

公共交通連携性を考慮した
ワンウェイ型カーシェアリングの
実用的評価手法

令和三年

桑原 昌広

論文要旨

近年、欧米を中心に、IT 技術をベースとした新たなモビリティサービスの導入が進行してきている。ZipCar、Car2go など自家用車の過度な依存からの脱却やマルチモーダル交通環境の成熟を目指したカーシェアリング、Velib[®] など CO₂ 排出量の削減・市街地の渋滞緩和等の効果が期待されるバイクシェアリング、Via、Chariot など都市部での公共交通の補完としての高度化されたオンデマンドバス（DRT : Demand Responsive Transport）,Uber、Grab など IT によって高度化したタクシーサービス等、先進国だけでなく、公共交通が十分に導入されていない新興国においても新たなモビリティサービスが一気に普及してきていることが特徴である。

その中でステーションタイプのワンウェイ型カーシェアリング（以下、OWCS : One-Way Carsharing System）は、マルチモーダル交通環境の更なる発展に寄与するサービスとして期待されている。ステーションタイプ OWCS は、OWCS 用の専用ステーションが用意され、利用開始前に利用する車両だけではなく、ワンウェイで乗り捨てする専用ステーションの駐車枠の空きを確認して予約をすることが一般的である。そのため専用ステーションが既存公共交通駅の近くに確保されていると、公共交通との連携した利用が容易になることが期待されている。

また、今までの公共交通のようなインフラヘビーなサービスとは異なり、サービス導入・改善が比較的容易であり、PDCA サイクルが短く改善を繰り返すことが求められる。そのため、環境に合わせて膨大な計算時間をかけて最適解を求めるよりも、事業者が即座に算出できる改善解が求められることが特徴である。

そこで、OWCS を活用し公共交通と連携したインターモーダル交通環境を活性化し、マルチモーダル交通環境を成熟させていくためには、地方自治体などを含むステークホルダーと議論でき合意できるような定量的かつ即座に評価できる実用的かつ総合的な手法が必要である。しかしながら、既往研究を概観しても、単体サービス視点のステーション配置問題、配回送問題などの個別課題の解決など、取り組み視点として事業面から見た研究が多くを占めている。

本研究は、事業性だけではなく OWCS がマルチモーダル交通社会の更なる発展に向けた公共交通連携性視点を加え、サービス事業者が実用的に利用可能な総合的評価手法を提案し、開発を行っている。また評価フレームワークを適用したケーススタディを実施することで手法の実用可能性検証を行っている。

以下では本研究の内容について述べる。まず、近年世界中でサービス規模が成長してきているカーシェアリングはどのようなサービスシステムで、その 1 種であるステーションタイプ OWCS への期待、欧州と日本との環境の違い、既往研究動向について整理し、本研究

で取り組む既存公共交通との連携性を考慮したステーションタイプ OWCS の評価手法の意義について説明した。

次にステーションタイプ OWCS のサービス事業者視点で、実用的な評価手法に必要な 4 つの機能要件を整理した。

1 つ目は、OWCS と既存公共交通が連携した利用を指向した計画作成・評価が可能であることである。例えば、OWCS の導入計画時に事業性のみを考慮した場合、OWCS 向けの専用ステーションの設置は需要の大きな場所に、のみ集中させることが考えられ、既存公共交通ネットワークでは不便さがある場所に専用ステーションの設置などが見送られる可能性があるためである。

2 つ目は、実運用を想定し評価結果は解を 1 つ提示するのではなく、複数提示しサービス事業者が選択できることである。OWCS 事業者はサービス計画・運用段階で車両、駐車場、充電施設などのインフラ等様々な準備が必要なため、その度に地方自治体を含む多くのステークホルダーと交渉する必要がある。交渉の度に条件が変更される可能性があるため 1 つの最適解だけでなく、複数の最適解・改善解も保有しておき、状況に合わせて事業者自身で選択できることが求められる。

3 つ目は、既存公共交通との連携性評価を実施するため、ステーションネットワーク評価手法といった 1 つの機能だけではなく、評価手法全体で総合的に評価できることである。もし公共交通との連携性を考慮した理想的な OWCS ステーションネットワークであったとしても、ステーションネットワーク上の駐車場枠・車両台数といった供給側のリソース配分と需要パターンが適切にマッチングしないと、ユーザ利便性が低いサービス設計になってしまう可能性がある。マッチングさせる際には、事業性指標と公共交通との連携性を考慮したアクセシビリティ指標とがバランスされた計画が、選択されることが望ましいためである。

4 つ目は、OWCS 未導入地域での計画段階だけでなく、導入後の運用段階でも本提案手法が適用できることである。OWCS は IT 化された交通サービスであるため、ユーザ行動履歴等が取得可能であり、サービスを運用しながら改善することが求められる。そのため、OWCS を未導入地域での計画段階だけでなく、運用段階でも同様に適応できる手法であることが求められる。

本研究では、整理した 4 要件を踏まえた評価手法を実現するための評価フレームワークを開発した。サービス計画段階は観測データがないため 2 次データをベースとし、サービス運用段階では観測データをベースとする違いはあるがサービス計画・運用段階において共通要素で構成されるフローであることが特徴である。

提案している評価フレームワークは、既存研究手法だけでは実現困難であるため、OWCS と公共交通との連携性を考慮したステーション候補探索手法の開発、2 次データを利用した OWCS の時空間的需要偏在推計手法の開発、及び OWCS 観測データ向け公共交通連携利用

判別モデルの3つの手法を新たに開発した。以下に開発した3つの手法の特徴について示す。

既存公共交通との連携視点でステーション候補探索する手法は、既存公共交通だけを利用した場合と比べてOWCSを活用した場合、移動時間が明らかに小さい等の場所をステーション候補とすべくマルチモーダル検索結果等の2次データを用いて探索する手法である。本手法は、サービス計画段階だけでなく運用段階にも応用できる手法である。提案した手法を用いて、東京エリアで適用し、想定ユースケースにあったステーション候補が抽出されていることを確認した。

OWCSの時空間的需要偏在推定手法は、実用的な手法とするため2次データで算出可能、合意形成の容易さ、短期間で算出可能であること、及び時間的空間的な需要の偏在が獲得できることが必要である。従来パーソントリップ（以後PT）情報と選好意識調査によって収集されたサンプルデータから作成された選択モデルを用いた、モデルベースのアプローチが一般的である。しかし、算出までの期間が長いこと、新たな交通手段を対象とした場合モデルが過大推計された報告があること、及びPTにおけるゾーンとOWCSで潜在需要が存在していると想定しているゾーン規模が揃っていないことが想定されることより、2次データを用いて即座に実行できるデータオリエンティッドな手法を新たに開発した。開発した手法を東京で適用し、東京での観測データを用いて時間帯別トリップ比率が比較的一致していること等より妥当性を検証した。

OWCS観測データ向け公共交通連携利用判別モデルは、公共交通駅、OWCSステーション、及び登録住所の関係を踏まえて定義されたOWCS観測データ向けトリップ種別に分類可能なモデルである。豊田市観測データを用いて、アクセス・イグレス利用増大を期待した新規住宅街近くのステーション導入が、結果として公共交通不便間地域間の移動に多く利用されていることを明らかにした。インターモーダル環境を成熟させていくために、OWCS事業者だけではなく、交通システムや街づくりにかかわる市民と行政とで議論していく必要があり、公共交通連携利用判別モデルと観測データを用いて、人の行動をどのように変えていくのかの議論の素材として本手法を活用できると考えられる。

開発した新たな3つの手法を組み込んだ評価フレームワークを、計画段階においては豊田市の観測データを用いて、運用段階においては東京でのTimes CarPlus×Ha:moの観測データを用いて、それぞれケーススタディを実施し実用可能性検証を行った。

計画段階では、既存公共交通との連携したOWCS利用が期待される複数のステーションネットワーク案と駐車枠数等の複数リソース案の組み合わせの中から候補を抽出することを題材としてケーススタディを実施した。事業性は収益を指標とし、加えて公共交通連携性はアクセシビリティを指標とし、パレート最適の考え方を導入することで解候補の絞り込みを行い、複数案が提示されることを確認した。

運用段階では、EV の航続距離の短さによる機会損失を防ぐため現状の充電器なしステーションに対してコスト制約の中、最適な追加充電器探索を題材としてケーススタディを実施した。状態遷移シミュレータを用いたシミュレーション結果を用いて、充電器を追加する最適なステーションの組み合わせを散策できることを示し、実用可能性を検証できた。

以上より、OWCS の事業性だけでなく公共交通連携性を考慮し、サービス事業者が実用的に利用可能な総合的評価手法を提案した。加えて、ケーススタディを通じてサービス事業者がアクションをする際に優先度を決めて解を選択できる手法であることを確認できた。

今後の課題は、提案した手法が実用に耐えうる評価手法であるかを否かの検証、真の目的地を踏まえた公共交通連携利用判別モデルの改良、提案手法の他モビリティサービスに拡張・適用、及び既存公共交通と複数の新たなモビリティサービスを統合的に評価できる手法の検討が必要になってくるであろう。

目次

第1章 序論	1
1-1 研究の背景と目的	2
1-1-1 ワンウェイ型カーシェアリングへの期待と課題	2
1-1-2 ステーションタイプワンウェイ型カーシェアリングとは	6
1-1-3 サービス事業者の課題	8
1-1-4 本研究の目的	9
1-2 既往研究の整理	10
1-2-1 ステーション、充電器配置に関する既往研究の整理	10
1-2-2 需要推計手法に関する既往研究の整理	11
1-2-3 アクセシビリティ評価手法に関する既往研究の整理	11
1-2-4 モビリティサービスの観測データ分析に関する既往研究の整理	11
1-2-5 本節のまとめ	12
1-3 研究の構成	12
第1章 参考文献	13
第2章 評価手法の検討	17
2-1 はじめに	18
2-2 評価手法の要件整理	18
2-3 評価手法の構成要素と評価フロー	19
2-3-1 サービス計画段階の評価フロー	20
2-3-2 サービス運用段階の評価フロー	21
2-3-3 サービス計画段階での実現方法と課題	22
2-3-4 サービス運用段階での実現方法と課題	26
2-4 新規開発手法	27
第2章 参考文献	28
第3章 OWCS と公共交通との連携性を考慮したステーション候補探索手法	29
3-1 はじめに	30
3-2 公共交通連携向けステーション候補探索手法	31
3-2-1 対象地域でのステーション候補設定と情報整理	32

3-2-2	特徴量を用いたステーション候補抽出.....	34
3-2-3	想定利用シーン毎の優先度評価.....	35
3-2-4	抽出候補との共起性が高い新たな候補抽出.....	36
3-2-5	ステーション案決定.....	37
3-3	東京湾岸部を対象としたケーススタディ.....	38
3-4	観測データを用いた妥当性検証.....	42
3-4-1	移動時間差比率比較.....	42
3-4-2	乗換有無比率比較.....	44
3-5	結論と今後に向けた課題.....	45
第3章	参考文献.....	46
第4章	2次データ利用したOWCS時空間的需要偏在推定手法の開発と検証.....	47
4-1	はじめに.....	48
4-2	時空間的需要偏在推定手法.....	49
4-2-1	推定手法概要.....	51
4-2-2	スマートフォン位置情報を用いた移動量推計手法.....	54
4-3	東京での需要推計を通じた妥当性検証.....	56
4-4	結論と今後の課題.....	60
第4章	参考文献.....	61
第5章	OWCS観測データ向け公共交通連携利用判別モデルの開発.....	62
5-1	はじめに.....	63
5-2	個人のトリップチェーンを踏まえたOWCSのトリップ種別.....	63
5-3	OWCS観測データ向け基幹公共交通連携利用判別モデル.....	68
5-4	公共交通連携利用判別モデルを用いた利用実態分析（豊田市）.....	71
5-4-1	前提/エリア設定.....	71
5-4-2	経年データ分析結果.....	73
5-4-3	平日・休日別分析.....	76
5-4-4	トリップ種別の利用時間帯分析.....	77
5-5	公共交通連携利用判別モデルを用いた利用実態分析（東京湾岸エリア）.....	79
5-6	結論と今後の課題.....	82
第5章	参考文献.....	83
第6章	サービス導入段階における評価手法適用.....	84

6-1	はじめに	85
6-2	サービス計画段階における導入プラン決定評価手法	85
6-2-1	導入プラン決定評価手法全体像	85
6-2-2	サービスシミュレーションと事業性評価	88
6-2-3	アクセシビリティ指標を用いた連携性評価	88
6-3	ケーススタディ	91
6-3-1	インプットデータ作成とサービスシミュレーション実施	91
6-3-2	評価結果	93
6-4	結論	100
第6章	参考文献	101
第7章	サービス運用段階における評価手法適用	102
7-1	はじめに	103
7-2	改善案作成	104
7-3	探索手法	105
7-3-1	I 対象ステーション絞り込み方法	106
7-3-2	II シミュレーションを用いた評価方法	107
7-4	東京でのケーススタディ	108
7-4-1	対象ステーション絞り込み結果	108
7-4-2	II シミュレーションを用いた評価でのシミュレーション条件	109
7-4-3	1段階目のシミュレーション結果	110
7-4-4	2段階目のシミュレーション結果	112
7-5	結論と今後の予定	116
第7章	の参考文献	117
第8章	結論	118
8-1	本研究の結論	119
8-2	今後の課題	122

