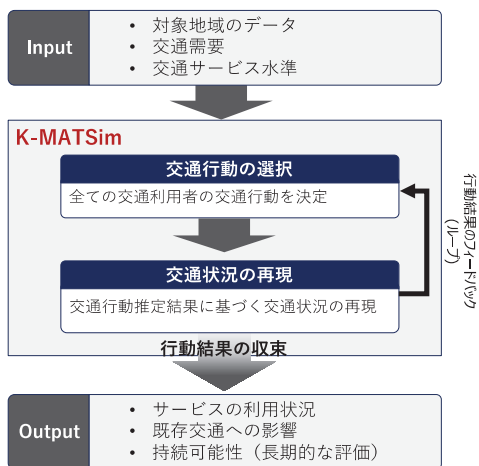


図 4-1 K-MATSim の解析フロー

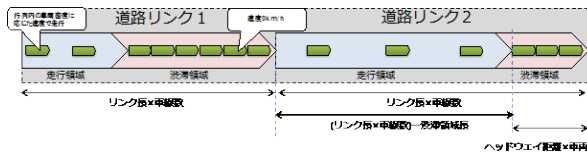


図 4-2 道路リンクモデル

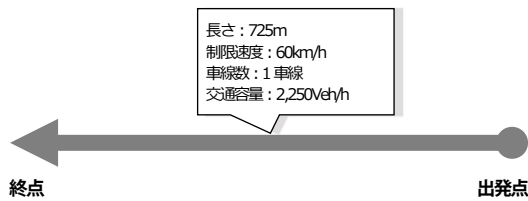


図 4-3 車両の発生検証の道路条件

走行領域の待ち行列の先頭車両は、現在のリンクの渋滞領域に他の車両が存在する場合には渋滞領域の待ち行列の最後に追加される。また、渋滞領域に他の車両が存在せず、下流リンクの走行領域の待ち行列の最後尾の車両との車間距離が確保できる場合には下流リンクの走行領域の最後尾に追加され、確保できない場合には現在のリンクの渋滞領域の待ち行列の最後尾に追加される。渋滞領域の待ち行列の長さは、行列内の車両数とヘッドウェイ距離の積とし、走行領域の待ち行列の長さはリンク長と渋滞領域の待ち行列長との差とする。車両の物理的な位置は走行速度と行列の位置に基づき、厳密に計算される。

(4) 交通行動結果のフィードバック

シミュレートされた交通状況における各エージェントの交通行動の結果は、該当エージェントの移動履歴情報として蓄積され、次の交通行動選択時に反映される。エージェントベースシミュレーションと交通流シミュレーションのループ構造となっており、シミュレーションを繰り返すたびに交通利用者の交通行動は変化するが、ある程度反復回数を重ねていくと徐々に交通利用者の行動の変化が収束する。最終的に全エージェントの行動が収束した時点での結果を、該当シナリオにおける定常的な振る舞いとして評価に用いる。

4.3 K-MATSimの挙動と性能評価

K-MATSimのメソ交通流シミュレーションの挙動が想定している挙動と一致しているかを交通工学研究会が策定した「交通流シミュレーションの標準検証プロセス Verification マニュアル⁵⁾」に基づき検証した。

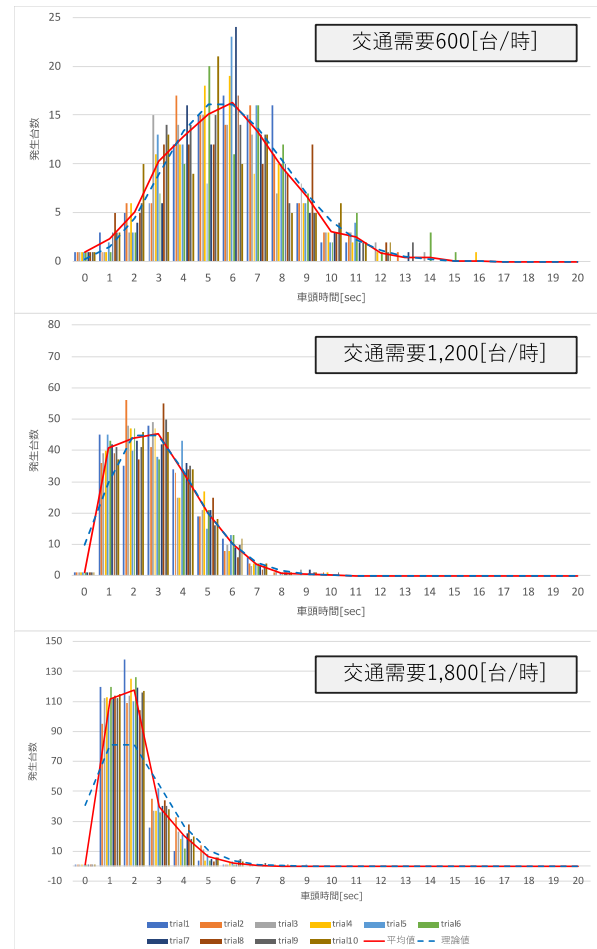


図 4-4 ランダム発生時のヘッドウェイ時間分布

(1) 車両の発生

「ランダム発生」と「等間隔発生」の2つの発生パターンについて、a)発生車両のヘッドウェイ時間の分布、b)発生台数の総量、およびc)交通量の保存状態の妥当性を検証した。発生車両のヘッドウェイ時間分布は、乱数系列の違いに依存せず、設定した指数分布から大きく乖離していないかを確認する。発生台数の総量は、設定した交通需要に基づく台数の車両が発生しているかを確認する。交通量の保存は、発生道路リンク末端まで渋滞が延伸し、リンクに流入できない状況においても、最終的に設定した需要が消滅することなくすべてネットワーク内に流入しているかを確認する。これらを検証する際の道路条件を図4-3に示す。ランダム発生と等間隔発生のそれぞれについて10試行のシミュレーションを行い、理論値とシミュレーション結果を比較した。

1) ランダム発生

a) ヘッドウェイ時間分布

ランダム発生では、ポアソン乱数に基づき1台毎のヘッドウェイ時間を求め出発時刻を決定する。ポアソン乱数は、指定された平均ヘッドウェイ時間が平均値となるポアソン確率密度分布に基づいて発生させる。平均ヘッ

表 4-1 ランダム発生時の発生台数と到着台数の総量

試行	600veh/h (10min)		1,200veh/h(10min)		1,800veh/h (10min)	
	発生台数	到着台数	発生台数	到着台数	発生台数	到着台数
trial1	100	100	200	200	300	300
trial2	100	100	200	200	300	300
trial3	100	100	200	200	300	300
trial4	100	100	200	200	300	300
trial5	100	100	200	200	300	300
trial6	100	100	200	200	300	300
trial7	100	100	200	200	300	300
trial8	100	100	200	200	300	300
trial9	100	100	200	200	300	300
trial10	100	100	200	200	300	300
平均値	100	100	200	200	300	300
理論値	100	100	200	200	300	300

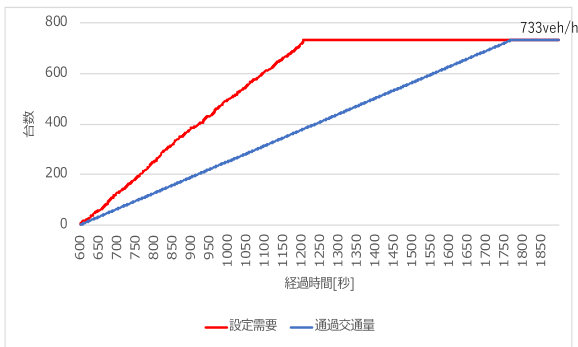


図 4-5 4,400 (台/時) の交通需要と通過交通量の推移

ドウェイ時間は、交通需要と発生時間に基づき算出する。与える交通需要は 600, 1,200, 1,800 (台/時) の 3 パターン、発生時間は 10 分とする。したがって、平均ヘッドウェイ時間はそれぞれ 6 秒, 3 秒, 2 秒となる。

図 4-4 は、3 パターンの各交通需要における各車両のヘッドウェイ時間分布を示す。図中の青の破線は理論値、赤の実線は 10 試行の平均値である。600 (台/時) では、10 試行の平均値と理論値は概ね一致した。1,200 (台/時)、1,800 (台/時) と増加するに従い、10 試行の平均値と理論値の乖離が大きくなっている。これは、交通需要の増加に伴いヘッドウェイ間隔が短くなり、同一時間に出発する車両が増加したことが原因である。K-MATSim は、スキャンインターバル時間を 1 秒としており、ヘッドウェイ時間が 1 秒未満の場合には 1 スキャン未満であるためシミュレータでは 0 秒として扱う。これは、同一時間に同一場所から車両が発生することを意味する。このとき、前方車両との車間距離が確保できず流入できないため、該当時間の出発を次のスキャン (1 秒後) 以降に見送る。以上のことから、理論値との乖離については、K-MATSim のモデルの仮定に基づくものである。

b) 発生台数の総量

交通需要が 600, 1,200, 1,800 (台/時) の場合について、それぞれ乱数値の異なる 10 分間分のシミュレーションを

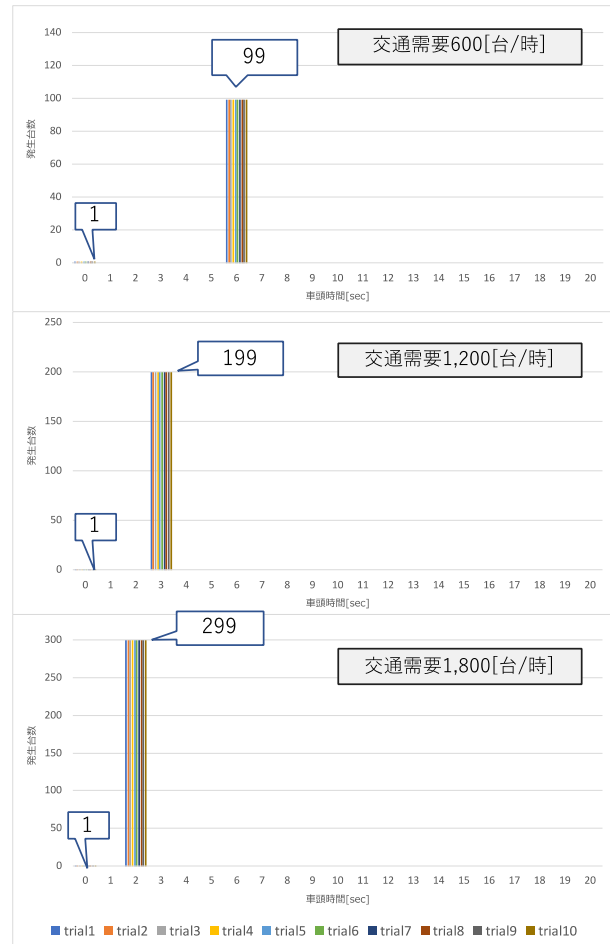


図 4-6 等間隔発生時のヘッドウェイ時間分布

10 試行実施した。各交通需要における発生台数の総量を表 4-1 に示す。発生台数および到着台数の実績値はすべて理論値である 100 台, 200 台, 300 台と一致しており、一定時間内に設定交通需要分の台数が発生していることを確認した。

c) 交通量の保存

道路リンクの交通容量 2,250 (台/時) に対して、それを大幅に超える 4,400 (台/時) (10 分間で 733 台) の交通需要を与え、リンク下流端の交通量が 0 になるまでのシミュレーションを行った。図 4-5 は、設定した交通需要に対応する累積発生台数 (赤線) に対する道路リンクの累積交通量 (青線) を示す。リンクの交通容量を超えた分の車両はリンク内に流入できないため、発生台数に対してリンクの交通量は遅れて増加しているが、最終的に交通需要として設定した 733 台が発生しており、流入できない車両も消滅することなくすべて大流側リンクに流入している。