第 1 章 序論

1-1 研究の背景と目的

1-1-1 ワンウェイ型カーシェアリングへの期待と課題

近年、欧米を中心に IT 技術をベースとした新たなモビリティサービスの導入が進行してきている。ZipCar、Car2go など自家用車の過度な依存からの脱却、マルチモーダル交通環境の成熟を目指したカーシェアリング、Velib[®] など CO₂ 排出量の削減・市街地の渋滞緩和等の効果が期待されるバイクシェアリング、Via、Chariot など都市部での公共交通の補完としての高度化されたオンデマンドバス (DRT : Demand Responsive Transport) ,Uber、Grab など IT によって高度化したタクシーサービス等、先進国だけでなく、公共交通が十分に導入されていない新興国においても IT を活用したモビリティサービスが一気に普及してきていることが特徴である。

世界的に普及しているカーシェアリングは図 1-1 に示すように大きく 2 つの種類に分かれる。借りた場所と返す場所が同じ場所であるラウンド型は、従来のレンタカーと似ているが分単位、時間単位でサービスを利用できることが大きな違いである。また新たなカーシェアリングの形としては、サービス事業者が車両を保有するのではなく、一般ユーザの車両を第 3 者へのレンタルをマッチングする P2P (Peer-to-peer) タイプカーシェアリングがあるが現状の使われ方としては、車両を保有しているユーザの近くの住民を対象としたサービスであるためラウンド型の 1 種として考えられる。

ワンウェイ型カーシェアリングシステム (以下、OWCS と呼ぶ) は、車両の貸出場所と返却場所が同一となる従来のラウンド型カーシェアリングとは異なり、必ずしも貸出場所と返却場所を一致させる必要がなく、貸出場所と異なる場所で乗り捨て可能なカーシェアリングシステムである。ワンウェイ型カーシェアリングは 2 つのタイプに分類され、エリア内の駐車場ならどこでも駐車可能なフリーフローティングタイプと、専用駐車場で乗降するステーションタイプに分類される。フリーフローティングタイプは、欧米で主流であるカーシェアリングである。カーシェアリング車両を駐車する場所 (以後カーシェアステーション) として、道路上にある駐車スペースであるオンストリートパーキングを活用していることがほとんどである。そのことにより面的にカーシェアステーションを確保できている事例が多い。その半面専用ステーションではないものが多数であり一般車両の存在により、返却場所としてのカーシェアステーションの確保が難しい場合もあることが特徴である。一方ステーションタイプは、専用駐車場を確保しているため、サービスが成立すればスムーズに返却可能であるが、オフストリートパーキング活用のため、ユーザの使いやすい場所に確保されないと使い勝手がよくないという課題を持っている。

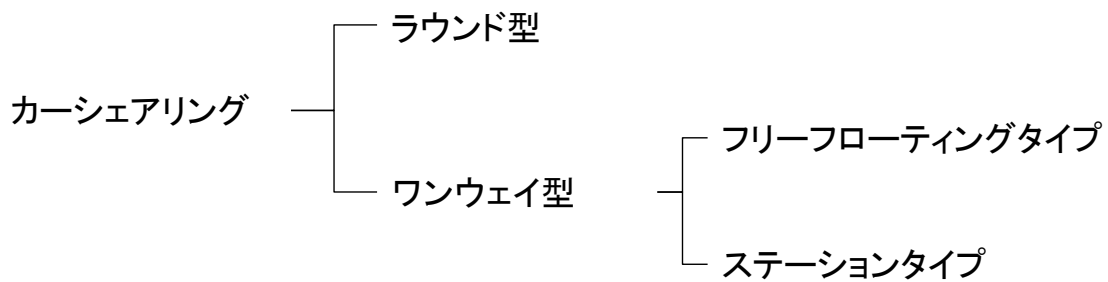


図 1-1 カーシェアリングの種類

OWCS に電気自動車 (Electric Vehicle: EV) を用いる場合、従来のエンジン車両より航続距離が短いことが知られているため、充電器をどのように配置するかを検討も必要になってくる。

ワンウェイ型カーシェアリングのステーションが既存公共交通駅の近くに確保される場合、OWCS と公共交通との連携した利用により更なるインターモーダルな交通環境が構築されることが期待される。世界の導入事例を見ても LRT を含む軌道系交通システムが十分に導入されている都市²³⁾での OWCS 導入が進んでおり、マルチモーダル交通環境の成熟に向けた新たな公共交通の 1 手段としての可能性を秘めている。OWCS を活用して不便さを緩和し、公共交通との連携した利用が期待される。

公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団によると⁴⁾、図 1-2 に示すように車両台数、会員数との増加傾向であり、2020 年 3 月の調査では会員数は 200 万人を超え、日本でも欧米同様にカーシェアリング全体の需要は大きく伸びてきている。

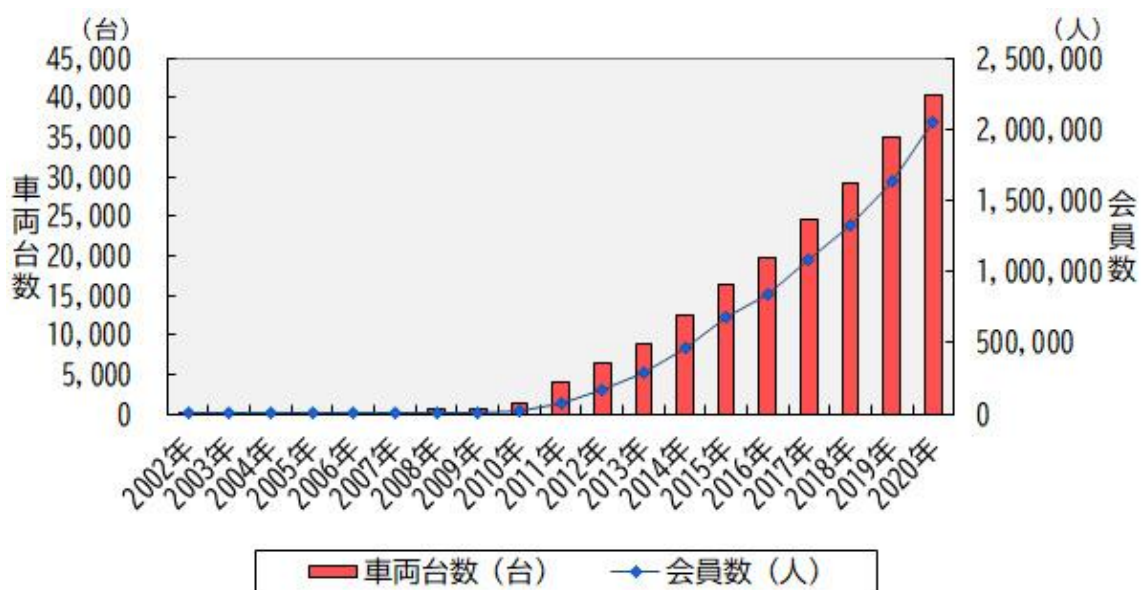


図 1-2 日本でのカーシェアリング車両台数と会員数の推移⁴⁾

欧米と日本における OWCS を取り巻く環境のいくつかの違いを説明する。1 つ目は、日本ではほとんどのカーシェアリングがラウンド型を占めており、ワンウェイ型は実証実験がなされているものの、伸び悩んでいる状況であることである。その理由として、欧米で主流であるフリーフローティングタイプが日本では提供されていないことが挙げられる。フリーフローティングタイプは、普及に向けてオンストリートパーキングの有無が重要な要素であるが日本ではオンストリートパーキングは限られており、日本では駐車場は通分から 1 本入り込んだ場所にオフストリートパーキングとして存在していることがほとんどである。2 つ目は、駐車場、充電器ネットワークの多くが私的企業によって整備されていることである。欧米ではほとんどの都市において駐車場、充電器ネットワークは地方自治体などによって整備されている。例えば図 1-3 のように公共の充電器ステーションがすでに構築されているアムステルダム⁵⁾のような街では、地方自治体と協力しあうことで、比較的容易に充電器ネットワークの確保、維持が可能である。

しかしながら、日本では環境が異なり OWCS 事業者自らが駐車場だけではなく充電器ネットワークの整備も必要になる。東京で実施されていた TimesCarPlus×Ha:mo では、アクセス性の高いステーションネットワークを図 1-4 のように配備していたが、合計 136 あるステーションの内、9 割以上が私的企業の有する駐車場であり、かつ事業性を考えて約 6 割のステーションでは充電器がない状態でサービスを提供していた（2017 年 6 月）⁶⁾。

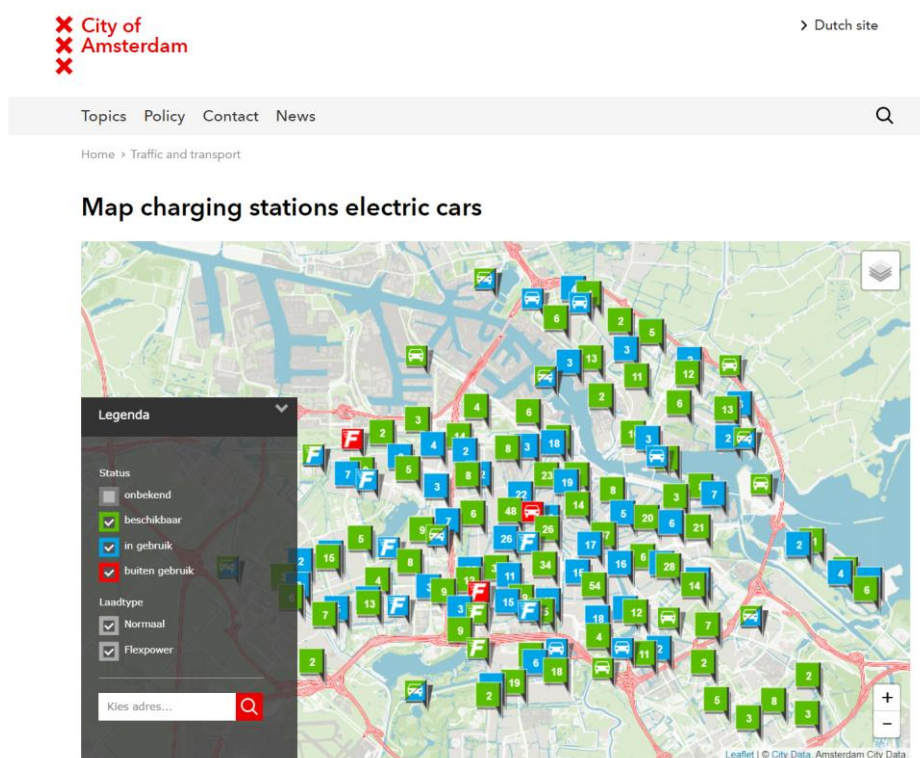


図 1-3 アムステルダム市での公共充電ステーションマップ⁵⁾

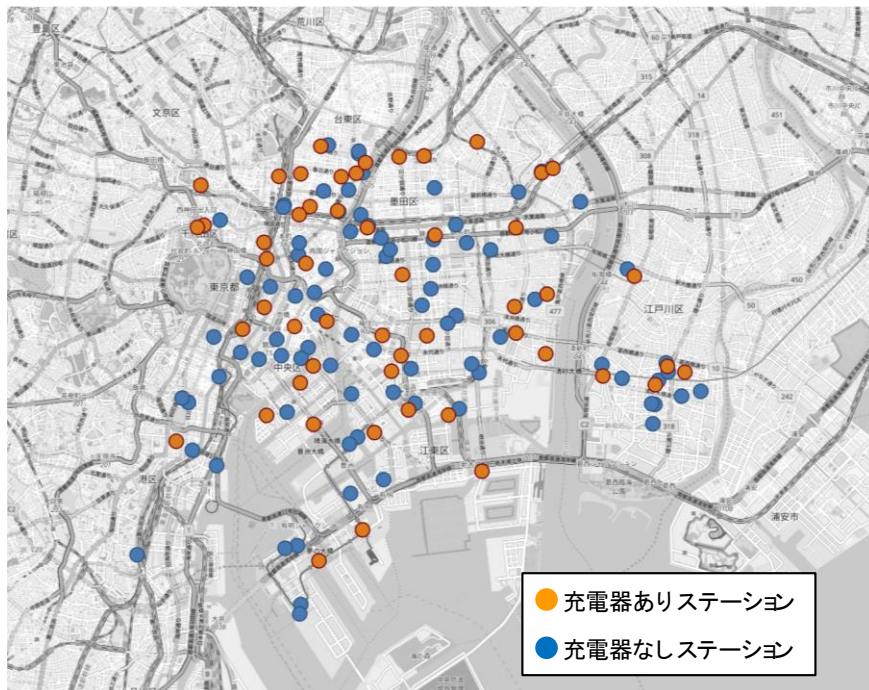


図 1-4 TimesPlus×Ha:mo のステーションネットワーク (2017年6月時点)

以上のように、日本ではカーシェアリングは普及してきているが、ラウンド型カーシェアが主流で、ステーションタイプの OWCS は実証実験やサービス導入事例はあるものの、ワンウェイ型カーシェアリングの成長は緩やかである。