2) 等間隔発生

a) ヘッドウェイの分布

等間隔発生では、平均ヘッドウェイ時間で等間隔になるように出発時刻を決定する。平均ヘッドウェイ時間は、

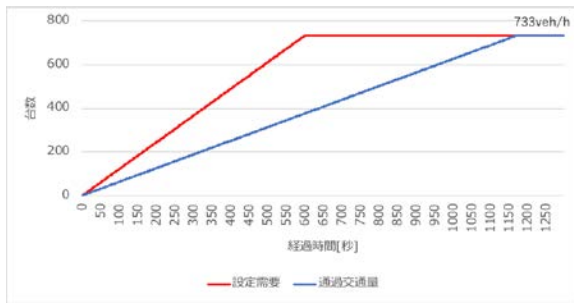


図 4-7 4400[台/時]の交通需要と通過交通量の推移

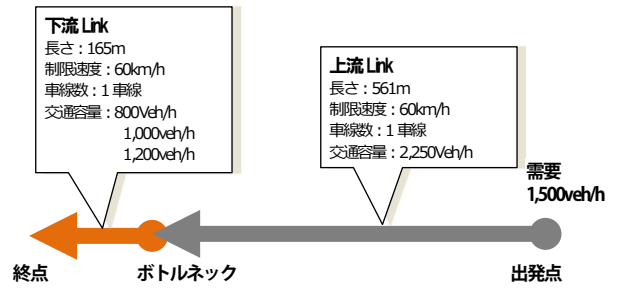


図 4-8 ボトルネック容量の検証道路

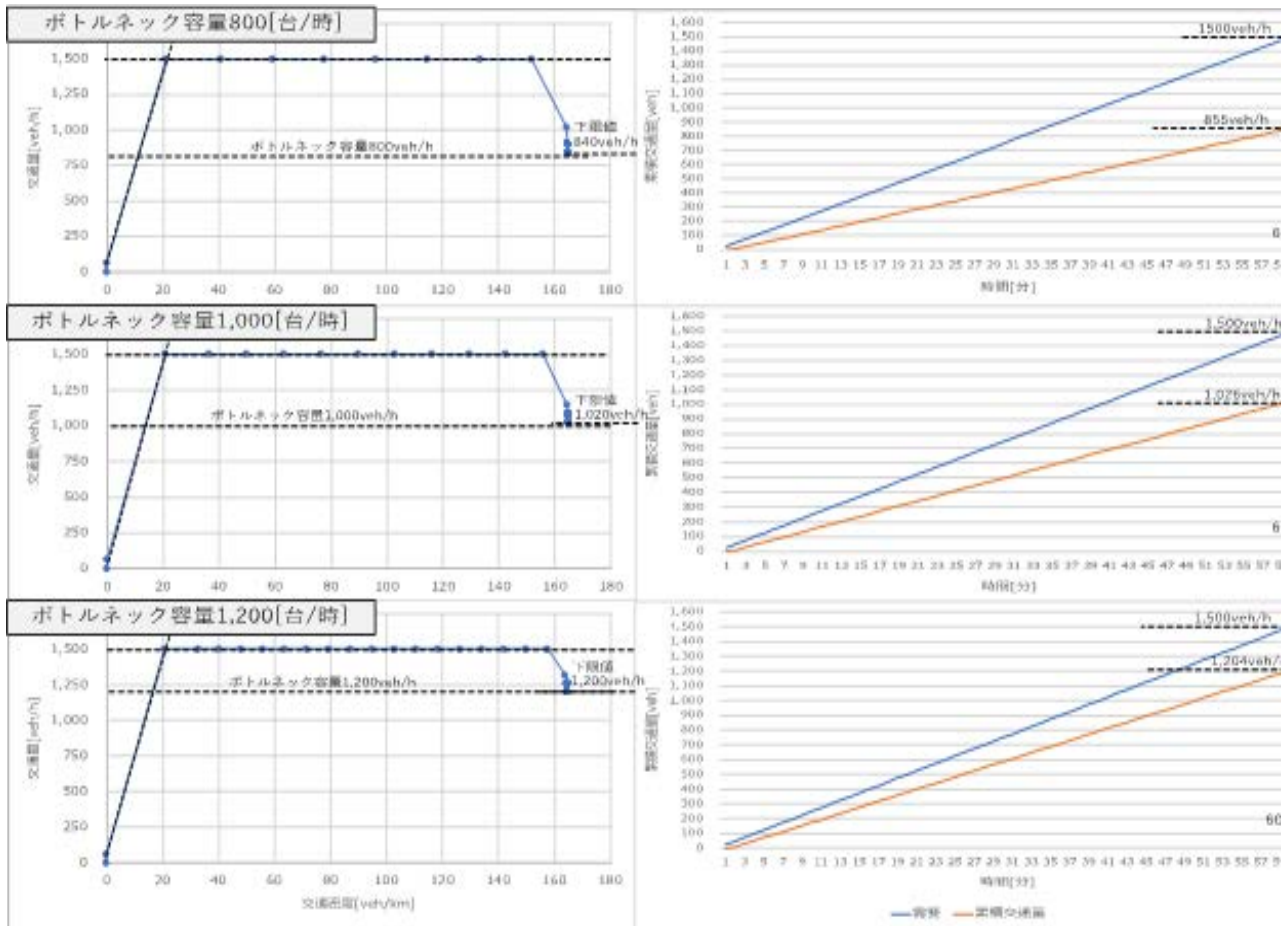


図 4-9 各ボトルネック容量における交通需要と通過交通量の推移 (左) と交通量-密度の関係 (右)

交通需要と発生時間に基づき算出される。与える交通需要は 600, 1,200, 1,800 (台/時) の 3 パターンとし、発生時間は 10 分とする。このとき、平均ヘッドウェイ時間はそれぞれ 6 秒, 3 秒, 2 秒となる。

図 4-6 は 3 パターンの各交通需要における各車両のヘッドウェイ時間分布を示す。各交通需要におけるヘッドウェイ時間はシミュレーション開始後の 1 台目の車両が 0 秒となっている以外は平均ヘッドウェイ時間と一致しており、等間隔で発生している。

b) 発生台数の総量

交通需要が 600, 1,200, 1,800 (台/時) の場合について、

表 4-2 等間隔発生時の発生台数と到着台数の総量

試行	600veh/h (10min)		1,200veh/h (10min)		1,800veh/h (10min)	
	発生台数	到着台数	発生台数	到着台数	発生台数	到着台数
trial1	100	100	200	200	300	300
trial2	100	100	200	200	300	300
trial3	100	100	200	200	300	300
trial4	100	100	200	200	300	300
trial5	100	100	200	200	300	300
trial6	100	100	200	200	300	300
trial7	100	100	200	200	300	300
trial8	100	100	200	200	300	300
trial9	100	100	200	200	300	300
trial10	100	100	200	200	300	300
平均値	100	100	200	200	300	300
理論値	100	100	200	200	300	300

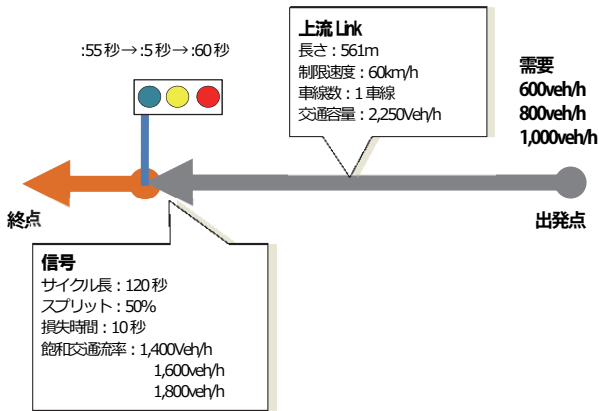


図 4-10 リンク下流端の飽和交通流率の検証道路

それぞれ乱数値の異なる 10 分間分のシミュレーションを 10 試行実施した。各交通需要における発生台数の総量を表 4-2 に示す。発生台数および到着台数の実績値は、すべて理論値である 100 台、200 台、300 台と一致しており、一定時間内に設定交通需要分の台数が発生していることを確認した。

c) 交通量の保存

道路リンクの交通容量 2,250 (台/時) に対して、それを大幅に超える 4,400 (台/時) (10 分間で 733 台) の需要を与え、リンク下流端の交通量が 0 になるまでのシミュレーションを行った。図 4-7 は設定した交通需要に対応する累積発生台数 (赤線) と道路リンクの累積交通量 (青線) を示す。設定した需要 (赤線) に対して直下のリンクでの渋滞の影響で通過交通量 (青線) は遅れて発生しているが、最終的に交通需要として設定した 733 台が発生しており、設定した需要が消滅することなくすべて流入している。

(2) ボトルネック容量の再現

ボトルネック容量の再現性は、渋滞で被る遅れ時間の再現精度に大きく寄与する。したがって、シミュレーションモデルにおいてもボトルネック容量が安定して再現されることを確認した。検証する際の道路条件を図 4-8 に示す。上流リンクの容量を 2,250 (台/時) とし、ボトルネック容量は、800, 1,000, 1,200 (台/時) の 3 パターンとする。常にボトルネックで渋滞が発生するように、1,500 (台/時) の交通需要を与える。各条件について 1 時間のシミュレーションを実行し、ボトルネック下流で通過交通量を記録する。なお、車両の発生パターンは等間隔発生とし、各リンクの上流端の流入量を交通量として計測した。

図 4-9 に、それぞれボトルネック容量 800, 1,000, 1,200 (台/時) の場合の 1 秒ごとの交通需要と通過交通量の推移および 1 分ごとの通過交通量および交通量-密度の関係を示す。いずれも需要発生後 1 時間後、需要

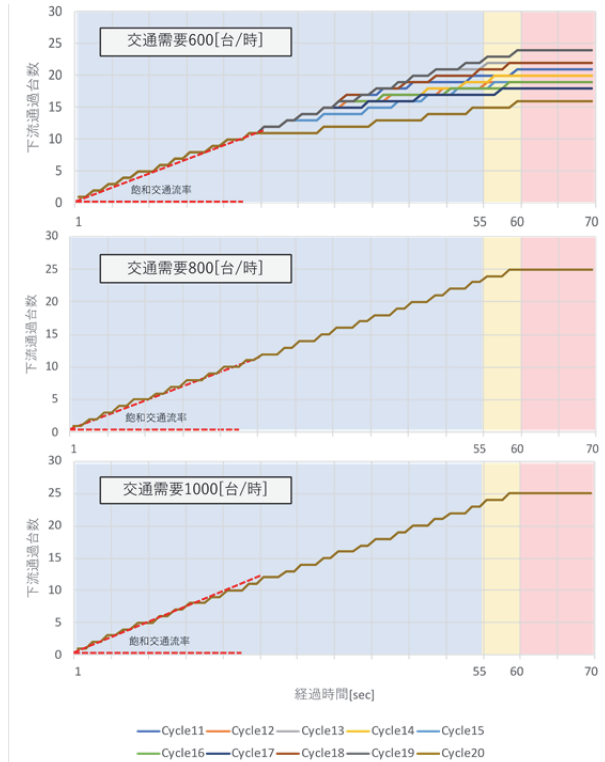


図 4-11 飽和交通流 1400 (台/時) 時の通過台数

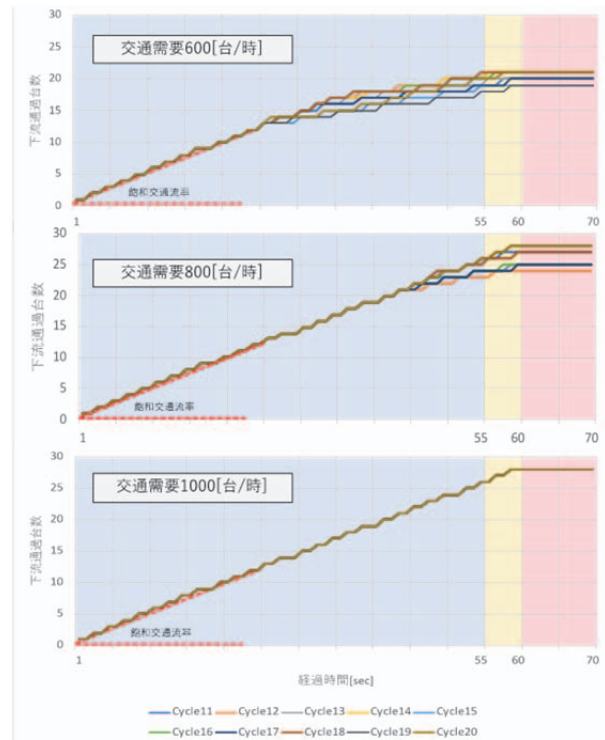


図 4-12 飽和交通流 1600 (台/時) 時の通過台数

1,500 (台/時) に対して通過交通量はそれぞれボトルネック容量とほぼ一致し、ボトルネック容量が達成されている。

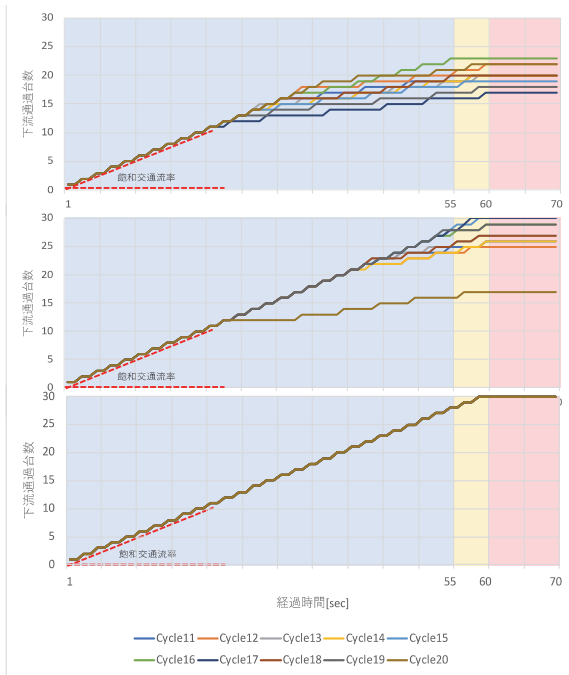


図 4-13 飽和交通流 1,800 (台/時) 時の通過台数

(3) リンク下流端の飽和交通流率

信号交差点では、赤現示の間に滞留した車両が青現示になった際に飽和交通流率で流出する現象の再現性を確認する。検証する道路条件は、図 4-10 に示すように、下流端が信号で制御される 1 車線のリンクからなるネットワークを仮定する。信号はサイクル長 120 (秒)、スプリット 50%、損失時間 10 (秒/サイクル) の定周期制御とする。リンク下流端の飽和交通流率は 1,400, 1,600, 1,800 (台/有効青 1 時間) の 3 パターンである。上流リンクからの到着需要を 600, 800, 1,000 (台/時) と変え、それぞれ 1 時間分のシミュレーションを行う。シミュレーションを開始して信号が 10 サイクル以降の 10 サイクル (11~20 サイクル) におけるリンクからの流出量を観測する。観測する時間間隔は 1 秒である。各リンク上流端の流入量を通過台数として計測した。

図 4-11~図 4-13 は各パラメータセットにおいて青現示が始まってからの 1 サイクルごとの流出交通量を累積曲線にし、その 10 サイクル分を重ねて示す。いずれも交通流が飽和している間はいずれのサイクルでも流率が安定して再現されていることを確認した。

(4) 渋滞の延伸と解消

ボトルネックを含む単路部において、需要がボトルネック容量を上回って、渋滞が上流に延伸する状況、および需要がボトルネック容量を下回って渋滞が上流から解消する状況が理論通りに再現されているかを確認する。検証する道路設定条件を図 4-14 に示す。ボトルネック上流リンクの交通容量を 1,800 (台/時)、ボトルネック

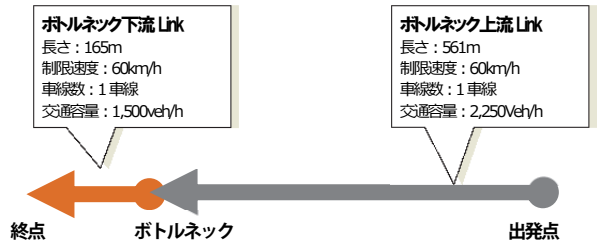


図 4-14 渋滞の延伸と解消の検証道路

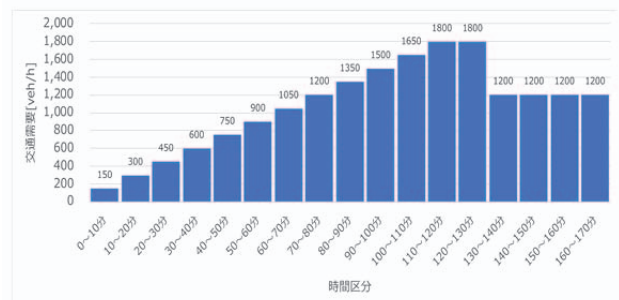


図 4-15 渋滞の延伸と解消の検証需要

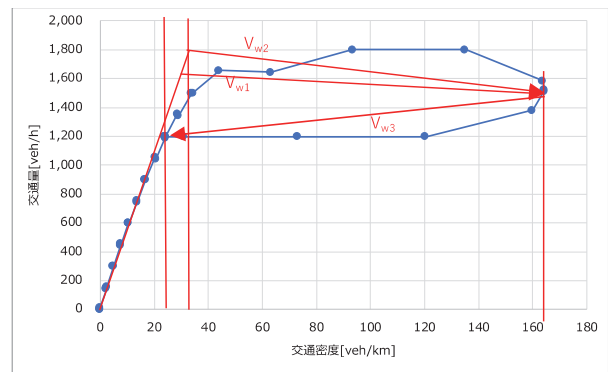


図 4-16 ボトルネック上流リンクの交通密度と交通量

下流リンクの交通容量を 1,500 (台/時) とする。

時間的に変動する交通需要の設定条件を図 4-15 に示す。シミュレーション開始後 0 分~120 分までは 10 分毎に交通需要を 150 (台/時) 増加させる。100 分~130 分の間は下流の交通容量 1,500 (台/時) を上回り、その後の 130 分~170 分の間は下流の交通容量を下回る 1,200 (台/時) とする。5 分ごとに各リンクの流入台数を交通量 (台/時) および交通密度 (台/km) (1 秒毎の交通密度) を出力した。なお、各リンクの上流端の流入量を交通量として計測した。

図 4-16 はボトルネック上流リンクの交通密度と交通量の関係を示す。交通密度は交通量が 1,500 (台/時) まで比例して増加する。ボトルネック容量を上回る需要が与えられる 100 分~130 分の間は下流のボトルネック容量である 1,500 (台/時) を超えた需要分がボトルネック上流リンクに渋滞として蓄積され、密度が徐々に増加する。リンク末端まで渋滞が延伸した時点で交通量の上限はボ

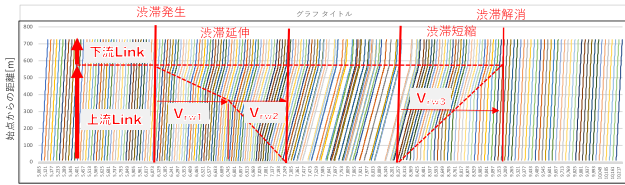


図 4-17 ボトルネック上流リンクの交通密度と交通量

表 4-3 ショックウェーブ速度の計算値と観測値の比較

	QK図から計算[km/h]	観測値[km/h]
V _{w1}	-1.08	-1.22
V _{w2}	-2.23	-2.41
V _{w3}	2.09	2.16

トルネック交通量の1,500 (台/時) となり収束する。その後、130分~170分の間はボトルネック容量を下回る1,200 (台/時) が与えられることで徐々に渋滞が解消するために、密度は減少し、最終的に交通量は需要と等しい1,200 (台/時) となる。

図4-17は車両1台ごとの軌跡を示す。横軸と縦軸はそれぞれ時間 (秒) と発生点からの距離を示す。シミュレーション開始後、ボトルネック容量を上回る交通需要1,650 (台/時) が与えられると、ボトルネック上流リンクにて渋滞が発生し、 V_{w1} (km/h) の速度で渋滞が延伸する。その後、ボトルネック容量を上回る交通需要1,800 (台/時) が与えられると V_{w2} の速度で渋滞が延伸する。ボトルネック上流リンク末端まで渋滞が延伸した後、ボトルネック容量を下回る1,200 (台/時) が与えられると、 V_{w3} (km/h) の速度で渋滞が短縮する。

渋滞の延伸・短縮 (ショックウェーブ) 速度 V_w (km/h) は下記の式で与えられる⁹⁾。

$$V_w = \frac{A - C_b}{(k_1 - k_2)} \quad (3)$$

ここで、 A (台/時) は流入交通量、 C_b (台/時) はボトルネック交通量、 k_1 (台/km) はボトルネック交通量に達した時点の交通密度、 k_2 (台/km) は交通量飽和時の交通密度を示す。表 4-3 に示すように、計算による渋滞の延伸・短縮速度と軌跡の図から実測した延伸・短縮速度とは概ね一致することを確認した。

(5) 経路選択行動の検証

設定した規範に従った経路選択がなされているかを図 4-18 に示す 2 経路のネットワークを用いて確認する。このネットワーク上の発生点と終点間には経路 1 と経路 2 の 2 の経路が存在し、経路 1 の方が経路 2 よりも距離は短い。発生点からネットワークに流入した車両は分流部において提示された経路コストに従って経路選択をする。