OWCS 普及には様々な課題があるが、公共交通が発達している日本においてステーションタイプ OWCS を導入し公共交通の 1 部として扱い、既存公共交通の不便地域間移動を補完等することで、過度な自家用車利用から脱却し、様々なモビリティサービスの選択肢が提供されるマルチモーダル環境を成熟させていくことに、大きく寄与できる可能性があると考えられる。具体的には、アクセス、イグレスのような公共交通との組み合わせ利用、公共交通が運行していない時間帯や、公共交通不便地域間をつなぐ公共交通補完の使われ方である。例えば東京都世田谷区は、東西に鉄道 3 路線と複数のバス路線が整備されているが、バス停留所から 200m 以上、鉄道駅から 500m 以上離れている地域を公共交通不便地域として位置付けると、区全体の約 19.7%が公共交通不便地域になると示されている⁷⁾。このように地域全体で見ると公共交通が発達しているにも関わらず、細かなエリアで見るとモビリティが必ずしも十分ではない場合が存在している。

交通エコロジー・モビリティ財団によると⁸⁾、行政との連携事例が少ない、公共交通事業者との連携・協力事例が少ない、公共交通の一部であるという認識に乏しいこと等が日本での普及への課題と整理している。

ワンウェイ型カーシェアリングの普及による、インターモーダル交通環境の発展とマルチモーダル環境の成熟を実現するためには、OWCS 事業者だけではなく、交通システムや街づくりに関わる市民や行政も含めた議論が重要になってくる。その際の視点として、OWCS を公共交通システムの 1 つとして扱い議論できる評価方法などの構築が必要になってくる。

1-1-2 ステーションタイプワンウェイ型カーシェアリングとは

本研究の対象である、ステーションタイプ OWCS について詳しく説明する。近年のカーシェアリングは、ユーザの持つスマートフォンを活用することを念頭に置いたサービス設計がなされており、ユーザはスマートフォンでの専用アプリケーションから会員になるための新規登録、利用予約だけではなくクレジットカードを登録しておく等することによって支払いまで一括で実施されるシステムとなっている。カーシェアリングは車両を利用するため、運転免許証の情報を登録する必要がある。そのため、ユーザは事業者が構える事務所等に出向き免許証情報を事務所スタッフによって目視確認したり、事務所に出向く必要なく免許証情報の画像データなどをインターネット経由で送付し事業者スタッフが確認したりすること等が必要になる。

ステーションタイプ OWCS は、分・時間単位で利用が可能であり、サービス用に確保されている専用駐車場において駐車できるスペースがあれば乗り捨てが可能なサービスである。専用ステーションが用意されていることから、サービス提供は限られたエリアに対して提供するという特徴を持っている。

図 1-5 にカーシェアリングの利用方法について示す。ステーションタイプ OWCS の予約は、ユーザが利用したい出発地付近の専用ステーションにおいて貸出可能状態になっている車両を予約し、到着地付近の専用ステーションにおいて移動後に車両を確実に駐車可能とするために空き車両駐車枠も予約する必要がある。レンタカーを利用したことがあるが、OWCS を利用したことのないユーザにとっては予約の際に戸惑うことが想定され、わかりやすくどのように説明するか、予約方法がわかりやすいユーザーインターフェースにしていくこと等が求められる。予約が完了した後、会員は予約している車両において認証し貸出処理を完了させる。認証は IC カードで実施したり、スマートフォンを使用したりするなど様々な方法が提供、提案されている。貸出処理完了後、会員は車両を運転し返却するまでの利用時間単位で課金をされる。返却は、予約時に確保しておいた到着地付近の専用ステーションの専用枠に駐車し、貸出時と同様の返却処理を実施して車両の返却を完了させる流れになる。車両が返却され、貸出可能な充電状態である場合はすぐに他の利用者に提供可能な

状態になり、充電状態が低下し貸出しできない場合は、充電され貸出可能状態になると提供可能な車両になる。

ステーションタイプ OWCS は、1-1-1 で述べたように専用ステーションが既存公共交通駅の近くに確保されていると、公共交通との連携した利用が容易になることが期待されている。ステーションタイプ OWCS の公共交通連携／補完手段としての想定利用シーンを図 1-6 に示す。OWCS の公共交通と連携した利用として、公共交通駅までの距離が長い場合アクセス/イグレスの交通手段として OWCS を利用し公共交通へ乗り継ぐ(利用シーン a)、又は公共交通駅の乗り換えが存在し、所要時間が長いことによる不便さを解消するための手段として、OD 間をダイレクトで OWCS を利用して補完する(利用シーン b) の 2 つがあると考えられる。



図 1-5 カーシェアリングの利用方法

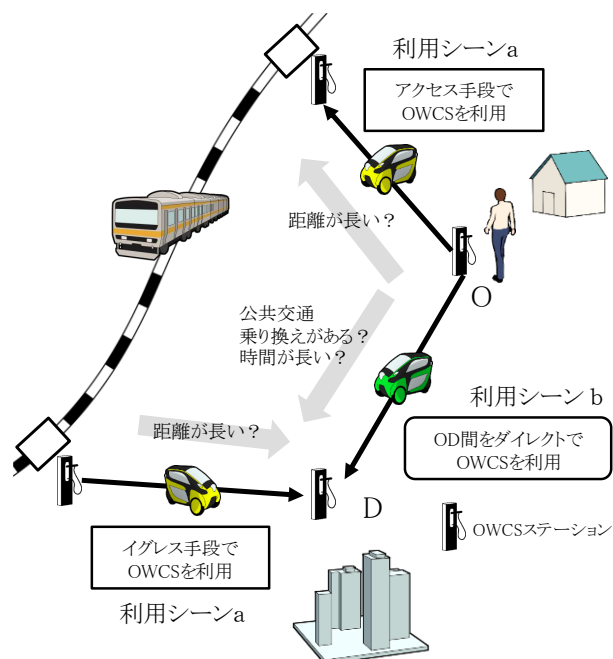


図 1-6 ステーションタイプ OWCS の公共交通連携／補完手段としての想定利用シーン

1-1-3 サービス事業者の課題

本サービスは、専用ステーションへの乗り捨てが可能であるためユーザ視点では便利である。しかし、サービス事業者視点では提供するエリアでの需要に偏りがある場合、車両または駐車枠が不足し、サービスを提供できない状態に陥る可能性があることに留意が必要である。例えば、朝の通勤時に駅から会社の事業所に向けて大きな移動需要があり、逆方向にはほとんど移動需要がない場合、車両や駐車枠を潤沢に用意していない限り、多くの移動ニーズにこたえることができない。駅近くの専用ステーションで空き車両を確保し、会社事務所に近い専用ステーションでの空き駐車枠を確保することで予約が成立するが、空き車両がなくなるだけでなく、空き車両があったとしても、目的地側の駐車枠を確保できないことが生じるためである。需要の偏りが、空間的にも時間的にもほとんどない場合は、移動ニーズに対して車両・駐車枠を供給することができる可能性があるが、偏りが大きな場合は成り行きではニーズに応えることはできないし、空き車両・駐車場の偏在の解消もできない。そこで、それらの偏在を解消する方法の1つとして、車両を適切な場所に移動させて偏在の解消を実施することが行われる。この方法は配回送と呼ばれる。

EVを用いたサービスである場合、従来のエンジン車両よりも航続距離が短いことから走行中に充電が切れて運行ができなくなる可能性があるため、充電状態 (State of Charge: SoC) が一定の値以上 (例えば全体の 70%以上) でなければ予約が入っていなかったとしても車両を貸出しない充電量閾値を設定していることがほとんどである。また、日本では 1-1-1 で述べたように、OWCS 事業者自らが充電器ネットワークを構築する必要があるため、すべての専用ステーションや各駐車枠に対して充電器が存在していない場合がある。もし車両が空いていたとしても充電状態が低く貸出ができない状態で、充電器のないステーションに停車し続けた場合には、その車両はスタッフなどによって充電器のあるステーションに移動させ貸出充電量閾値を超える状態まで充電しないと貸出すことができず、長時間機会損失が生じることは想像に難くない。

以上のように、ステーションタイプ OWCS はワンウェイで乗り捨て可能であるためユーザ利便性が高いが、事業者視点では需要の偏りがあると偏在を是正するための配回送が必要になったり、充電器がすべてのステーションに存在しない場合に生じる機会損失をどのように防ぐか等を考慮したりして、サービス設計やサービス改善することが求められる。

上記の課題がある一方、今までの電車、バスなどのサービスはインフラ構築などに時間を要するが、ステーションタイプ OWCS のような新たなモビリティサービスは導入・改善が比較的容易であるためスピード感をもって改善できる視点を忘れてはならない。導入計画段階だけでなく運用段階含めた全段階において PDCA サイクルを短く実施していくことで、ユーザ視点では常にサービスレベルが向上する可能性があることが今までのインフラへビ

一なサービスにはない強みである。そのようなサービス特徴を持っているため、環境に合わせて膨大な計算時間をかけて最適解を求解することよりも、事業者が即座に算出できる改善解を探索し、関係者間で共有することが求められる。

サービス事業者がサービス設計やサービス改善する場合、上記に示した施策を行う上で様々な課題が存在する。

日本のように公共的な駐車場や充電器ネットワークが存在しない場合は、専用ステーションの確保、ステーションに充電器を設置するか等を個別にステークホルダと議論していく必要がある。そのため、施策実行に移すまでに時間を要することが想定される。施策検討では、複数ステークホルダとの調整は1度で終わらないことや、ステークホルダと調整後に施策検討から再実施することも生じる。施策議論後も、専用駐車場との調整、充電器を設置するための合意、及び電気工事のようなインフラ工事期間などが必要になる。

施策を実行するためのリードタイムを短くするためには、施策検討時間、ステークホルダとの調整期間、及び設置導入期間をできる限り短くしていく必要がある。実際のところ、スピードを優先したり検討リソースが不足したりしていることもあり、サービス事業者の勘に頼った施策検討を実施されることが散見される。

そのため、様々なステークホルダとお互いに納得して合意できるように導入案・改善案のような計画すべてに対して総合的に評価できる手法、かつ定量的に即座に評価できる実用的な手法が望まれる。

1-1-4 本研究の目的

1-1-1 で述べたように、OWCS の普及とインターモーダル環境の成熟のためには、交通システムや街づくりに関わる市民や行政も含めて、OWCS を公共交通システムの1つとして扱い議論できる、評価方法の構築が必要になってくる。また、1-1-3 で述べたように、今までのインフラヘビーなサービスとは異なり、新たなモビリティサービスではサービス導入・改善が比較的容易で PDCA サイクルが短い。そのため、様々なステークホルダと即座に納得して合意できるように、導入案・改善案のような計画すべてに対して総合的に評価できる手法、かつ定量的に即座に評価できる実用的な手法が望まれる。

本研究は、OWCS を公共交通システムの1つとして扱い議論できるような環境にしておくため、2-2 で示す4つの機能要件を含む、事業性と既存公共交通との連携性も踏まえた、総合的かつ実用的に導入・改善計画を評価可能にする評価フレームワークの提案と開発を行っている。また、評価手法を適用したケーススタディを実施し、実用可能性検証も実施している。

1-2 既往研究の整理

以下、2-3 で提案する評価手法の構成要素を開発していくうえで必要となる4つの技術・手法に関して既往研究を整理する。1-2-1 では OWCS で重要なステーション/充電器配置手法、1-2-2 では需要推定手法、1-2-3 では公共交通との連携性を考慮したアクセシビリティ評価手法、最後 1-2-4 ではモビリティサービス観測データ分析の既往研究を整理する。

1-2-1 ステーション、充電器配置に関する既往研究の整理

ステーションタイプ OWCS において、ステーション配置や充電器配置手法は、1-1-3 で述べたようにサービス設計やサービス改善を効果的に進めていくためには、大変重要な技術領域である。モビリティサービス領域において停留所やステーション場所を決定するため、様々なデータを用いた2つの方向性で研究が進められてきている。

1つ目は、自らが保有する観測データである1次データと外部から入手した2次データの双方を用いたアプローチである。観測データに加えて、統計データとして人口データ、病院、ホテル等の POI (Point Of Interest) データ等を用いて需要モデルを構築し、新しく導入するステーションとして最適な場所や再配置場所を探索する研究⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾がみられる。また観測データの代替として、タクシー利用 OD データを用いてステーション場所を探索する研究¹²⁾なども見られる。

2つ目は2次データとしての統計データのみを用いるアプローチである。統計データに基づくステーション探索としては、想定需要量に基づいてステーション探索を実施し、売り上げ最大化等の視点からの研究が多数みられる¹³⁾¹⁴⁾。

充電ステーションネットワークの配置手法に関しては、自家用車やフリート向け車両が EV になった場合を想定し、複数の指標を考慮しつつ最適な配置を決定する手法に関して研究がなされている¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。近年 EV を用いたタクシーがニューヨーク、北京等世界中の都市で増加してきており、EV タクシーを対象として観測データを用いた最適な充電器配置問題についても取り組まれてきている¹⁸⁾¹⁹⁾。タクシードライバは、充電するために頻繁に充電器を探す必要があり、その不便さを解消するため最適な急速充電器設場所を探索する手法についての研究も出てきている²⁰⁾。

EV を使った OWCS に関しては、売上最大、収益最大などを目的関数とした最適充電器配置問題²²⁾²³⁾について研究されている事例が多く存在する。

1-2-2 需要推計手法に関する既往研究の整理

既往研究では、未導入地域での需要検討と実際の観測データを用いた需要分析・推定の方
向性に分かれる。

未導入地域における交通モードの需要推定は一般的には選択モデルが用いられる。OWCS
においても、パーソントリップ（以後 PT と呼ぶ）情報と選好意識調査から作成したシステ
ム選択モデルを用いられている研究がある¹⁴⁾。