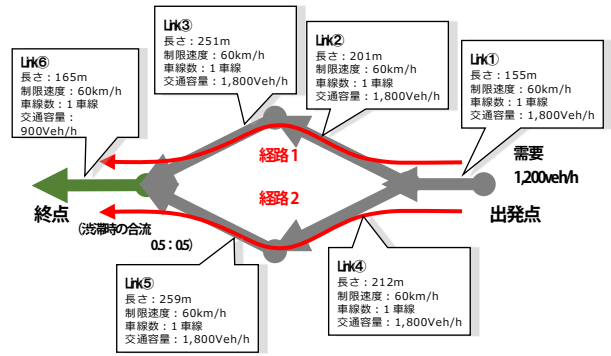


図 4-18 経路選択行動の検証用ネットワーク

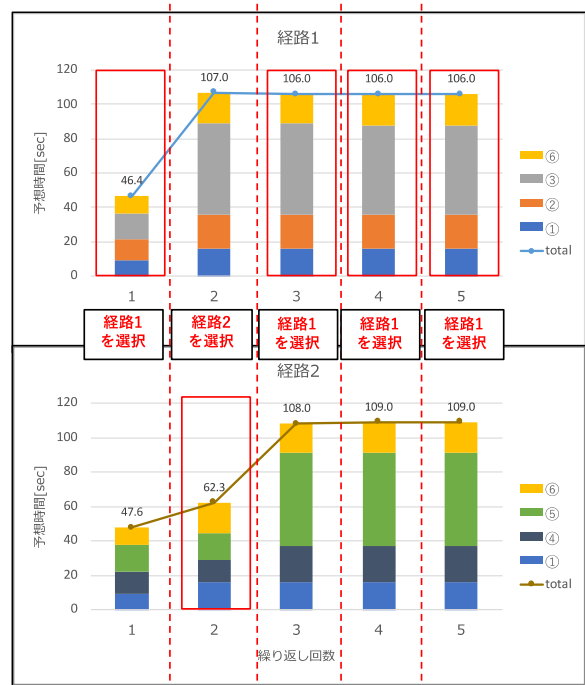


図 4-19 繰り返しごとの経路選択行動の変化

合流部がボトルネックとなるように容量を 900 (台/時) とし、その他の区間の容量は 1,800 (台/時) とする。また、渋滞時の合流比は 0.5 : 0.5 とした。

交通需要として 1,200 (台/時) を与える。K-MATSim では、ドライバーが過去の交通行動を学習することで経路選択行動が変化する。そのため、シミュレーションを 5 回繰り返し、その行動の変化を順次、確認した。サンプルとして先頭から 120 台目の車両を抽出し、各繰り返しごとの各経路路のコストと選択した経路の関係を追った。コストとしては予測移動時間とする。

以下、図 4-19 に繰り返しごとの各経路のコストと経路選択行動の結果の推移を追いかける。まず、繰り返し 1 回目は、全てのリンクで走行実績がないため、制限速度とリンク長のみで移動時間を算出する。経路 1、経路 2 の予測移動時間は、それぞれ 464 秒、47.6 秒となり、時間の短い経路 1 が選択されている。次に、繰り返し 2 回目

では、繰り返し 1 回目で利用した道路リンクについては、走行実績時間、それ以外の道路については制限速度とリンク長によって移動時間が算出される。リンク①とリンク⑥については経路 1 と経路 2 とで共用されているため、いずれも実績時間がコストとなる。これより、経路 1、経路 2 の予想移動時間は、それぞれ 107.0 秒、62.3 秒となり、時間の短い経路 2 が選択される。3 回目の繰り返しになると、繰り返し 1 回目と 2 回目で利用されたリンクについては走行実績時間、それ以外のリンクについては制限速度とリンク長により算出される移動時間となり、経路 1、経路 2 の予想移動時間は、それぞれ 106.0 秒、108.0 秒となるので、予測移動時間の短い経路 1 が選択される。以下、このプロセスが繰り返され、最終的には経路 1、経路 2 の移動時間は等しくなって収束する。以上より、設定した規範に沿った経路選択がなされていることが確認された。

4.4 おわりに

本章では、対象地域の交通環境と交通利用者の交通行動をシミュレートし、交通サービスの利用状況や交通状況を事前に評価するためのツールとして開発したメソッドコピック交通流シミュレーションモデル K-MATSim の挙

動を確認し、交通流シミュレーションモデルが標準的に備えるべき性能を有することを検証した。K-MATSim は種々の交通計画や交通政策による需要の予測やインパクトの評価に適用できる。

参考文献

- 1) 赤松隆, 和田健太郎: 動的な交通ネットワーク流問題, Proceedings of the Twenty-Sixth RAMP Symposium Hosei University, Tokyo, October 16-17, 2014 年.
- 2) F. Ciari, M. Balac, M. Balmer: Modelling the effect of different pricing schemes on free-floating carsharing travel demand: a test case for Zurich, Switzerland, Springer Transportation, No. vol.42(3), pp.413-433, 2015 年 5 月.
- 3) Amr M. Wahaballa, S. Hemdan, F. Kurauchi: Effect of Different Road Pricing Strategies on a Multimodal Network with a Hysteretic Macroscopic Fundamental Diagram, The 16th ITS-AP Forum FUKUOKA, 2018 年 5 月.
- 4) 飯田恭敬, 藤井聡, 内田敬: 道路網における経路選択を考慮した動的な交通流シミュレーション, 土木学会論文誌, No.536, pp.37-47, 1996 年 4 月.
- 5) (社) 交通工学研究会 交通シミュレーション自主研究委員会: 交通流シミュレーションの標準検証プロセス Verification マニュアル (案), <http://www.jste.or.jp/sim/manuals/VfyMan.pdf>, 2004 年 6 月.
- 6) 公益財団法人 国際交通安全学会: 交通・安全学, 2015.3

第5章 K-MATSimによるカーシェアリングの需要予測と道路空間の利活用評価

5.1 はじめに

第3章では、ワンウェイ型CSサービスへの転換モデルを組み込んだCS運用シミュレーションモデルによる需要予測とインパクト評価を行った。その際のシミュレーションモデルではゾーン間の所要時間はあらかじめ与えた値、ここではPT調査から得られる自動車利用によるゾーン間所要時間の回答値の平均値を用いており、自動車からCSへの転換によって道路交通流に変化が生じたためにゾーン間所要時間も変化するようなケースについては考慮できない。このような交通ネットワーク上の交通流の変動によるサービス水準の変化を時々刻々と再現するのが交通流シミュレーションモデルであり、4章で開発したK-MATSimである。ここではK-MATSimを用いてワンウェイ型CSサービスが導入された場合の利用需要の予測と各種インパクトについて分析を行う。

ここでは、まず、熊本都市圏へワンウェイ型ステーションベースのCSサービスを導入することを想定し、K-MATSimによる交通均衡状態再現までの挙動を追跡する。

さらに、均衡時のCSサービスの利用需要の予測と各種のインパクトの評価を行うことを第一の目的とする。

ステーションベース型のCSサービスの利便性を高めるためには、利用者の起点からのアクセス、目的地までのイグレスの距離を短くするべく、より多くのCS用ステーションを設置するのが望ましい。ステーションベース型の駐車場設置方法として、路外に設ける方法と路上に設ける方法がある。路外に設ける方法は、交通流への影響は少ないものの、専用の駐車スペースが必要となるため、その確保は容易でない。路上に設置する場合は、用地の確保は容易であるが、交通流への影響が懸念される。パリ都市圏でステーションベース型CSサービスを展開していたAutolib'は、ステーションの多くを路上に設置しており、ステーション間の平均距離は360mと非常に密に設置していた。このように、より多くのステーションを配置するためには路上への設置が望ましいが、一方で既存交通への配慮が必要となる。そこで、熊本都市圏にステーションベースのCSサービスを導入する際、路上へのステーションが設置が交通流動に与える影響をK-MATSimを用いて評価し、どのような配慮が必要かを考察することを第二の目的とする。

表 5-1 地理情報として利用するデータ

地理情報	利用データ
ゾーン	<ul style="list-style-type: none"> 統計局平成24年小地域（世界測地系、Shapefile形式） パーソントリップデータのゾーンに対応するように統合
道路	<ul style="list-style-type: none"> 日本デジタル道路地図協会より貸与いただいた全国デジタル道路地図データベース（平成29年3月版、熊本県熊本市全域、Shapefile形式）
バス路線	<ul style="list-style-type: none"> 国土数値情報 バスルート（平成23年度版、Shapefile形式） バス区分が「路線バス」のみ抽出
バス停留所	<ul style="list-style-type: none"> 国土数値情報 バス停留所データ（平成22年度版、Shapefile形式） バス区分が「路線バス」のみ抽出
ステーション	<ul style="list-style-type: none"> 評価シナリオに基づく42箇所の位置

5.2 K-MATSimによる分析のための条件設定

(1) 利用データ

空間モデルにおける各種地理情報として利用するデータを表5-1に示す。交通利用者の発生モデルに用いるデータは、分析の対象地域である熊本都市圏で2012年に実施された最新の第4回熊本都市圏パーソントリップ調査（平成24年度熊本都市圏総合都市交通体系調査）データを利用する。本データには拡大推計後の2,716,654トリップのデータが含まれている。なお、移動目的についてはオリジナルでは16区分であるものを表5-2に示

表-5-2 目的区分の統合

16区分	目的区分	6区分	目的区分
1	勤務先へ	a	勤務先へ
2	通学先へ	b	通学先へ
3	自宅へ(帰宅)	c	自宅へ
4	買い物へ	d	私用目的
5	食事・社交・娯楽		
6	観光・行楽・レジャー		
7	散歩・ジョギング		
8	通院		
9	送迎		
10	その他の私用	e	業務目的
11	販売・配達・仕入れ・購入先へ		
12	打合せ・会議・集金・往診へ		
13	作業・修理へ		
14	農林漁業作業へ		
15	その他の業務へ	f	不明
16	不明		

すように6区分に再分類した。

(2) CSサービスの導入エリア

ワンウェイ型 CS サービスの導入対象エリアは、図 5-1 に示す平成 24 年度熊本都市圏総パーソントリップ調査のゾーン分割のうち、熊本市中心部からおおよそ半径 5km 圏内に含まれる 29 の C ゾーンとした。ここではトリップの OD がいずれも該当エリアである交通利用者のみを対象とするため、シミュレーション対象エリアもこれと同一のエリアとしている。

対象エリア内の道路とバス路線については、それぞれ Arc GIS Geo Suite 道路網 2018 の熊本県版、国土数値情報のバスルートデータを用いている。また、対象とする OD 交通量は、その発地と着地がいずれも対象エリア内にあり、自動車の運転免許を保有しているなど、第 4 回熊本都市圏パーソントリップ調査のマスターデータから抽出された CS サービスが利用可能な 151,480 のトリップである。

(3) ワンウェイ型 CS サービス導入のシナリオ

CS サービスには、専用のステーションで借用・返却するステーションベース型とサービス提供エリアの許可された道路の路側帯や公共駐車場に返却可能なフリーフロート型がある。フリーフロート型はステーションベース型よりも自由度が高く、欧米では主流であるが、我が国では路上駐車認められていないことから、ステーションベース型が主流になると思われる。そのため、熊本都市圏へ導入する CS サービスはステーションベース型

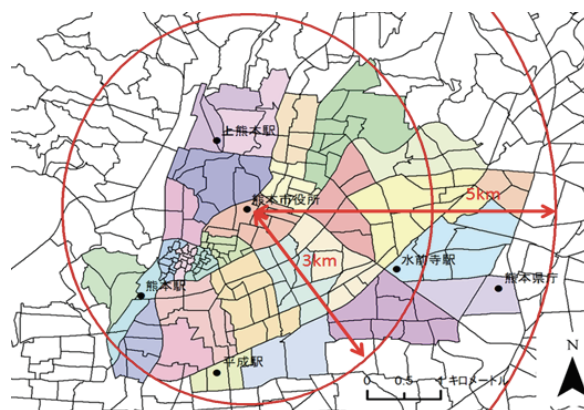


図5-1 OWCSのサービス対象エリア

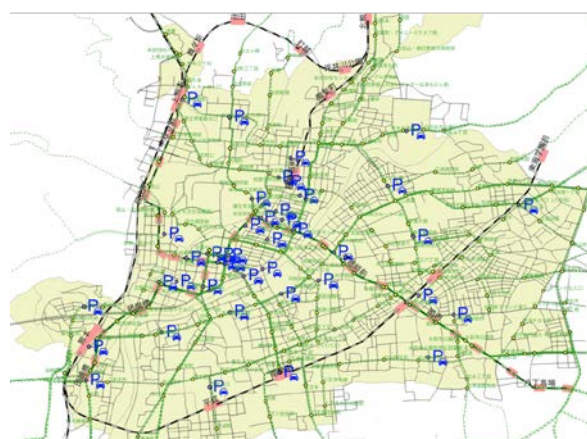


図 5-2 ステーションの配置
(図中の P のアイコンがステーションを示す)