観測データを用いた研究は多数あり、実需要の特徴を回帰モデルで分析したり²⁴⁾、クラ
スタ分析によりパターンの分類を行い、需要パターンの推移を観測することで、リアルタイム
の需要予測を可能にしたり²⁵⁾、モデルを元に将来需要を推定するなどの研究が見られる²⁶⁾。
Jorge らは、OWCS は車両の利用可能性はトリップ量に依存する、すなわち需要と供給
が相互に関係しあうことからモデル化が難しいため需要推定は難しいと述べている²⁷⁾。

1-2-3 アクセシビリティ評価手法に関する既往研究の整理

OWCS は公共交通との連携した利用が期待されているが、1-1-1 で述べたように海外と比
較し、行政との連携が乏しい、他の公共交通との連携が乏しい、及び公共交通としての認識
が乏しいといった指摘がされている。こうした指摘を踏まえると、OWCS は行政や他の公
共交通との連携の下で運営されるのが望ましい形である。他の主体との連携を考慮する場
合、OWCS が社会に対して、どのような影響を与えるのかを把握するアクセシビリティ指
標の整備が必要不可欠である。

マルチモーダルのアクセシビリティに対する研究²⁸⁾²⁹⁾はいくつか見られるが、OWCS を
対象に研究されているのは、著者の知る限り西垣らが提案した OWCS 導入地域におけるア
クセシビリティ改善度を定量的に評価できるアクセシビリティ指標³⁰⁾の提案、ケーススタ
ディの実施について研究しているもののみである。西垣らの研究では移動時間、待ち時間、
運賃から算出される一般化費用を用いて、アクセシビリティ指標を定義している。OWCS と
他の交通手段との連携を考慮に入れた移動も考慮に入れており、OWCS をアクセスやイグ
レスに対してのみカーシェアリングを用いるというようなケースも考慮に入れることが可
能になっている。

1-2-4 モビリティサービスの観測データ分析に関する既往研究の整理

ラウンド型カーシェアリングでは、カーシェアリングのトリップ内を対象としたトリッ
プチェーン分析³¹⁾や、観測データを用いてユーザごとの使われ方をクラスタ分析し、ヘビ

一な利用なのか、ライトな利用のかなど利用頻度を明らかにしている³²⁾³³⁾³⁴⁾。また、GPSデータから移動目的を推定する研究³⁵⁾など広く研究がおこなわれている。

OWCSにおいても様々な既往研究がある。Daimlerがシアトルで提供するCar2GOの分析では、公共交通が運行していない時間帯での利用により公共交通の補完としての利用があるが、トリップの大半はOD間で既存公共交通よりもCar2Goの旅行時間が短い場合であることを明らかにしている³⁶⁾。同様にミュンヘンでの分析では、利用者にとって利用可能な車両との距離が重要であることを示している³⁷⁾。

新たなモビリティサービスが公共交通とどのような連携がされたのかという視点での研究は、タクシーが地下鉄と競合関係なのか、補完関係なのかの分析があり、対象トリップが駅からどれだけ近い場所で乗降しているかで判断している³⁸⁾。

1-2-5 本節のまとめ

既往研究を整理すると、ワンウェイタイプOWCSにおいて様々な研究がなされてきていることが分かった。OWCSで重要な要素の1つであるステーション配置手法など個別の最適な解を探索する手法研究と、サービス事業者の事業視点で評価がなされている研究が、多くを占めていること等を明らかにした。

OWCSを公共交通システムの1つとして扱い議論できるような環境にしていくために、必要となるステーション配置などの個別最適視点だけでなく、事業性や既存公共交通との連携性も踏まえた総合的かつ実用的な評価手法を題材とした研究は見られなかった。

1-3 研究の構成

本研究での構成とフローチャートを図1-5に示す。

第2章では、ステーションタイプOWCSのサービス事業者視点で、実用的な評価手法にするための機能要件の整理と、評価フレームワーク実現に向けた構成要素と評価フローを整理する。

第3章から5章では、第2章で提案した評価手法を実現するために必要となる手法開発内容と検証結果を述べる。

第3章では、OWCSが公共交通との連携視点で利用可能性が高いと思われる場所を、ステーション候補にする探索手法の提案と東京エリアでの実データを用いた検証結果を示す。

第4章では、2次データを利用したOWCS特性を踏まえた時空間的需要偏在推定手法の提案と、東京エリアでの実データを用いた検証結果を示す。

第5章では、観測データを用いてOWCSトリップが公共交通と連携した利用であったか

を識別できる公共交通連携利用判別モデルの提案と、東京エリアでの実データを用いた検証結果を示す。

第6章では、提案した評価フレームワークと開発手法を、計画段階に適用したケーススタディとして豊田市、東京湾岸部を題材として実施し、評価結果について示す。

第7章では、同様に運用段階に適用したケーススタディとして、東京湾岸部を題材として実施し、評価結果について示す。

第8章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

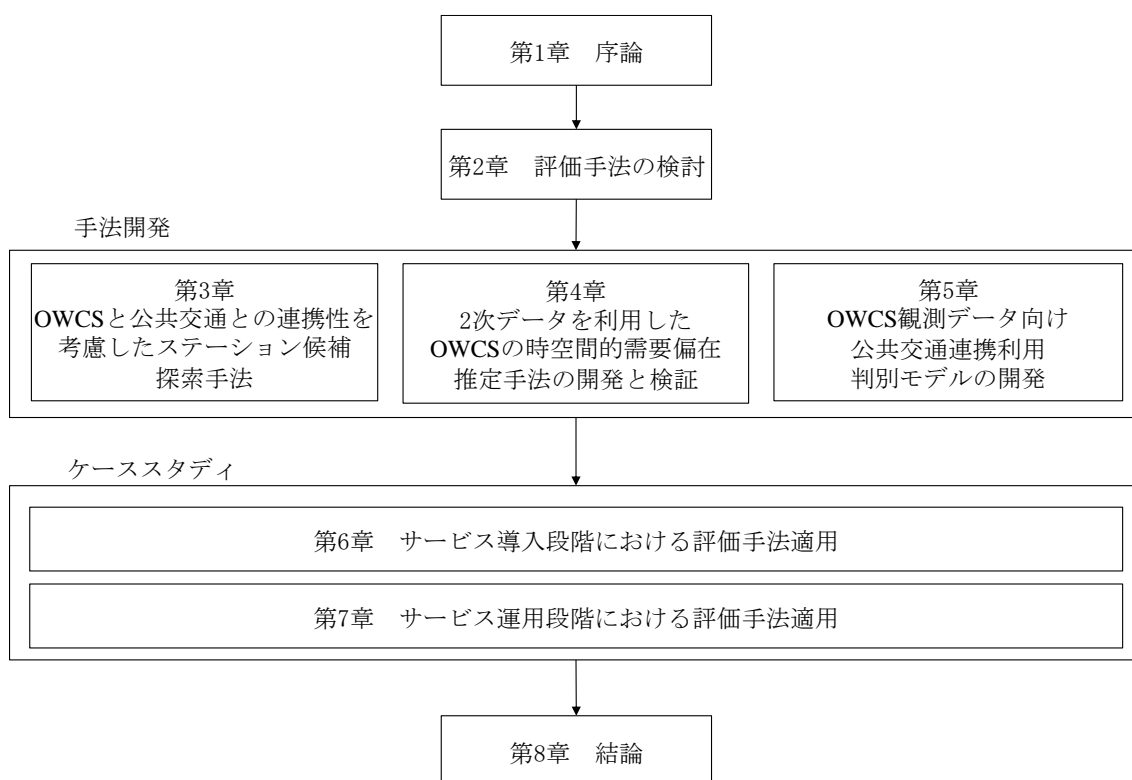


図 1-5 本研究の全体フロー

第 1 章 参考文献

- 1) Susan A.Shaheen, Nelson D.Chan and Helen Micheaux: One-way carsharing's evolution and operator perspectives from the Americas, Transportation(2015)42:519-536
- 2) CAR2GO HP, <https://www.car2go.com/US/en/>. (2019年8月11日)
- 3) Drivenow HP, <https://www.drive-now.com/en> (2019年8月11日)
- 4) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団, http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare_graph2020.3.html

- 5) “City_of_Amsterdam_HP”, <https://www.amsterdam.nl/en/parking/electric-charging/>
- 6) “Times Car Plus x Ha:mo”, [https://plus.timescar.jp/tcp/](https://plus.timescar.jp/tcp/plus/)
- 7) 世田谷区：第4回公共交通不便地域対策勉強会資料，
http://www.city.setagaya.lg.jp/kurashi/102/122/369/d00161606_d/fil/siryou4.pdf, 2018. (2019年2月8日)
- 8) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団：カーシェアリングの普及について
<http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koutu/kankyoku/9/shiryoku3-3.pdf>
- 9) V.P. Kumar, M. Bierlaire: Optimizing locations for a vehicle sharing system, Swiss Transport Research Conference. (Cited on pages 28 and 24.), 2012.
- 10) Yu Cheng, Xu Chen, Xiaohua Ding, and Linting Zeng: Optimizing Location of Car-Sharing Stations Based on Potential Travel Demand and Present Operation Characteristics: The Case of Chengdu, Journal of Advanced Transportation Volume 2019, Article ID 7546303, 13 pages.
- 11) Wenxiang Li, Ye Li, Jing Fan and Haopeng Deng: Siting of Carsharing Stations Based on Spatial Multi-Criteria Evaluation: A Case Study of Shanghai EVCARD, Sustainability 2017, 9(1), 152.
- 12) Xiaolu Zhu, Jinglin Li, Zhihan Liu, Fangchun Yang : Optimization Approach to Depot Location in Car Sharing Systems with Big Data, 2015 IEEE International Congress on Big Data, 2015.
- 13) Gonçalo Homem de AlmeidaCorreia, António PaisAntunes : Optimization approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 48, Issue 1, Pages 233-247, 2012.
- 14) 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 (土木計画学), Vol.71, No.5 (土木計画学研究・論文集第 32 巻), I_805-I_816, 2015.
- 15) Albert, L ed., “Electric vehicle charging station placement: formulation, complexity, and solutions”, IEEE Transactions On Smart Grid, Vol. 5, No. 6, November 2014
- 16) Sen, G and Huiru, Z, “Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective”, Applied Energy, Vol. 158, No. 15, November 2015, Pages 390-402
- 17) Guibin, W, ed., “Traffic-constrained multi objective planning of electric-vehicle charging stations”, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 28, No. 4, October 2013
- 18) Hua, C, ed., “Siting public electric vehicle charging stations in Beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet”, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 33, December 2014, Pages 39-46
- 19) Jie, Y, ed., “A data-driven optimization-based approach for siting and sizing of electric taxi charging station”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 77, April 2017, Pages 462-477
- 20) Johannes, A, ed., “Optimizing charging station locations for urban taxi providers”, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 85, March 2016, Pages 233-246
- 22) Georg, B, ed., “Determining optimal locations for charging stations of electric car-sharing systems under stochastic

- demand”, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 104, October 2017, Pages 17-35
- 23) 若林由弥, 羽藤英二, 斉藤いつみ. "需要分布に着目した乗り捨て型カーシェアリングのポート配置問題", 第 48 回土木計画学研究・論文集, CDRom. 2013.
 - 24) Xiaohong Chen, Jiaqi Cheng , Jianhong Ye , Yong Jin, Xi Li, and Fei Zhang, “Locating Station of One-Way Carsharing Based on Spatial Demand Characteristics”, *Journal of Advanced Transportation* Volume 2018, Article ID 5493632, 16 pages
 - 25) Weikl Simone, Klaus Bogenberger, “Relocation strategies and algorithms for free-floating car sharing systems”, *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* Vol.5, No.4, pp.100-111. 2013.
 - 26) J.-X. Xu ; J.S. Lim,” A New Evolutionary Neural Network For Forecasting Net Flow of A Car Sharing System”, 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation
 - 27) Diana Jorge, Gonçalo Correia, “Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review”, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. 2013;13(3) DOI 10.18757/ejtir.2013.13.3.2999
 - 28) Boisjoly, G., El-Geneidy, A., “How to get there? A critical assessment of accessibility objectives and indicators in metropolitan transportation plans”, *Transport Policy*, 55, 38-50.
 - 29) Páez, A., Scott, D.A. and Morency, C. (2012), “Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators”, *Journal of Transport Geography*, 25, 141-153.
 - 30) T. Nishigaki, J. Schmöcker, T. Nakamura, N. Uno, M. Kuwahara and A. Yoshioka(2017), Evaluating One-Way Car Shearing System By Using Accessibility, *Proceedings of 60th Japanese Society for Civil Engineering (In Japanese)*
 - 31) Leclerc, B., Trépanier, M. and Morency, C.: Unraveling the travel behaviors of carsharing members from GPS traces, *TRB2013 Annual Meeting*
 - 32) Chen Qian, Weifeng Li, Mengtao Ding, Ying Hui, Qing Xu, Dongyuan Yang, “Mining Carsharing Use Patterns from Rental Data:A Case Study of Chefenxiang in Hangzhou, China”, *Transportation Research Procedia* 25 (2017) 2583–2602
 - 33) Catherine Morency, Martin Trepanier, Bruno Agard, Basile Martin, Joel Quashie, “Car sharing system: what transaction datasets reveal on users' behaviors”, *Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*
 - 34) Catherine Morency, Martin Trépanier, Bruno Agard,” Typology of carsharing members”, *TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers*
 - 35) 河尻陽子, 金森亮, 山本俊之, 森川高行 : 運営管理データを用いたカーシェアリングの利用実態分析, *土木計画学論文集 D3*, Vol. 70, No. 5, pp. I_487-I_500, 2014.
 - 36) Wang Xiasen, MacKenzie Don, Cui Zhiyong, “Complement or Competitor? Comparing car2go and Transit Travel Times, Prices, and Usage Patterns in Seattle”, *TRB 96th Annual Meeting Compendium of Papers*, TRB Paper No. 17-06234
 - 37) Tanja Niels, Klaus Bogenberger,” Booking Behavior of Free-Floating Carsharing Users: Empirical Analysis of