を想定とする。CS サービスの内容は以下の通りである。

- 1) サービス対象エリア：CS サービスの導入エリアと同一のパーソントリップ調査の 29 の C ゾーンである。
- 2) ステーション配置：図 5-2 に示すように、ステーションは対象地域内の駅や電停付近に 1 箇所ずつ、中心市街地には町丁目ごとに 1 箇所ずつ、合計 42 箇所を配置する。各ステーションには 5 台分の駐車スペースを設ける。
- 3) 貸出車両：貸出車両は表 5-3 に示す超小型の電気乗車 (MEV : Micro Electronic Vehicle) とした。MEV は小型であるため幅員の狭い道路でも通行可能である。しかし、乗車定員が大人 2 人となっているため、同乗車人数が 2 人以下の場合のみ、利用可能とする。
- 4) 利用可能な車両台数は各ステーションに 3 台ずつ配置された全 126 台である。1 日のはじめに 1 ステーションの配置数は 3 台にリセットされ、日中には再配置は行わないものとする。
- 5) 利用料金：1 分あたり 20 円とする。
- 6) 予約リードタイム：車両の予約は利用する 30 分前までとする。

表5-3 貸出車両の概要

サイズ (全長×全幅×全高)	2,500×1,250×1,445 (mm)
最速度	80km/h
最航続距離	60km程度
充電時間	3時間未満
乗数	大人2人または大人1人+子供2人

交通利用者は、パーソントリップ PT 調査のトリップデータごとの発生データに基づき発生させるが、出発地・目的地のいずれも対象地域内に含まれ、代表交通手段が自動車（乗用車、軽乗用車）、二輪車、原付、路線バス、自転車、徒歩のいずれかであり、その交通手段が表5-4の条件に合致するトリップだけとする。なお、代表交通手段が路線バス、自転車、徒歩の交通利用者については、道路交通に影響を及ぼさないため、CS サービスシステムの乗換可能性のある自動車運転免許保有者だけを対象としている。その結果、シミュレーションの対象となるトリップ数は146,482トリップとなった。

信号機については、実際に設置されている箇所とそれらのパラメータを調査する必要があるが、これらの情報の収集は容易でないため、ここでは道路幅員が13mを超える全ての主要交差点に信号機を設置し、サイクルは120秒、スプリットを0.50とした。ただし、オフセットは設定していない。

(4) 転換と経路選択に関する行動モデル

1) CSへの転換モデル

対象とする151,480トリップのそれぞれを一人の交通需要者として扱う。シミュレーション上で対象とする交通手段は、CS、自家用車、路線バス、二輪車（原付含む）、自転車、および徒歩である。各交通利用者は、一日のはじめに当日の交通行動の意思決定を行う。自身のトリップを現利用手段からCSに転換する場合、予約が受け付けられればCSを利用し、予約が受け付けられない場合には既存の交通手段を選択する。

OWCSサービスへ転換するか否かの判断は、表5-5に示すCSへの転換モデル¹⁾により判定される。このモデルは、2項ロジットモデルで表現されており、過去に転換確率が0.5を超えた回数に対して予約が成立しなかった割合を示す「予約が受けられない確率」により、日々更新される構造となっている。これは、CSサービスを予約できないリスクを回避する行動を表現しており、日を更新する毎に予約の成否の経験が更新される。予約する際に、出発地付近のステーションに利用可能な車両がない、目的地付近の駐車スペースに駐車ができないなど予約が不成立のケースが増えると、OWCSシステムへ

表5-4 各交通手段の利用条件と経路選択肢

選択した交通手段	利用条件	経路選択肢
乗用車	1)自家用車保有者 2)自動車免許保有者	乗用車での予測所要時間が短い上位3経路
CS	3)自動車免許保有者 4)乗車人数が3人未満 5)出発地から300m以内にあるデポに予約可能な車両がある場合 6)目的地から300m以内にあるデポに駐車可能なスペースがある場合	利用可能な出発デポと到着デポの全ての組合せについて、それぞれデポ間のMEVでの予測所要時間が短い上位3経路。なお、出発地から出発デポまで、および到着デポから目的地までは徒歩で予測所要時間が最短の経路とする。
二輪車	7)二輪車保有者 8)二輪免許保有者	二輪車での予測所要時間が短い上位3経路
原付	9)原付保有者 10)原付免許、二輪免許、自動車免許のいずれかの保有者	原付での予測所要時間が短い上位3経路
路線バス	11)出発地から300m以内に停留所がある場合 12)利用可能な出発停留所と到着停留所のうち同一の路線の組合せが存在する場合	バスの予想所要時間が短い上位3の経路。なお、出発停留所から到着停留所までは同一路線のバス経路とし、出発地から出発停留所まで、および到着停留所から目的地までは徒歩で予想所要時間が最短の経路。 バスの予想所要時間は、所要時間と待ち時間の合計時間とする。所要時間は、渋滞を考慮せず一定速度(30km/h)で移動するものとする。待ち時間は運行時間を17時間(6:00~23:00)と想定し路線の平日の1日あたりの運行本数の平均値で割った値の1/3とする。
自転車	自転車保有者	自転車での予測所要時間が最短の経路
徒歩	なし	徒歩での予測所要時間が最短の経路

表5-5 CSサービスへの転換モデル

	説明変数	推定値	
置き換える	料金時間 (円/min)	-0.0188	-10.33
	事前予約時間 (分)	-0.0046	-1.83
	予約が受けられない確率 (の逆数)	0.047	1.96
置き換えない	トリップ所要時間 (分)	-0.016	-3.26
	私用・業務目的ダミー	-0.415	-2.20
	性別 (男性=1)	-0.318	-1.68
	年齢	-0.011	-2.07
	サンプル数	784	
	尤度	0.31	
	的中率	0.74	

の置き換え確率は小さくなる。

2) 経路選択モデル

移動する交通手段が決定すると該当交通手段での移動

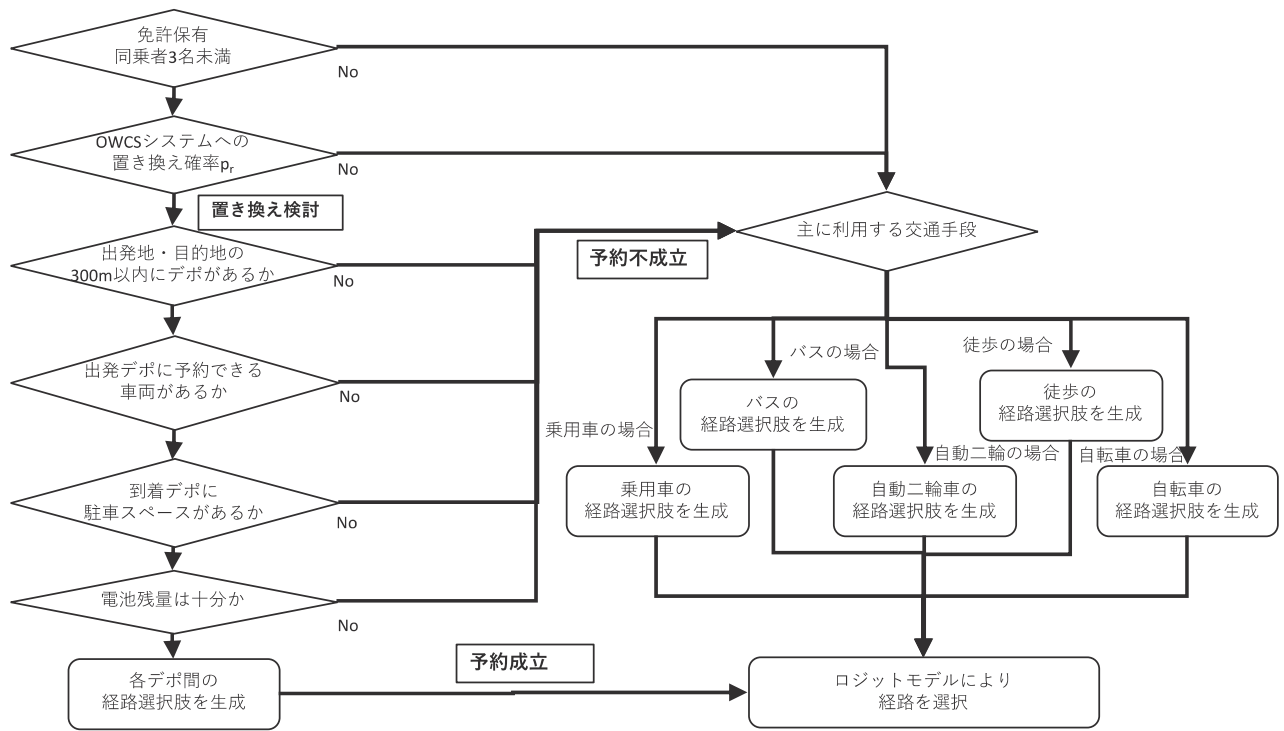


図5-3 交通利用者の交通行動モデルのフロー

経路を決定する。道路網上を移動する自家用車，CS 車両，および二輪車については，予測移動時間の短い上位 3 経路から確率的に選択すると仮定した。これは，交通需要者は必ずしも最短時間経路を選択するのではなく，予想移動時間の短い幾つかの経路選択肢の中から，確率的な経路を選択するという，個人のより合理的な経路探索行動を表現している。なお，経路探索は各道路リンクの距離と制限速度，または過去の移動実績時間に基づく

予想移動時間をコストとした A*アルゴリズムによって行う。交通行動モデルの一連のフローを図5-3に示す。

5.3 需要予測と社会・経済インパクトの評価

CS サービスの需要予測と導入結果の評価は図 5-4 に従って行う。まず，道路データやトリップデータ，および OWCS シナリオデータなどのデータを入力して，シミュレーションを実行する。対象エリア内の交通需要者の交通行動を決定後，交通状況をシミュレートし，交通行動結果を次の日の交通行動に反映させる。このプロセスを繰り返す，最終的に交通利用者の交通行動の変化が 1%以下に収束した均衡時点でのサービス利用状況や交通状況の評価を行う。

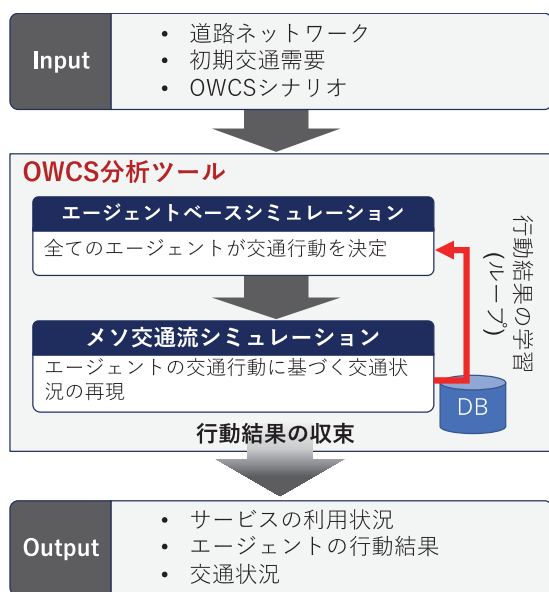


図 5-4 CS の導入効果の評価プロセス

(1) OWCS サービスの利用需要

シミュレーションを実行した時間帯は 0:00~24:00 からの 1 日であり，これを 50 日分，実施した。図 5-5 は前日から交通手段，経路の交通行動を変更した交通需要者の全需要者に対する比率を示す。39 日目以降は変更した比率が 1%以下となり，収束したとみなす。この間，予約が受けられて実際に CS サービスへ転換した数の日々の推移を図 5-6 に示す。CS サービスの利用者数は，概ね 1 日あたり 1,770 人前後で推移している。

図 5-7 には CS 利用検討者数の推移を示す。ここで利

用検討者数とは、CS の効用が最大となって転換の意志を持つ需要者であり、予約を試みた利用者数である。

シミュレーション開始直後は 1 日あたり 9,500 人が CS サービスの利用を検討していたが、日数が経過するにつ

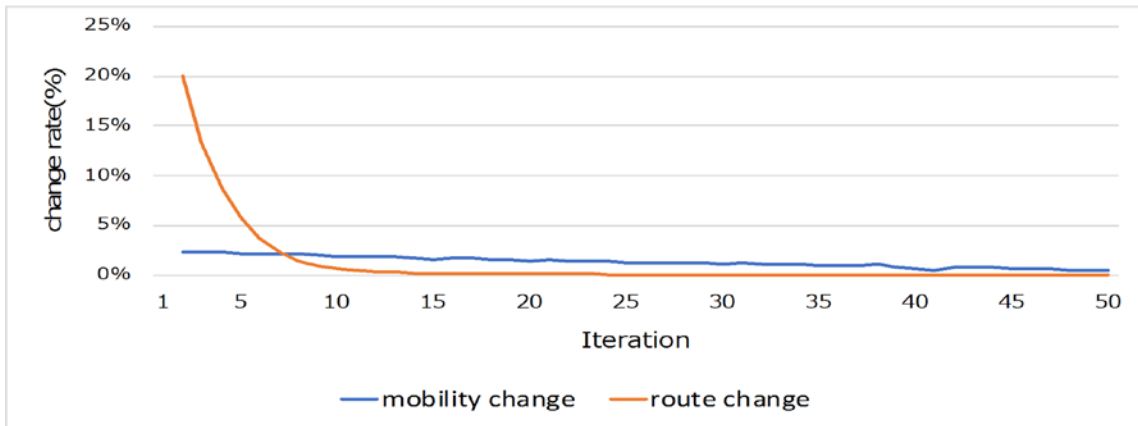


図 5-5 交通需要者の交通行動の変更割合の推移

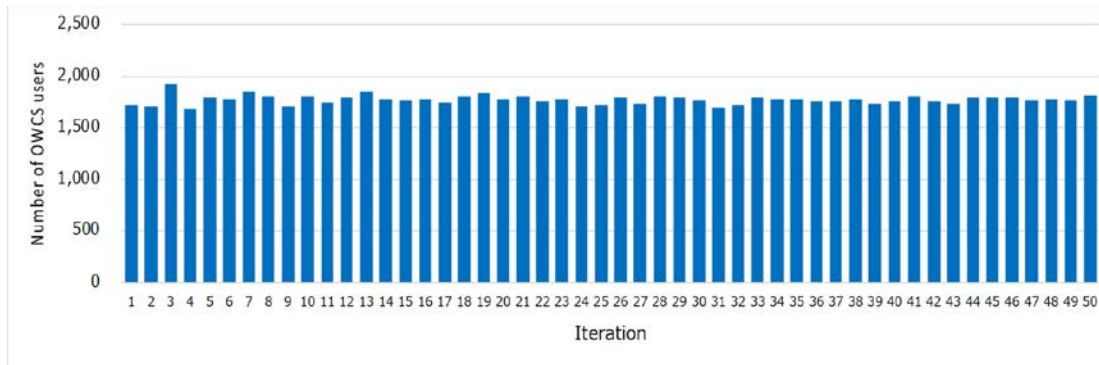


図5-6 CSサービスへの転換者数の推移

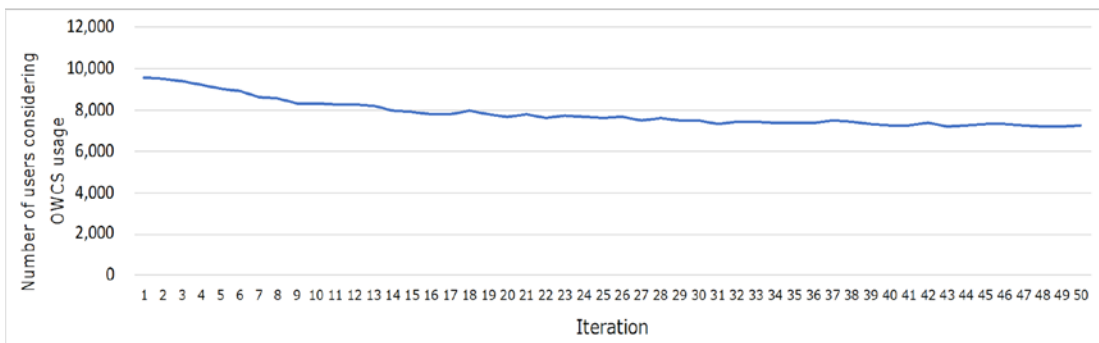


図5-7 CSサービスの利用検討者数の推移

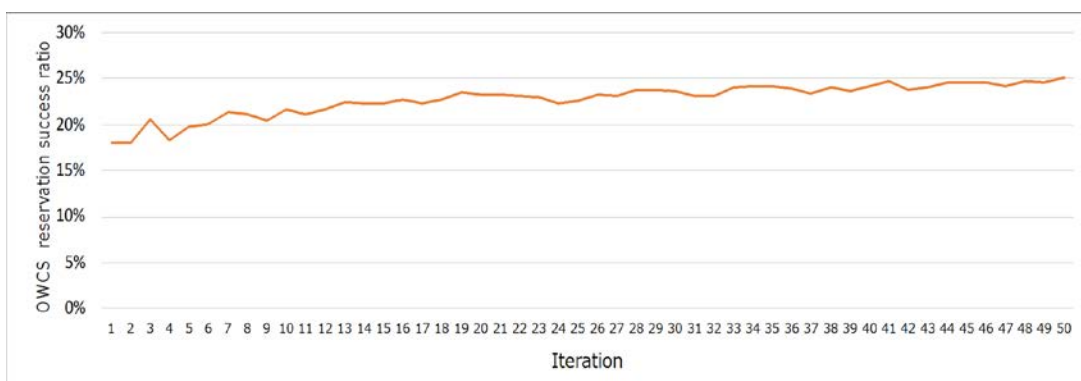


図5-8 予約成立率の推移

表5-6 50日目のCSサービスの利用状況

予約成立率 (%)	25.08
利用回数 (回/日)	1,815
車両利用回数 (回/台/日)	14.40
合計走行距離 (km/日)	2,398
平均移動距離 (km/トリップ)	1.32
合計レンタル時間 (日)	73h50m30s
平均レンタル時間 (トリップ)	2m26s

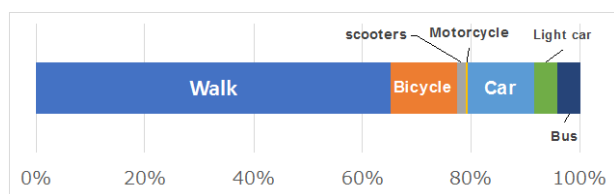


図 5-9 CS への転換利用者の既存交通手段

れて徐々に減少し、40日以降は1日あたり7,250人程度に収束している。図5-8はCS予約成立率の推移を示す。シミュレーション開始直後は22%程度であるが、日数が経過するに伴い徐々に増加し、40日以降は約25%に収束している。以上の結果から、CSサービス開始直後には多くの交通需要者が利用を検討して予約を試みるが、車両の不足や偏在などの理由で予約が成立しないケースが多くなるにしたがってCSへの転換を検討する需要者が徐々に減少してくることが分かる。しかし、40日経過後には、この傾向も収束し、約25%程度の予約成約率で均衡することが分かる。

50日目のCSサービスの利用状況を表5-6に示す。1トリップあたりの平均移動距離は1.32km、平均レンタル時間も2分26秒のように、比較的短距離の利用が多い。図5-9にはCSに転換する前の利用交通手段の割合を示す。65%が徒歩、12%が自転車からの転換となっている。以上の結果から、徒歩や自転車といった比較的短距離のトリップがCSに置き換わる傾向が高いこと、これらは従来道路網を利用していないトリップであるので、CSサービス導入後はMEVではあるが、自動車交通量が増加する可能性がある。

(2) CSサービス導入による効果

5-7はCSサービス前後の13m以上、5.5m以上～13m未満、3.0m以上～5.5m未満、3.0m未満といった道路幅員区分別のMEVを含む自動車類の利用率の変化率を示す。OWCSサービス導入後はすべての道路幅員区分で自動車類に利用される道比率が増加している。特に幅員が小さい道路の利用率が増加している。これは、CS車両は車体幅が小さいことから、幅員の狭い道路が以前より活用されていることを示唆する。

表5-7 道路幅員区分ごとの道路利用の増減割合

道路幅員	利用率の増減割合 (5試行時)
13m以上	4.8%
5.5m～13.0m	6.1%
3.0m～5.5m	11.0%
3.0m未満	31.0%

5.4 K-MATSimによる路上駐車スペースが道路交通流に与える影響分析

ステーションベース型のCSサービスの利便性を高めるためにはより多くのステーションを配置することが望ましい。このとき、ステーションの設置場所として路外、または路上がある。路外に設置すれば既存交通への影響は少ないものの、専用のスペースが必要となり、その空間の確保は容易でない。路上に設置する場合は、空間の確保は容易であるが、既存交通への影響が懸念される。より多くのステーションを配置するためには路上への設置が望ましいが、一方で既存交通への配慮が必要となる。ここでは、熊本都市圏にステーションベース型CSを導入する際、路上にステーションを設置することによる道路交通流への影響をK-MATSimを用いて評価し、ステーションの路上設置の場合に必要な配慮について考察する。

(1) 利用データ

分析対象エリアは、前節の分析エリアと同様の平成24年度熊本都市圏パーソントリップ調査エリアのうち、熊本市中心部から半径5km圏内に含まれる29のCゾーンとした。ここでは、CSのステーションの路上設置が道路交通システムに与える影響を評価するために、対象エリアへ流入する車両だけでなく対象エリアから流出する車両もインプットの交通需要とする。このために対象エリアの周辺のトリップも考慮する必要があるため、シミュレーション対象エリアは、平成24年度熊本都市圏パーソントリップ調査が対象とする全てのゾーンとした。