Mobile Phone App and Booking Data Focusing on Battery Electric Vehicles”, Transportation Research Record, Vol 2650, Issue 1, 2017

38) Wang, F. and Ross, C. L. : New potential for multimodal connection: exploring the relationship between taxi trips and transit in New York City , *TRB2017 Annual Meeting*

第 2 章 評価手法の検討

2-1 はじめに

本章では、公共交通連携性を考慮した実用的かつ総合的なステーションタイプ OWCS 評価手法への要件を整理し、評価フレームワークを構成するために必要な要素および評価フローを提案し、実現方法を明らかにする。

2-2 において、ステーションタイプ OWCS を事業性だけでなく、既存公共交通との連携性を踏まえかつ実用的かつ総合的な評価フレームワークに対する要件整理を実施する。その後、2-3 において要件を踏まえた評価フレームワークの提案と、構成する要素および評価フローについて説明する。最後に 2-4 において、提案した評価手法を実現するために新規に開発が必要な手法について説明する。

2-2 評価手法の要件整理

ステーションタイプ OWCS のサービス事業者視点で、1 章で述べたように様々なステークホルダとお互いに納得して合意できるように導入・改善計画に対して総合的に評価できる手法、かつ定量的に即座に評価できる実用的な手法が望まれる。そこで、実用的かつ総合的な評価フレームワークにするため、4つの機能要件を整理した。

1つ目は、OWCS と既存公共交通とが連携した利用を目指した計画作成・評価が可能であることである。OWCS の導入計画評価の際に事業性に重きを置いた場合、OWCS 向けの専用ステーションの設置が必要の大きく売上が立つと思われる場所にのみ集中することが考えられ、ステーションタイプ OWCS が目指す既存公共交通ネットワークでは不便さがある場所への専用ステーションの設置が見送られる可能性があるためである。

2つ目は、実運用を想定し評価結果は解を1つだけ提示するのではなく、複数提示しサービス事業者が選択できることである。1-1-3 で述べたように、今までのインフラヘビーなサービスとは異なりサービス導入・改善が比較的容易であり、PDCA サイクルが短く実行可能で現状より良い解の方を出すことが求められる。OWCS 事業者はサービス計画・運用段階で車両、駐車場、充電施設などのインフラ等様々な準備が必要なため、その度に多くの地方自治体を含むステークホルダと交渉する必要がある。そのため、交渉するたびに条件が変更する可能性があり複数の最適解や改善解を保有しておき、状況に合わせて事業者自身で選択できることが求められる。

3つ目は、既存公共交通との連携性評価を実施するため、ステーションネットワーク評価手法といった1つの機能だけではなく、評価手法全体で総合的に評価できることである。例えば、公共交通との連携性を考慮した理想的なステーションネットワークであったとしても、ステーションネットワーク上での駐車場枠・車台数といった供給側のリソース配分を誤

ると、ユーザ利便性が低いサービス設計になってしまう可能性がある。既存公共交通との連携性を総合的に評価できる手法を本研究の範囲とする（図 2-1 に示す範囲）。すなわち、既存公共交通と OWCS が連携利用されることによりインターモーダル交通環境が向上するための評価手法を対象とし、その他新たなモビリティサービスに関しては対象外とすることとする。

4 つ目は、本提案手法が OWCS を未導入地域での計画段階だけでなく、導入後の運用段階でも同様に適用できることである。OWCS は IT 化された交通サービスであり、ユーザ行動履歴等が取得可能でサービスを運用しながら改善することが求められるからである。

これら 4 つの要件を満たし、事業性と公共交通連携性の双方を考慮した、実用的かつ総合的な評価手法の構築を提案する。

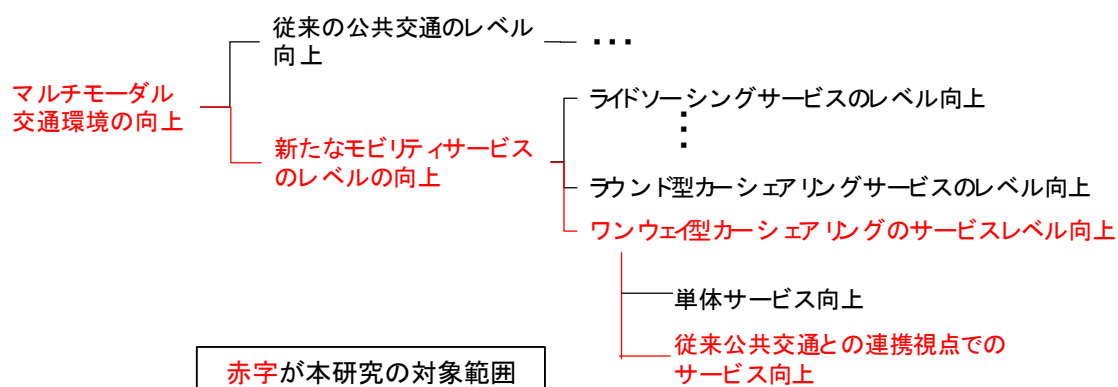


図 2-1 既存公共交通との連携視点における本研究の範囲

2-3 評価手法の構成要素と評価フロー

整理した 4 つの要件を踏まえた評価フレームワークを実現するための構成要素と開発した評価フローを図 2-2 に示す。サービス計画段階は、OWCS の観測データが存在しないため公開情報などの 2 次データをベースとし、サービス運用段階では、観測データをベースとする違いはあるがサービス計画・運用段階において 9 の共通要素で構成されるフローであることが特徴である。

サービス計画段階は、OWCS の I 導入エリア決定、導入エリア内での II ステーションネットワークの設定、車両、駐車枠数などのリソースなどを決定する III 導入プラン決定の大きく 3 つのフェーズから構成される。またサービス運用段階は、実際にサービスを運用して出てきた観測データを用いた、データ分析などを行う IV 改善案作成、改善案に合わせて V ステーションネットワーク再設定、及び VI 改善プラン決定の 3 つのフェーズから構

成される。2-3-1 以降においてサービス計画段階及びサービス運用段階での評価フローを説明する。

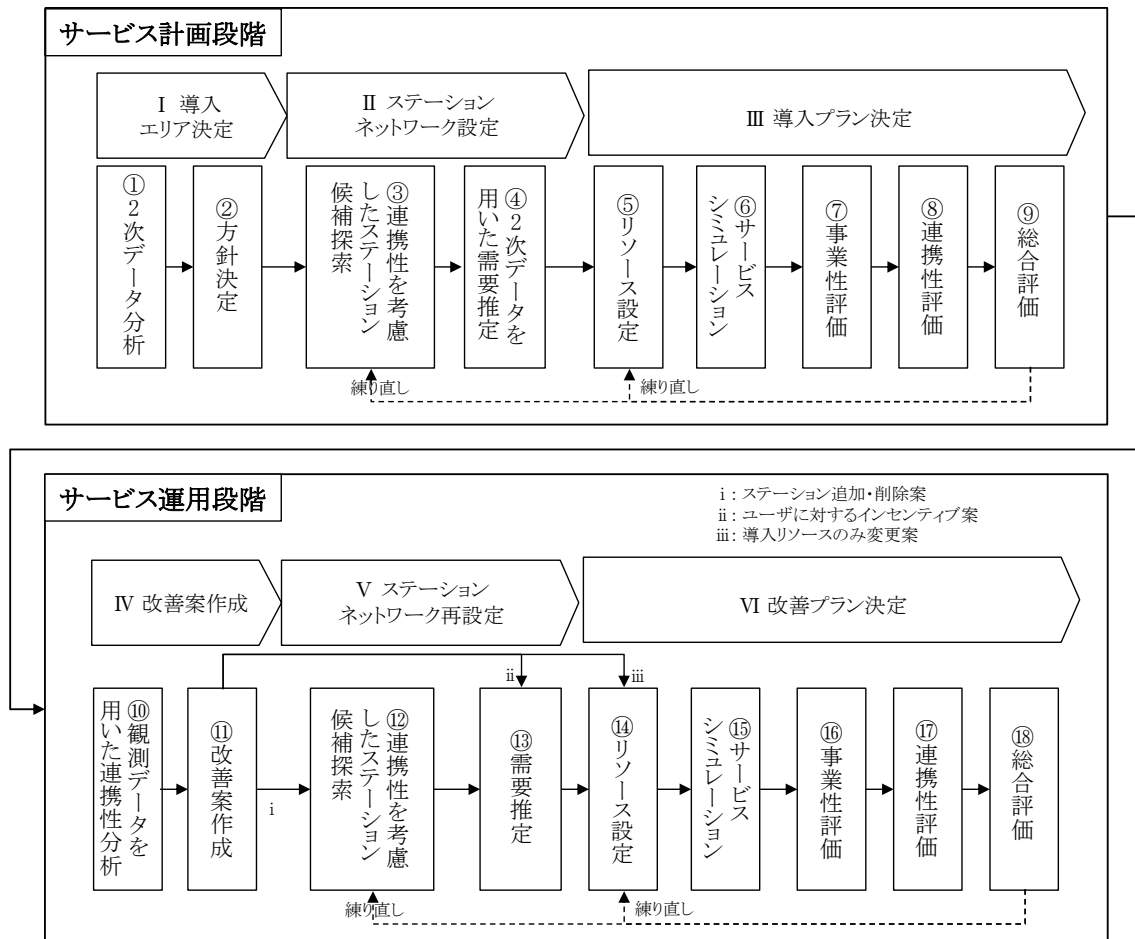


図 2-2 評価フレームワーク

2-3-1 サービス計画段階の評価フロー

I 導入エリア決定ではサービス未導入エリアでの計画を進めるため、ステーションタイプ OWCS 以外の既存公共交通環境等の情報を元に導入を検討する必要がある。そのため都市交通に関する公開 2 次データを元に分析・検討する (①2 次データ分析)。まず OWCS をどの都市に導入するかの設定から始まり、対象都市の PT データ、人口統計といった一般的に公開されているデータを用いて分析・方針検討し、導入エリアを決定する (②方針決定)。

ステーションタイプ OWCS は、端末交通であるため専用ステーションの場所が地理的に

利用者のトリップチェーン近傍にないと利用されないと考えられる。それはステーション配置が決まって初めて需要が生まれることを意味している。Ⅱ ステーションネットワーク設定においては、OWCS と公共交通との連携性を踏まえてステーション候補を探索し（③連携性を考慮したステーション候補探索）、複数ステーションネットワークを作成する。その後、複数ステーションネットワーク案に対する OWCS を利用する需要は、2 次データを元にして推定される（④2 次データを用いた需要推定）。

Ⅲ 導入プラン決定では、複数のステーションネットワーク案と推定需要に対して準備可能な複数のリソース案を設定し（⑤リソース設定）、サービスを模擬したシミュレーションを行う（⑥サービスシミュレーション）。それらのシミュレーション結果を用いて事業性を確認する（⑦事業性評価）。ここでは、ネットワーク案、推定需要、リソース案が複数存在するためそれらの掛け合わせのパターン毎に事業性を確認する。更にシミュレーションの結果を活用して既存公共交通とのシステム全体での連携性評価を実施（⑧連携性評価）し、総合的に評価し導入プランを決定する（⑨総合評価）。ステークホルダと総合評価を共有した結果、公共交通との連携性を向上させるためにステーションネットワークを見直す場合、ステーションネットワーク作成より再びスタートしたり、導入直前でステークホルダとの調整の結果や予算の関係によりステーションあたりの枠数を減らす等が必要な場合はリソース設定から再びスタートしたりして導入プランを改良することになる。

本手法は実用的に利用可能な評価手法を指向しており、導入プランを検討・再検討する場合、評価結果は最適解を 1 つ提示するのではなく、解を複数提示しサービス事業者などステークホルダで議論して、現状や常に変化する様々な制約条件を踏まえて選択できることを可能にしている。実サービス計画段階においては、制約条件は朝令暮改のごとく変化する。例えばシミュレーション評価結果より、あるステーションに充電器を設置する方向でステークホルダと調整をしていたが、想定以上にコストが大きく設置リードタイムが長いことを事業者が後々正確に認識し、充電器の設置を取りやめ別の候補をすぐに特定する必要がある等である。その際、実施していた制約を変えた結果の活用や、再シミュレーションすることを求められるためである。

2-3-2 サービス運用段階の評価フロー

サービス導入後は、OWCS 観測データ分析を通じてサービスを改善する様々な施策を設定し、評価できることが必要である。Ⅳ 改善案作成では、観測データを用いた連携性分析を実施してサービスの課題などを明らかにし（⑩観測データを用いた連携性分析）、改善に向けた複数改善策案を作成する（⑪改善案作成）。サービス課題は売上などの事業性視点だけではなく、公共交通との連携性を向上させる方策を検討するために OWCS の観測