網についてはArc GIS Geo Suite 道路網2018の熊本県版を、バス路線については国土数値情報のバスルートデータを参照している。

CSサービスが提供されるエリアについては全ての道路を対象とする。しかし、その外側のエリアについては、経路探索にかかる計算コストを抑制するために、バックグラウンド交通としてサービス対象エリアへ流出・流入する自動車交通が通過する最小限の主要幹線道路だけを抽出した。図5-10はシミュレーション対象エリアと対象道路網を示す。図中の青色のゾーンはCSのサービス対象エリアであり、青色の実線は上記の道路である。

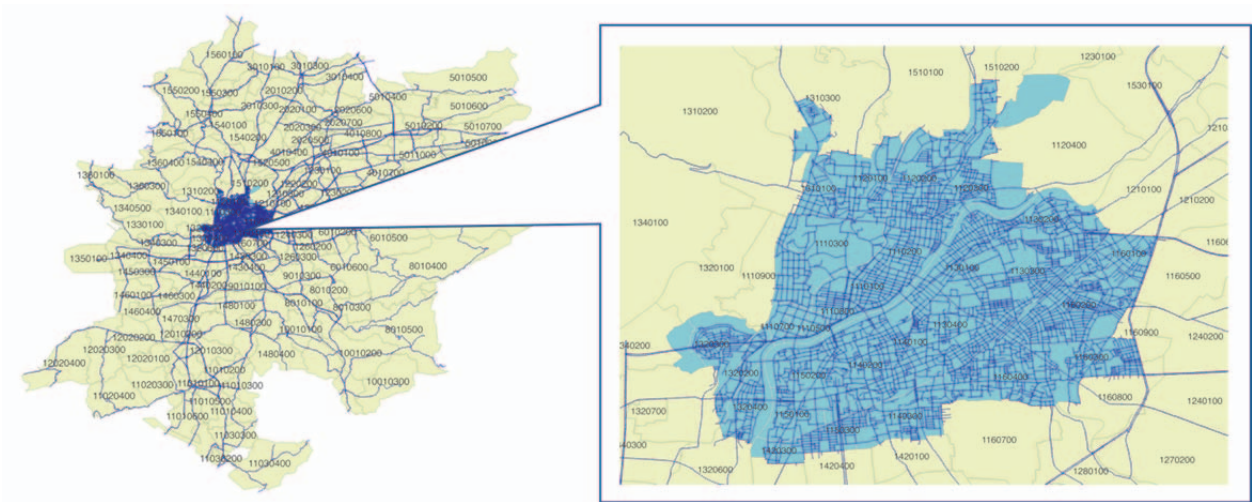


図 5-10 シミュレーション対象エリアと対象道路



図 5-11 ステーションの配置
(図中の「P」アイコンがステーションを示す)

シミュレーションの対象とするトリップは該当エリアの背景交通に寄与するトリップも考慮して下記の合計 335,150 トリップとした。

- 1) PT 調査データから OD がいずれも OWCS サービス対象エリア内であり、自動車の運転免許保有など OWCS が利用可能な条件に合致する 151,480 トリップ
- 2) OD のいずれかが対象エリアに含まれ、代表交通手段が自動車の 183,670 トリップ (背景交通トリップ)

(2) 駐車スペースの路上への設置シナリオ

導入するステーション型 CS サービスの内容は以下の通りである。

- 1) サービス対象エリア：前節(2)の対象エリアと同じ第 4 回熊本都市圏パーソントリップ調査の 29C ゾーン
- 2) ステーション配置：ステーションは、図 5-11 に示すように、対象地域内の駅や電停付近に 1 箇所ずつ、中心市街地には町丁目ごとに 1 箇所ずつ配置し、合計 42 箇所を配置する。各ステーションには 5 台分の駐車スペースを設ける。42 箇所のステーションについては、それぞれ路上に設置しやすい道路区分を

選択して設置した。

- 3) 路上へのステーション配置による道路交通容量：ステーションを設置した道路区間については、1 車線分の交通容量を半分にした。
- 4) 貸出車両：貸出する車両は、前節同様の超小型の電気乗車 (MEV) である。利用可能な車両台数は全 126 台とし、初期条件として 42 の各ステーションに 3 台ずつ配置する。1 日のはじめに 1 ステーションの配置数は 3 台にリセットされ、それ以外の再配置は行わないものとする。
- 5) 利用料金：1 分あたり 20 円とする。
- 6) 予約リードタイム：車両の予約は利用する 30 分前までとする。

(3) 交通行動モデル

対象とする 335,150 トリップのそれぞれを一人の交通利用者として扱う。シミュレーション上で対象とする交通手段は、CS、自家用車、路線バス、二輪車 (原付含む)、自転車および徒歩である。各交通利用者は一日のはじめに当日の交通行動の意思決定を行う。自身のトリップを OWCS に置き換え可能か判断し、可能であれば OWCS システムを選択し、利用できない場合には既存の交通手段を選択する。CS サービスへの転換意向および予約受け入れの判断条件は前節と同様である。なお、バックグラウンドの交通である 183,670 トリップについては、OD が CS サービス提供エリア外であるため、自家用車を選択するものとした。

移動する交通手段が決定すると該当交通手段での移動経路を決定する。経路選択方法についても前節と同様である。

(4) 評価方法とシミュレーションの結果

KMATSim に対象エリアのステーションの路上設置に

に伴い、当該断面の交通容量が1車線の半分だけ削減された道路交通容量の情報を含む道路網データ、対象エリアのトリップデータ、およびCSシナリオデータなど必要なデータを入力し、シミュレーションを実行する。対象エリア内の交通需要者の交通行動を決定後、交通状況をシミュレートし、交通行動結果を次の日の交通行動に反

映させる。これを繰り返す、最終的に交通利用者の交通行動の変化が1%以下になった時点で均衡したとみなし、サービス利用状況や交通状況の評価を行う。なお、バックグラウンドの利用者は日々の行動に変化はないものとした。シミュレーション対象とする時間帯は道路の混雑する朝の通勤時間帯(6:00~10:00)とし、これを50日分、実施した。

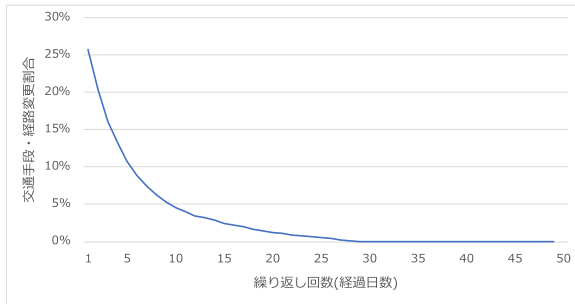


図5-12 交通利用者の交通行動の変更割合の推移

図5-12は前日から交通手段か経路を変更した交通利用者の比率を示す。30日目に変更比率が1%以下となり、フローは収束したと判別した。これより、ステーションを路上に設置するか路外に設置するかを除いてその他の条件は共通として、それぞれ50日分のシミュレーションを実施した。

図5-13は路上、および路外にステーションを設置した場合の50日目における6:00~10:00のリンク交通量の平均値を示したものである。また、図5-14には

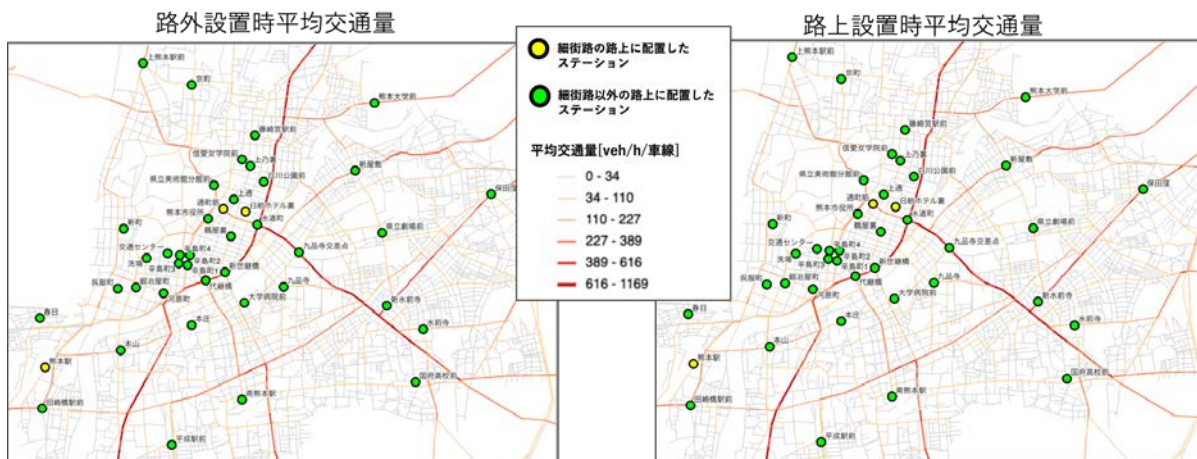


図5-13 50日目の平均時間交通量(左:路外設置時, 右:路上設置時)

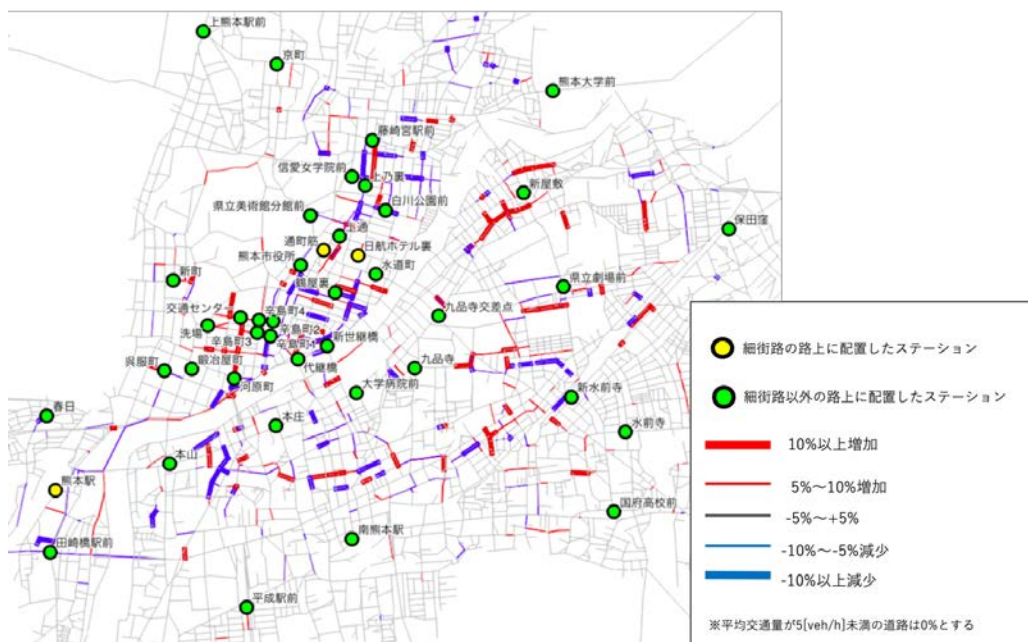


図5-14 路上へのステーション設置時の平均時間交通量の増減比

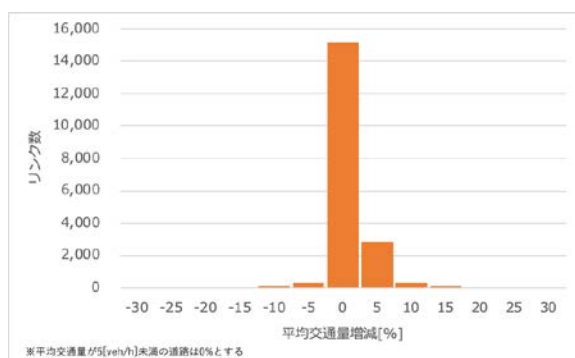


図5-15 平均交通量の増減比率の道路リンク数

ステーションを路外に設置した場合に対する路上に設置した場合の平均交通量の比率を示す。いずれの図からも、路上にステーションを設置することにより、容量が小さくなる分、ステーション前後の道路区間の交通量は減少するが、周辺の道路へ車両が迂回するのに伴って、ステーションの周辺道路の交通量が増加することが分かる。特に交通量の多い交差点付近に設置されたステーション周辺での影響が大きい。