データに基づき既存公共交通とどのように連携利用されたか等も把握する。

改善案の方向性として、ステーションを追加・削除するような案（i）、ユーザの使い勝手向上等で既存需要に変化を及ぼすようなユーザに対するインセンティブ案（ii）、駐車場枠、車両や充電器を追加するなどステーションネットワーク以外の導入リソースに関係する案（iii）の大きく3つに分けられる。iのようなステーションネットワークおよび需要に変動を与える可能性のある改善案については、V ステーションネットワーク再設定に移行し、⑫連携性を考慮したステーション候補探索から評価を実施する。iiの改善案であれば、⑬需要推定から評価を実施する。また、iiiの改善案のようにステーションネットワークに変更はなく、短期的に需要パターンは変化しないと考える場合はVI 改善プラン決定の⑭リソース設定から評価を実施する。評価はサービス計画段階と同様のフローで評価を実施し、ステークホルダとも協議しながらサービス改善案を決定していく。

2-3-3 サービス計画段階での実現方法と課題

【I 導入エリア決定】

ステーションタイプOWCSの導入を検討する場合、地方自治体が主体又はサービス事業者自らがどこの市町村に導入するか等を検討する2つのパターンが考えられる。地方自治体が主体であれば、PT情報などをベースに議論を進めていくために、対象都市の現状を把握し課題をベースに検討をしていくフローが一般的である。しかしながら、サービス事業者が検討する場合は、スピードが優先されサービス仮説などをベースに検討されることが散見される。

OWCSを公共交通の一部として、ステークホルダと既存公共交通との連携性議論をしていくため、対象都市の現状を把握しておくことは大変重要になる。① 2次データ分析の一環として現状を把握する方法として、地方自治体が目指す方向性が記述されている都市計画マスタープラン、交通マスタープラン等は有用な情報源だと思われる。市民の移動概要状況を把握するためには、定期的実施されているPT情報を確認しておくことは大変有意義である。また、対象都市でどのように人口が分布しているのか（夜間人口/労働人口）などは経済センサス、国勢調査などで確認することが可能である。

②方針決定においては、OWCS事業者自身で導入経験がない場合は、上記のような世の中にオープンになっている2次データを用いて分析し、導入エリアを決定していくことでステークホルダとの合意が取り易くなると考えられる。OWCS事業者自身で複数導入経験がある場合は、適合可能性などの知見も併せて活用することが考えられる。例えば、全世界で展開されているCar2goを題材として、12の定量的な変数と5つの定性的な変数によって

モデル化し、フレームワークを作成してシカゴでケーススタディを実施する研究¹⁾が見られる。

【Ⅱ ステーションネットワーク設定】

③ 公共交通との連携性を考慮したステーション候補探索においては、導入エリアが決定されると、どこにOWCSのステーションを配置すれば既存公共交通との連携性が向上するかを探索し、複数ステーションネットワーク案を決定していく。図1-6に示した想定利用シーンのように、OWCSと既存公共交通との連携性を高めるためには移動量の多い鉄道駅の近傍にステーションを置くだけでなく、ユーザの出発地になりえる住宅地などにも設置が必要である。既存公共交通だけを用いて移動する場合よりもOWCSを導入することで、移動時間を短く、乗り換え回数を少なくなどを可能にする、ステーションネットワークかを評価できる手法が必要になる。1-2-2で述べたように、ステーションネットワーク作成・評価に関する既往研究では、実サービスから得た観測データである1次データと外部から入手した2次データを用いたもの、2次データのみを用いたものが存在している。サービス計画段階でのステーションネットワーク案を作成するためには、2次データのみを用いるアプローチをとる必要がある。既往研究では、想定需要に基づいて事業視点で売上最大化等によって最適化したステーションネットワークを探索することが主流である。しかしながら、本提案手法では、既存公共交通との連携性を考慮した手法である必要があり、新規に開発する必要がある。

ステーションネットワーク設定時には、導入エリア決定後にOWCSステーションを追加して既存公共交通との連携性が向上するかの可能性を確認する。空いた車両があるのか到着側の専用ステーションに空きがあるのかなどの導入リソースに関係性がある部分は考慮しない形で評価を実施する。可能性のみを見ることによって⑨総合評価を実施した後に1-1-3で述べたようにステークホルダとステーションネットワーク練り直す必要がある場合においても、ネットワークやダイヤが変更されるような既存公共交通のサービスレベルが変化しない限りは、ステーションネットワーク評価結果を活用した再検討が可能となる。詳細は第3章にて説明する。

④ 2次データを用いた需要推定においては、候補となる複数ステーションネットワーク案に対してどれぐらい想定需要が発生するかを推定する。本提案手法の中では想定需要として、時空間的な需要の偏りを理解できる結果であることが最も重要である。本提案評価手法では、需要推定の後に車両台数、枠数などのリソース設定を実施しサービスシミュレーションに移行するが、初期段階では限られた予算範囲でしか準備ができないことが想定される。その想定において必要な需要推定の結果としては、想定される時空間的な需要の偏りが最も重要となるためである。

既往研究にもあるように、PT情報と選好意識調査から作成された選択モデルを用いることが一般的である。しかしながら、アンケートの設計、アンケートの実施、集計、及び選択モデルの構築までに長い期間を要する。又は、新たな交通手段を対象としているため新交通を対象とした選好意識調査モデルが行動結果と比較して過大推計されることが報告されている等²⁾、より新たな手法の開発が必要である。詳細は第4章にて説明する。

【Ⅲ 導入プラン決定】

⑤ リソース設定では、事業者が提供可能な複数リソース案（車両数、枠数、充電器設置ステーション箇所/数、配回送スタッフ数など）を設定する、⑥ サービスシミュレーションでは、ステーションネットワーク案、推定需要、及び⑤で設定したリソース設定を用いたサービスシミュレーションを行う。

用いるシミュレータは、シミュレータに対する下記3つの要件があるため本研究では図2-3で示すような状態遷移シミュレータ³⁾を用いる。1つ目の要件は、車両や駐車枠の空き/予約を予約が入った順に正確にシミュレート可能なことである。需要の予約順番が異なれば利用可能なトリップパターンが変化する可能性があるためである。例えば、AからBに移動するトリップや、そのトリップが終了後に返却された車両を使ってBからCへと移動するトリップがあったとする。前者、後者の順番通りに予約された場合には、車両が数珠つなぎで利用可能になるが、順番通りでないときにはその限りではない。結果として、異なるサービス予約成功数や異なるトリップパターンとなる可能性があるためである。このような問題を解く場合は候補として、整数計画法（Integer programming）が挙げられるが、ユーザの予約順に車両や駐車枠の空き/予約を確定させるなどの動的な状態を正確に定式化することは簡単ではない。2つ目の要件は、車両の数や駐車枠数などの様々なリソースパターンをシミュレートできることである。OWCSは端末交通であるため毎日同じ利用トリップパターンではないと想定され、不確実性が高いトリップであると考えられる。そこでシミュレーション手法としては、確率論を扱うモンテカルロシミュレーションを採用する。3つ目の要件は、評価手法の要件で述べたように、実運用を想定し評価結果は解を1つ提示するのではなく、複数提示しサービス事業者が選択できることを満たすためにも必要となる。要件の3つ目は、シミュレーション結果が次に説明する連携性評価に活用が可能なことである。そこで、本研究では著者らが提案する状態遷移シミュレータ²⁾を利用することを提案する。

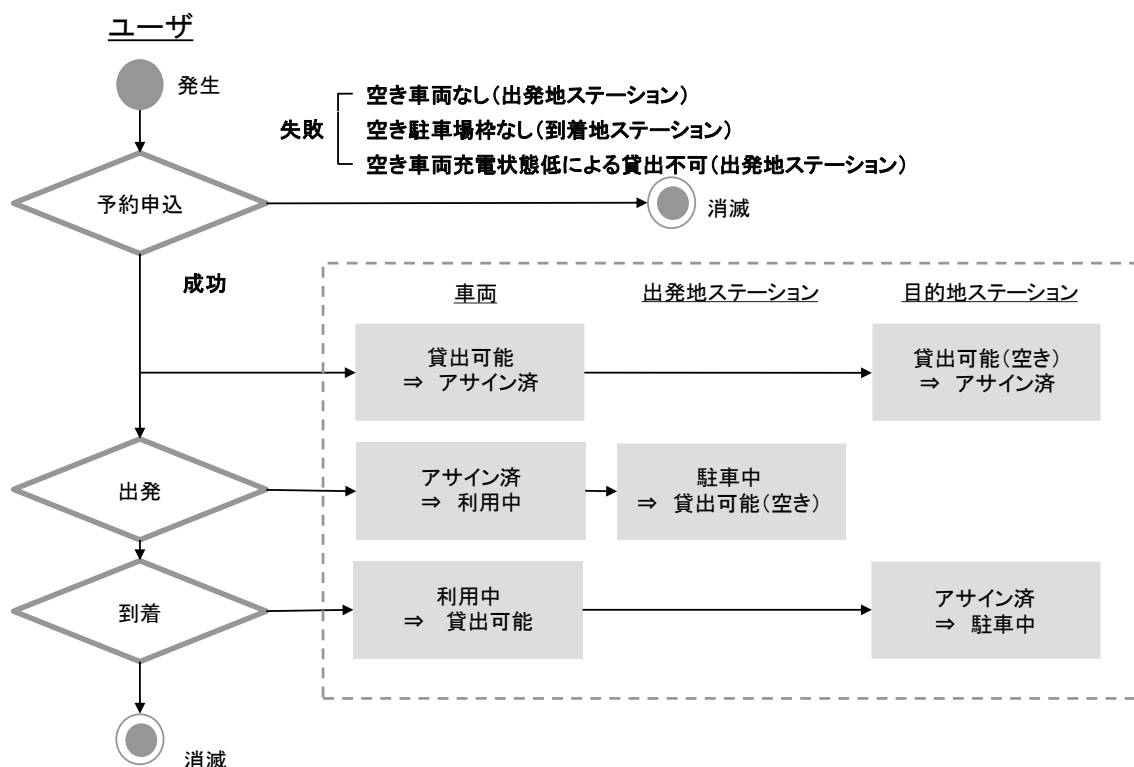


図 2-3 状態遷移シミュレータ³⁾

⑦ 事業性評価では、シミュレーション結果を用いて、導入プランごとに売上、サービス率（サービス予約成功数/リクエスト数）、収益などから事業性を評価する。

⑧ 連携性評価では、1-2-3で述べたOWCSを対象に研究されている導入地域におけるアクセシビリティ改善度を定量的に評価できるアクセシビリティ指標を活用する。アクセシビリティ改善度指標と、シミュレーション結果から算出されたトリップ数やトリップパターンを用いて評価する。詳細は第6章にて説明する。

⑨ 総合評価では、サービス事業者が事業性評価で事業として成立可能性がある複数導入プランに対して連携性を評価することで、事業性と既存公共交通の連携性がバランスの取れた導入プランをサービス事業者として選択できる実用的な手法となる。その後、ステークホルダーと評価を共有し、採用またはプランの練り直し等のアクションをとることになる。総合評価において、複数の候補の中から最終案を抽出するため事業性と連携性という2つの目的関数を最適化するパレート最適の手法を採用する。もしサービス事業者の目的関数が収益を最大化であるなら、推定した需要パターンに対して多くの利用可能性があると見積もられた導入プランを選択すると思われる。もし、既存公共交通との連携性の改善度の最大化が目的関数なら、既存公共交通ネットワークを考慮して相対的に不便であり推定需要が少ない導入プランを選択する可能性もある。それゆえ、トレードオフの関係に

ある2つの目的関数を評価できる本手法が適切であると考えた。

ステークホルダと総合評価を共有した結果、目標や制約条件などを踏まえて導入プランの練り直しを実施する可能性がある。その場合、作成した複数の導入プランをベースに練り直しを実施していく。複数プランがあることにより具体的な変更内容も議論しやすく、効率的に実施できることが可能である。公共交通との連携性を向上させる場合は、一度③連携性を考慮したステーション候補探索に戻り、ステーションネットワークを変更し、④総合評価までを再度実施する。ステーションネットワークは変更しないが、ステークホルダとの調整の結果や予算の関係によりステーションあたりの枠数を減らす等が必要な場合は⑥リソース設定に戻り、再度評価を実施し導入プランの改良を実施することを繰り返す。

2-3-4 サービス運用段階での実現方法と課題

【IV 改善案作成】

サービス運用段階で実施する⑩観測データを用いた連携性分析では、サービス計画時とは異なり、実サービスで得た観測データが存在している。そのためサービスを改善する施策を検討する大変重要な機能である。1-2-4で述べたように、OWCSに関する観測データを用いたデータ分析研究は多数見られる。しかしながら、既存公共交通との連携視点でOWCS観測データを対象に分析する手法については研究がなされておらず、新規に開発が必要である。詳細は第5章にて説明する。

⑪改善案作成においては、様々な分析手法を用いて改善案を検討し、最終的に実行に移す施策候補を決定する。2-3-2で述べたように施策候補の内容によって、施策を評価していくフローはi~iiiの大きく3つに分かれる。

【V ステーションネットワーク再設定】

施策方向性としてステーション追加・削減施策に関する場合（図2-2のiのケース）は、⑫連携性を考慮したステーション候補の探索へ移行する。サービス運用後にサービスエリアの拡大はないが、ステーションネットワークを拡張や縮小をしていく場合が想定される改善策である。本研究で開発し、サービス計画段階で用いるステーションネットワーク評価手法を、運用段階でも同様に用いることで評価が可能とする。この評価手法では、計画段階で使用するエリアのすべてのステーション候補を用いた評価だけではなく、サービス運用中のステーションネットワークを初期値として追加ステーションを評価することも可能である。詳細は第3章について述べることとする。

次に、施策方向性としてステーションネットワークは変わらず、ユーザに対するインセンティブなど将来需要推定に関わる施策の場合（図 2-2 の ii のケース）は、需要推定に移行する。

⑬ 需要推定では、ユーザにキャンペーンで利用料金が割引などのインセンティブが働いた場合に、どのようにユーザが行動変化するかなどのモデルが存在する場合、そのモデルを用いるなどして需要を再度推定し、⑭ リソース設定以降の評価を進めていく。サービス事業者スタッフによる配回送ではなく、ユーザに何らかのインセンティブを与えてユーザによる配回送実施を促すなどもここで扱う施策となる。

【VI 改善プラン決定】

最後に、導入リソースのみの変更に関わる施策の場合（図 2-2 の iii のケース）は、⑭ リソース設定に移行する。

⑭ リソース設定においては、ステーションネットワークは変化しないが、導入車両台数の変更（追加・削減）や機会損失を防ぐために充電器が現状ないステーションに対して追加する場合が対象となる。具体例は第 7 章にて説明する。

⑮ サービスシミュレーションにおいては、計画段階と同様の手法を使用する。車両の偏りなどにより更なる配回送の必要性がデータ分析から明らかになった場合は、配回送スタッフや新たな配回送手法をシミュレーションが必要である。サービスシミュレーション以降においては、事業性と既存公共交通との連携性の両面で再度評価を実施していく。

観測データを用いた研究は多数実施されており、方針決定以降はそれら手法を用いたデータ分析、需要推定、及び本研究で開発したステーション評価手法を応用することで実施可能であると考えられる。また、サービス計画段階と同様のスキームで、⑯ 事業性評価、⑰ 連携性評価、及び⑱ 総合評価は実施可能である。

2-4 新規開発手法

今までに研究されてきた手法だけでは求められている評価手法の実現が困難であるため図 2-2 の③OWCS と公共交通との連携性を考慮したステーション候補探索手法、④ 2 次データを用いた需要推定に活用する OWCS の時空間的需要偏在推定手法、及び⑩ 観測データを用いた連携性分析に活用するサービス導入後の公共交通との連携性を識別できる公共交通連携利用判別モデルの合計 3 つの手法を新たに開発した。

OWCS と公共交通との連携性を考慮したステーション候補探索手法については 3 章で、2 次データを利用した OWCS の時空間的需要偏在推定手法については第 4 章で、サービス導入後の公共交通との連携性を識別できる公共交通連携利用判別モデルについては第 5 章

で詳細を説明する.

第 2 章 参考文献

- 1) René Seign, Klaus Bogenberger, "Model-Based Design of Free-Floating Carsharing Systems", 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board
- 2) 杉恵頼寧、藤原章正、“選好意識データを用いた交通手段選択モデルの特性—広島市新交通システムを対象”、広島大学工学部研究報告 37,2(1989)
- 3) Shimazaki, K ed., "Development of a Simulator for One-way EV Sharing Service" in Proceedings of 20th ITS World Congress (Tokyo, 2013)

第 3 章 OWCS と公共交通との連携性を考慮したステーション候補探索手法

3-1 はじめに

本章では、導入エリア決定後に、既存公共交通との連携性が向上するかを踏まえた OWCS のステーション候補探索手法について提案し、探索手法を適用したケーススタディを実施することで手法の実用可能性検証を行っている。

本研究で想定する公共交通連携、補完手段としての OWCS 利用シーンを図 3-1 に示す。

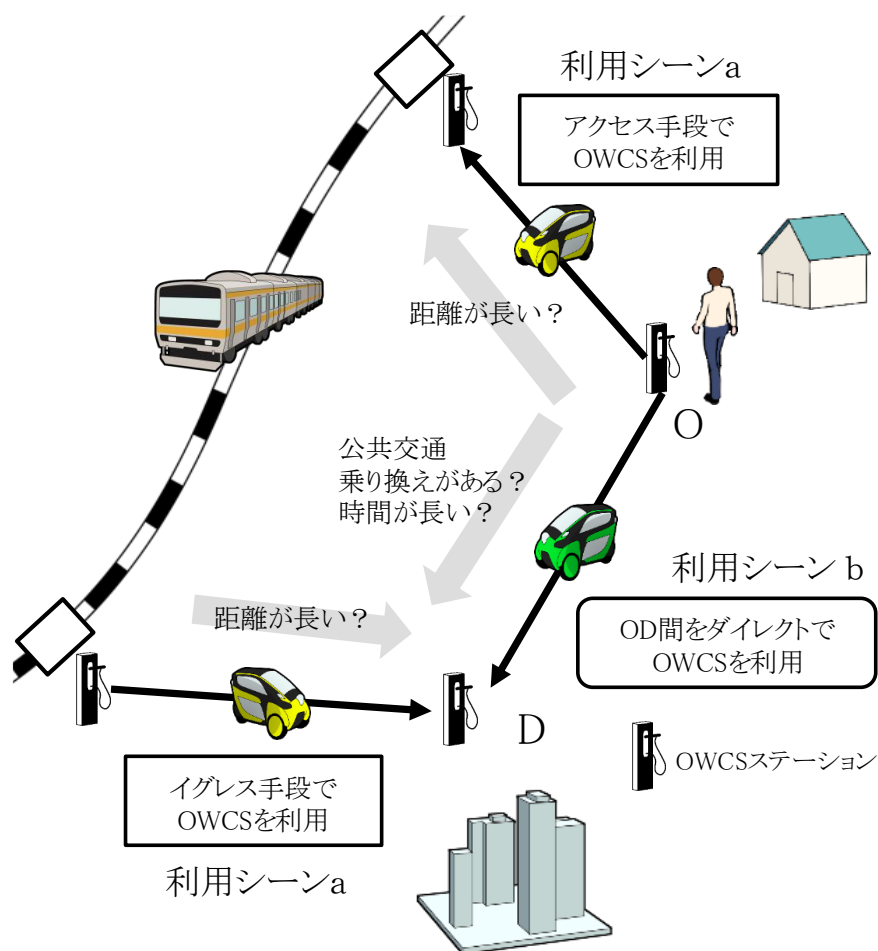


図 3-1 ステーションタイプ OWCS の公共交通連携／補完手段としての想定利用シーン

OWCS と公共交通とが連携した利用方法として、公共交通駅までの距離が長い場合にアクセス/イグレス交通手段として OWCS を利用し公共交通へ乗り継ぐ（利用シーン a）、又は公共交通駅の乗り換えが有り、所要時間が長いことによるユーザの不便さを解消するための手段として OD 間をダイレクトで OWCS を利用して補完する（利用シーン b）の 2 つがあると考えられる。OWCS の新規導入を検討する場合、対象エリアでの観測データが存在しないため、2 次データを元に利用シーンにあったステーション候補を探索する手法が重要になる。

そこで、公共交通が導入されているものの周辺と比較して不便であるとユーザが感じると思われる場所を OWCS ステーション候補として抽出するため、公共交通での移動時間などを把握できるマルチモーダル検索結果等の 2 次データを用いた探索手法を提案する。マルチモーダル検索結果とは、鉄道・バス・自動車・徒歩などの複数の交通手段を横断してルート探索を行うサービスの探索結果を意味する。

既往研究では想定需要に基づいて事業視点で売上最大化等によって最適化したステーションネットワークを探索されていることが主流である。しかしながら、本提案手法では、既存公共交通との連携性を考慮した手法である必要があり、既往研究で開発された手法を適用することは困難であり、新規に開発する必要がある。

本手法では 2 次データとして従来利用されている PT 情報のような需要量に関するデータを主なデータとして利用するのではなく、公共交通との連携性を意識しマルチモーダル検索結果を主なデータとして用いることが特徴である。既存公共交通を用いた場合と比べて OWCS を活用した場合移動時間が明らかに小さい等の場所をステーション効果から評価して抽出する手法である。

3-2 において、新規にステーションタイプ OWCS 導入検討を実施する段階における、公共交通連携、補完に向けた OWCS ステーション探索手法について提案する。3-3 においては東京を題材としたケーススタディを実施し、3-4 では東京でのステーションタイプ OWCS での観測データの分析を通してその妥当性を確認する。3-5 で結論と今後に向けた課題を述べる。

3-2 公共交通連携向けステーション候補探索手法

図 3-2 に示す公共交通連携向けステーション候補を決定するための候補検索フローは、ステーション案作成とステーション評価から構成される。

ステーション案作成では、図 3-1 に示した利用シーン a や利用シーン b としての利用が見込まれるような、公共交通での移動が周辺よりも相対的に不便な場所を探索し、それらを OWCS ステーションの候補として抽出する。

ステーション評価では、特徴量を踏まえて複数存在するステーション候補群に優先度をつける。更に優先度が高く抽出された候補群と共起性が高い場所を新たなステーション候補として追加する。共起性とは自然言語処理の分野においては、同時に出現する文字列との関係性を示すが、本研究ではトリップが生じる際の起点や終点となる関係性を示している。OWCS はワンウェイ利用が可能であるため、抽出候補から又は抽出候補へ移動する可能性が高い対となる場所を共起性が高いと判断し、それらをステーション候補として追加する

ことを意味する。

本提案手法は、マルチモーダル検索結果を主なデータとして用いて、ステーション候補の抽出とステーション案の評価において活用すること。加えて、ステーション候補レベルの需要量を用いて優先度付けや、共起性の高いステーション候補の追加を行うことが可能という特徴を持っている。

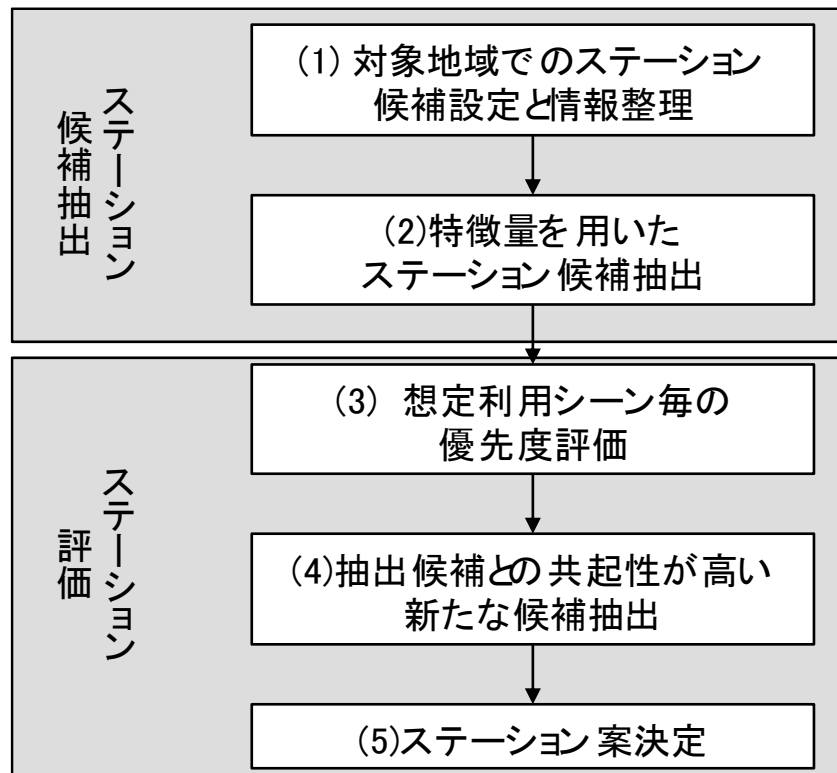


図 3-2 ステーション候補決定フロー

3-2-1 対象地域でのステーション候補設定と情報整理

OWCS を提供する対象地域を設定した上で、OWCS の移動特性をふまえ、ステーション配置を検討する最小間隔で区切った場所をステーション候補場所とする。OWCS は貸し借り可能なステーションができるだけ対象地域において広く設置されるほうが利便性は高くなるため、OWCS ステーションへのアクセス距離を考慮して最小間隔を設定することが望まれる。ステーション候補場所の設定イメージを図 3-3 に示す。ここでは矩形で表現しているが、設定にあたっては必ずしも矩形である必要はない（以後簡便な表現のため、分割した単位をメッシュと呼ぶ）。また対象地域の内、移動対象ではない場所（例えば海）を初めから

候補として入れないで省くことも可能である。



図 3-3 ステーション候補場所の設定イメージ

次に、対象メッシュが公共交通連携/補完が可能な OWCS ステーション候補となりえるかを検討するため、対象メッシュの特徴量を整理する。

整理する特徴量は、①対象メッシュからの最寄り駅までの距離（以後、最寄り駅間距離）、②対象メッシュから他のメッシュに対して公共交通と徒歩で移動する場合の公共交通乗り換え回数（以後、乗り換え回数）、及び③公共交通と徒歩で移動する場合と車両のみで移動する場合の時間差（以後、移動時間差）とする。本手法では公共交通ネットワークが存在している中で、図 3-1 に示すような公共交通を用いた移動が不便な場所を抽出することが主な狙いである。そのため、最寄り駅までの距離と移動時間差を主な指標として選択する。OWCS が未導入の場所での導入検討における利用を想定しており、一般的な指標として考えられる利用料金は変更可能な変数であるとして考慮しないこととする。