図 5-15 は、路上にステーションを設置したことによる平均交通量の増減比率のヒストグラムである。増加率の値は大きくないものの、平均交通量が減少した道路よりも増加した道路の数がかなり多くなっていることが分かる。

以上の結果から、路上に設置されたステーションは周辺道路の交通量に影響を及ぼす。また、元々交通量の多い道路上にステーションを設置すると、迂回する車両が生じるために周辺道路への影響が大きい。従って、路上へのステーションを設置する場合は、交通量の多い幹線道路の交差点付近は避け、当該道路から 1 本入った交通量の少ない道路に設置することが望ましいと考えられる。

5.5 おわりに

熊本都市圏へのワンウェイ型カーシェアリングサービス導入時におけるサービスの利用状況や交通状況を独自に開発した K-MATSim を用いて評価した。その結果、以下のような示唆が得られた。

- 1) OWCS サービスを開始直後は、予約が成立しないケースが多くなるため OWCS へ置き換えを検討する利用者が徐々に減少する可能性がある。
- 2) 26%以上の予約成約率があれば OWCS サービスを持続できる可能性がある。
- 3) 徒歩や自転車といった比較的短距離のトリップが OWCS に置き換わる傾向が高くなる。
- 4) OWCS へ置き換える利用者の多くが、従来道路を利

用していない利用者であるため、OWCS サービス導入後に交通量が増加する可能性がある。

- 5) OWCS サービス導入によって、より多くの道路が有効活用されるようになり、特に狭い道路が活用される傾向が高い。

熊本都市圏にステーションベース型 OWCS が導入される場合において、路上へのステーション設置が交通状況に与える影響を OWCS 分析ツール APTSim を用いて評価した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) ステーションを路上に設置することにより、道路交通への影響があり、全体として交通量が増加する傾向にある。
- 2) 交通量の多い道路の路上にステーションを設置した場合、迂回車両増加により周辺道路へ及ぼす影響が大きい。
- 3) 路上ステーションは、交通量の多い交差点付近はできるだけ避け、交通量の多い道路から 1 本中に入った交通量の少ない道路への設置が望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也:ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と最適ステーション配置, 土木学会論文集 D3, Vol. 73, No. 3, pp. 135-147, 2017.
- 2) 溝上章志, 中村賢太, 橋本淳也:ワンウェイ型 MEV シェアリングシステムの導入可能性に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, pp. L_805-L_816, 2015.
- 3) 中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也:ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と最適ステーション配置, 土木学会論文集 D3, Vol.73, No.3, pp.135-147, 2017.
- 4) 赤松隆, 和田健太郎: 動的な交通ネットワーク流問題, Proceedings of the Twenty-Sixth RAMP Symposium Hosei University, Tokyo, October 16-17, 2014.
- 5) M. Balmer, K. Meister, M. Rieser, K. Nagel and K. W. Axhausen: Agent-based simulation of travel demand Structure and computational performance of MATSim-T, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung 504. June 2008.
- 6) D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch and L. Bieker. : Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility, International Journal On Advances in Systems and Measurements, 5 pp. 128-138, 2012.
- 7) 溝上章志, 松井寛:Fisk 型確率均衡配分モデルの未知パラメータ θ の推定に関する一手法, 交通工学, Vol.25, No.2, pp.21-29, 1993.

第6章 おわりに

6.1 当初の研究目的と計画

ドイツの car2go やフランスの autolib' など、欧米を中心に大規模なワンウェイ型カーシェアリングサービスが実装され、定着してきている。現在、我が国では駐車や自家用車の保有に関する厳格な規制のため、一部を除いて事業としてのワンウェイ型のカーシェアリングサービスは存在しない。しかし、利便性が高く、事業としても運営が可能なワンウェイ型カーシェアリングサービスは自動運転技術の成熟や MaaS の普及に伴って我が国にも導入されることが期待される。

カーシェアリングサービスを導入するには、利用需要の予測だけでなく、駐車ステーションの配置や料金施策など、利便性が高く、かつ効率的なサービスの運用方法を事前に検討しておく必要がある。本研究開発では、これらを可能とする分析システムを開発することが主要な目的であった。

この目的を達成させるために、本研究開発では以下を計画し、実施した。

- 1) 欧米におけるカーシェアリングサービスの実態と利用意識を分析する。
- 2) 日常生活におけるカーシェアリングサービスの利用意向調査を行い、導入可能性の検討、カーシェアリングサービスへの手段転換モデルの推定を行う。さらに、この手段転換モデルを組み込んだカーシェアリング運用シミュレーションモデルを構築する。
- 3) カーシェアリング実証実験が行われた幾つかの都市圏を対象として、ステーション型カーシェアリングサービスの運用シミュレーションを実施し、導入可能性について検討を行う。
- 4) できればシェアリング用車両を準備し、カーシェアリングの実証実験を実施する。
- 5) ステーションを路外、および路上に配置した場合の効果や課題を明らかにすることによって、道路空間の利

活用方策の検討を行う。

- 6) ステーションを路外、および路上に配置した場合の効果や課題を明らかにすることによって、道路空間の利活用方策の検討を行う。
- 7) 自動運転車両保有者によるシェアリングサービスに対する需要予測とインパクト評価方法のプロトタイプを検討する。

6.2 研究目的と計画の達成状況

以下では上記の項目ごとにその達成状況を完結にまとめる。

- 1) 欧米におけるカーシェアリングシステムの実態と利用意識を分析する。

2016 年度にはパリとベルリン、2017、2018 年度はフランスとイギリスのカーシェアリングサービスの視察、自治体や現地コンサルタント、大学教員とのディスカッションを行った。特に、ステーションベースのカーシェアリングサービスである Autolib' の利用と運用・運営の実態については深く調査した。2011、2013 年に実施されていた Autolib' の利用意識に関する調査を 2016 年にも実施した。これらより、欧米におけるカーシェアリングサービスの利用と運営の状況、事業規模やエリアなど、事業収益性の視点からのフィージビリティの検討の必要性を明らかにした。

- 2) 日常生活におけるカーシェアリングサービスの利用意向調査を行い、導入可能性の検討、カーシェアリングサービスへの手段転換モデルの推定を行う。さらに、この転換モデルを組み込んだカーシェアリング運用シミュレーションモデルを構築する。

本研究補助への申請前の平成 26 年に実施した「MEV カーシェアリングへの手段転換意向に関する

る選好意識調査」から 430 人分の回答が得られた。被験者の 3 割が現利用手段からカーシェアリングへ転換する意向を示した。このデータを用いて推定されたカーシェアリングへの転換モデルは、「予約を受けられない確率」が他の人の行動結果に依存して日々、更新されるという独創的なモデルとなった。この転換モデルを組み込み、他者の行動結果によって、自らの予約受けの経験が日々、更新され、カーシェアリングに対する効用も変化し、転換確率も変化するという構造を持ったマルチエージェント型の CS 運用シミュレータを構築した。

3) カーシェアリング実証実験が行われた幾つかの都市圏を対象として、ステーション型カーシェアリングサービスの運用シミュレーションを実施し、導入可能性について検討を行う。

ステーション型カーシェアリングサービスの我が国への導入可能性を検証するために、都市規模や交通特性が異なる 3 都市を対象に、カーシェアリング運用シミュレーションを内挿した最適ステーション配置問題を解き、需要予測とインパクト評価を行った。さらに、熊本都市圏では中心部とその周辺部に限定した事業エリア内でステーションを配置することが収益性の向上に繋がること、周辺部を目的地とした利用に対して料金を下げると、カーシェアリングサービスの利用が促進されると同時に、空間的にも時間的にも需要と車両の偏在を緩和することができることを明らかにした。

4) できればシェアリング用車両を準備し、ワンウェイ型カーシェアリングの実証実験を実施する。

各地で実施されているシェアリング実証実験に用いられている MEV を借用して大規模な実証実験を実施する計画であったが、種々の理由により断念せざるを得なかった。そこで、ネットワーク上の交通流を再現するメソ交通流シミュレーションモデル K-MATSim (Kumamoto Multi-Agent Traffic Simulation model) を開発した。K-MATSim は交通流シミュレーションモデルが具備すべき必要条件を満足することを確認した。

5) ステーションを路外、および路上に配置した場合の効果や課題を明らかにすることによって、道路空間の利活用方策の検討を行う。

路上に設置されたステーションが道路交通流にどのような影響を与えるかを K-MATSim を用いて予測した。ステーション付近の交通量そのものは減少するが、迂回する車両のためにステーション周辺の道路区間で交通量が増加する。特に交通量の多い交差点付近に設置されたステーション周辺でその傾向は著しく、路外ステーションの設置に不適であるこ

とがわかった。

6) 自動運転車両保有者によるシェアリングサービスに対する需要予測とインパクト評価方法のプロトタイプを検討する。

自動運転車両による AVS (Autonomous Vehicle Sharing) サービスに対する需要とサービス供給の予測モデルを内挿した運用シミュレーションモデルを開発した。熊本都市圏での試算の結果、自動車からの転換を含む総トリップ数の約 1.7% が AVS サービスを利用することによって、都心部での駐車時間が 15% も削減されるという結果を得た。

6.3 今後の研究課題と展望

本研究開発では、適正なステーション配置や需給の偏在の緩和によって、我が国でも一定水準の運用効率を維持しながら利便性の高いシェアリングサービスを提供できることを明らかにした。このシェアリングサービスを完全自動運転車で運用する AVS (Autonomous Vehicle Sharing) サービスは市民に新たなモビリティサービスを提供することになる。また、AVS に相乗りを許す AVRS (Autonomous Vehicle Ride Sharing) サービスは現在考える究極のモビリティサービスとなりうる。しかし、このようなモビリティサービスは果たして市民に受け入れられるのか、バスやタクシーといった伝統的な公共交通事業の役割や運営形態はどのようになるか、自家用車が占有していた駐車スペースは従来どおり必要か、さらには都市構造そのものがどのように変容していくかといった、社会的・都市的課題をあらかじめ検討しておく必要がある。

今後の具体的な研究課題としては下記のようなものが考えられよう。

- 1) 利用者 と 車両提供者 に対する AVS, AVRS サービスの受容性、選好意識の調査・分析
- 2) 車両偏在による予約不確実性や提供車両の損傷可能性、相乗りリスクの評価
- 3) AVS に対する運用シミュレーションモデルと AVRS の最適マッチングモデルの開発
- 4) AVS, AVRS サービスの社会的、経済的インパクトとその計測方法の提案
- 5) AVS, AVRS サービスの MaaS (Mobility as a Service) の中での位置づけ
- 6) ビジネスとしての成立可能性の検討
- 7) 都市部、中山間地域における AVS, AVRS サービスの成立可能性と社会的影響の評価