本手法における、公共交通移動と車移動の時間差算出イメージを図 3-4 に示す。公共交通の移動時間 (T_{PT}) は、電車・バスでの所要時間 ($T_{train/bus}$) と徒歩時間 (T_{walk}) によって表現される。所要時間は公共交通の頻度をふまえて平均待ち時間 (T_{wait}) を考慮することも可能である。また車移動時間 (T_{car}) は、対象メッシュ中心に車両がありすぐにアクセスできるとして車移動時間 (T_{Drive}) で表現される。また、車両に乗降する際の準備時間 ($T_{on/off}$) も加えることも可能である。これらの値は、エリア内での移動をした場合を想定したマルチモーダル検索結果をもとに整理する。対象メッシュから他のメッシュへ公共交通機関を用いる場合の経路は複数存在するが、本研究では多くの人が最短経路を選択しているという仮説に基づき経路設定を行っている。対象メッシュごとに数値を整理するが、特徴量であ

る乗り換え回数と移動時間差においては、1つのメッシュにおいて他メッシュの数に対応した複数の数値を持つ。そのため、対象メッシュの特徴量は他の全てのメッシュへの値の平均値とする。平均値を用いる理由は対象メッシュのポテンシャルを測る上で対象エリア内でのトリップ可能性全体を踏まえるためである。最後に移動時間差 (T_{dif}) は、 T_{PT} と T_{car} の差で表現される。

$$T_{PT} = T_{train/bus} + T_{walk} + T_{wait} \quad (1)$$

$$T_{car} = T_{Drive} + T_{on/off} \quad (2)$$

$$T_{dif} = T_{PT} - T_{car} \quad (3)$$

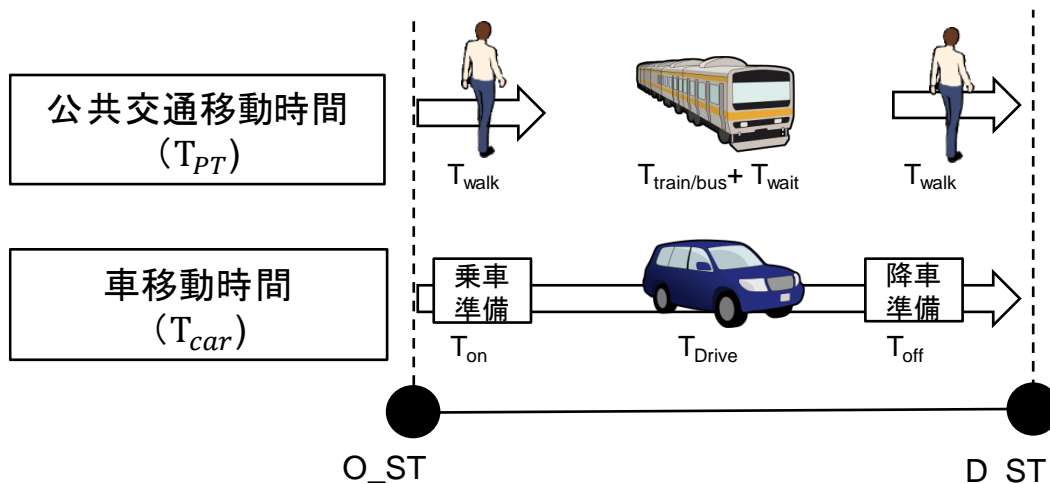


図 3-4 公共交通移動と車移動の時間差算出イメージ

3-2-2 特徴量を用いたステーション候補抽出

ステーション候補を抽出するため、メッシュ毎の特徴量である移動時間差とステーション候補からの最寄り駅間距離をプロットし、ある閾値以上のメッシュをステーション候補とする手法を採用した。

利用シーン a の場合、対象地域内にあるメッシュの特徴量として移動時間差と最寄り駅間距離が他のメッシュよりも大きな値を示しているプロットの集合をステーション候補群として抽出する (図 3-5 の利用シーン a 向け候補群)。抽出方法としては様々あり、最寄り駅間距離が大きな影響を与えると仮定するのであれば、対象エリアでの平均値を閾値としたり、サービスとしての狙いがあるならその値を設定したりすることも可能である (例えば最寄り駅から 500m 以上離れている場所を優先など)。その閾値と対象エリアでの近似式の交点を更なる閾値として、対象とするステーション候補を抽出することも可能である。

利用シーンbの場合、対象地域内にあるメッシュ間の移動時間差が大きく、ステーション候補と最寄り駅間距離が利用シーンa向け候補群よりも小さいプロットの集合をステーション候補群として抽出する（図3-5の利用シーンb向け候補群）。抽出方法は、利用シーンa向けのプロット集合を抽出する場合と同様とする。

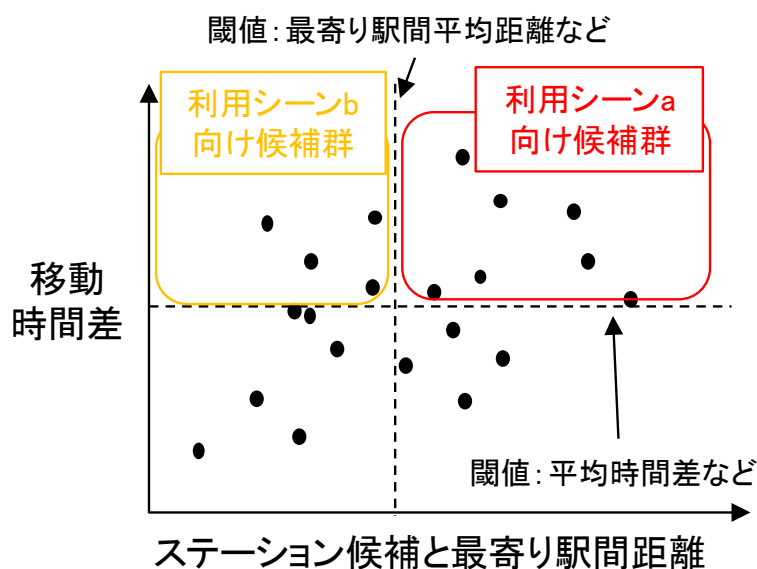


図 3-5 ステーション候補抽出方法

3-2-3 想定利用シーン毎の優先度評価

抽出されたステーション候補群のステーション数が、保有している車両数や予算等から想定する実務上の候補数よりも多くなった場合、抽出したステーション候補群の特徴を鑑みて、優先度付けを実施する。

図3-6に候補優先度付け結果イメージを示す。利用シーンaの候補群として選択されたステーション候補は、公共交通駅から離れた場所にあり、全体的に移動需要が低いことが想定されるため、対象ステーション候補の需要（発生集中量）が大きなものを優先することとする。ここで用いる需要は、2次データであるパーソントリップ調査データやモバイル/スマートフォン位置情報を用いることを想定している。もし、メッシュ単位で発生又は集中量がそれぞれデータとして存在している場合は、発生集中量の総和を用いることとする。なお、優先度決定に用いることを考慮すると、需要量は絶対値だけではなく、相対的な数値での優先度評価も可能である。なお、ここではOWCSのステーションの有無によって需要量が大きく変化しないと仮定する。

利用シーンbの候補群として選択されたステーション候補は、利用シーンa向けステーション候補群と比べて最寄り駅間距離が短いにも関わらず移動時間差が大きいことを想定していることから、公共交通の整備状況によって差が生じていると想定されるため、平均乗り換え回数が大きなステーション候補を優先することとする。

順位	Mesh_ID	需要量 (発生集中度)
1	AAAA	1358
2	BBBB	1111
3	CCCC	980
4	DDDD	779
5	EEEE	699
⋮		

順位	Mesh_ID	平均乗り換え回数
1	FFFF	1.97
2	GGGG	1.92
3	HHHH	1.82
4	IIII	1.67
5	JJJJ	1.55
⋮		

図 3-6 優先度付け結果 (左：利用シーンa向け、右：利用シーンb向け)

3-2-4 抽出候補との共起性が高い新たな候補抽出

利用シーンa/b向けステーション候補を抽出したが、公共交通が比較的不便なエリアをステーション候補して抽出したのみであり、そのステーション群とつながりが深いメッシュを選択してステーション候補として追加していく必要がある。追加ステーション候補としては、公共交通の駅等が期待される。そこで、図 3-7 に示すように抽出したステーション候補群と共起性（トリップ関連性）が高いメッシュをステーション候補として追加する。共起性を見る指標としては、PT データやモバイル/スマートフォン位置情報を用いることを想定している。単一のステーション候補の共起性だけではなく各候補からの共起性（具体的には発生集中度）を積み上げて、共起性が高いメッシュを候補として抽出する。

例えば利用シーンa/b向け候補が図 3-7 のように4メッシュ存在している場合、それぞれのメッシュを対象にトリップの発生（または集中）対象になっているトリップを抽出し、トリップの集中（または発生）対象になっているメッシュを特定し、そのメッシュを共起性のあるメッシュとして抽出する。共起性があると抽出されたメッシュが利用シーンa/b向けに

抽出されたメッシュ群との共起性の強さを PT データやモバイル/スマートフォン位置情報を用いて定量的に積み上げて確認する流れになる。

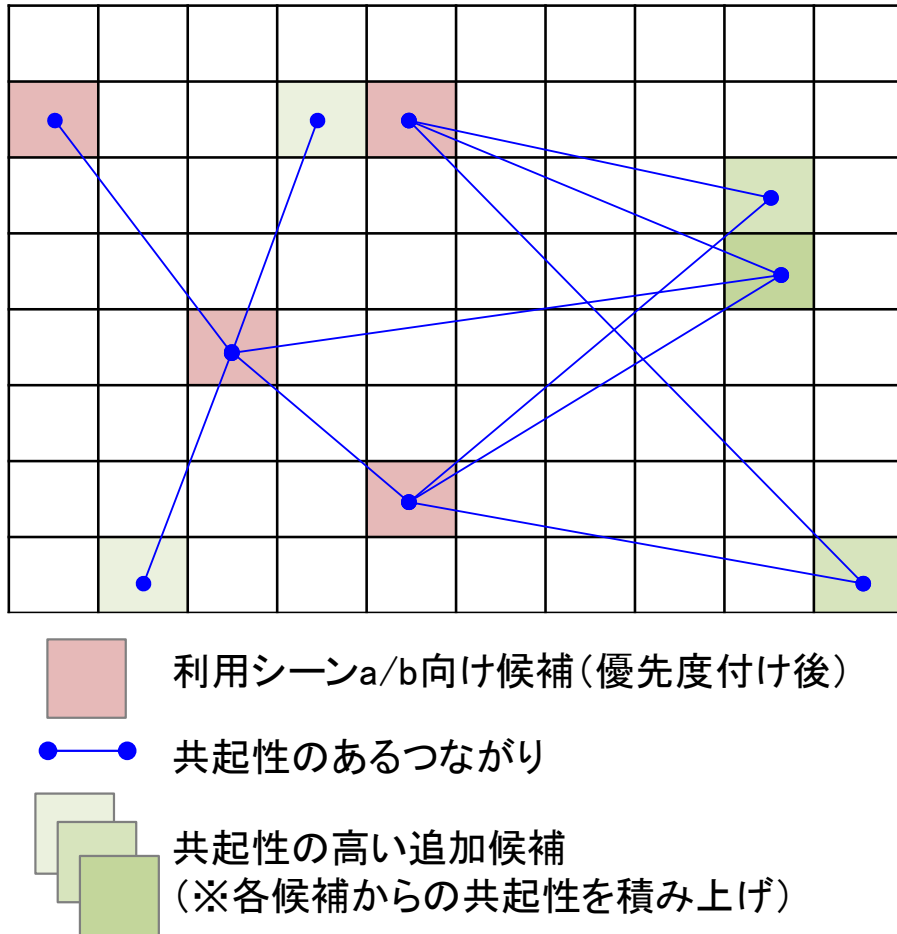


図 3-7 抽出候補と共起性の高いメッシュのイメージ

3-2-5 ステーション案決定

利用シーン a/b 向け候補、及びそれら候補と共起性が高いと判断されたステーション候補を合わせて最終的なステーション候補とする。ステーション候補は今回の場合、メッシュ単位であるため、それぞれの候補となったメッシュが重なる場合が存在する。その場合1つのステーション候補として抽出されることになる。そのためステーション候補は単純に足し合わせたものよりもステーション候補は少なくなる可能性がある。

3-3 東京湾岸部を対象としたケーススタディ

提案したステーション探索手法を用いて、**図 3-8** に示す東京湾岸部を対象としたケーススタディを実施する。**3-4** において観測データを用いた検証を実施することをふまえ、**図 3-8** に示す TCPH (Times Car PLUS × Ha:mo¹⁾) で展開されているエリアを対象エリアと設定する。TCPH とは東京湾岸地域を中心に超小型モビリティを用いたステーションタイプ OWCS である。なお、メッシュサイズは4分の1地域メッシュ (1辺の長さが約 250m) とする。

マルチモーダル検索結果は、ナビタイムジャパンの経路探索エンジンを活用し、各メッシュの中心点から他の全てのメッシュの中心点間を、自動車で移動する場合と公共交通と徒歩で移動する場合の検索結果を用意する (2016 年 11 月時点の結果を活用)。なお、今回は、公共交通の移動は電車のみを対象とする。また、東京中心部を対象としたため、公共交通運行頻度は高い。そこで公共交通の平均待ち時間はないものとして計算を行う。

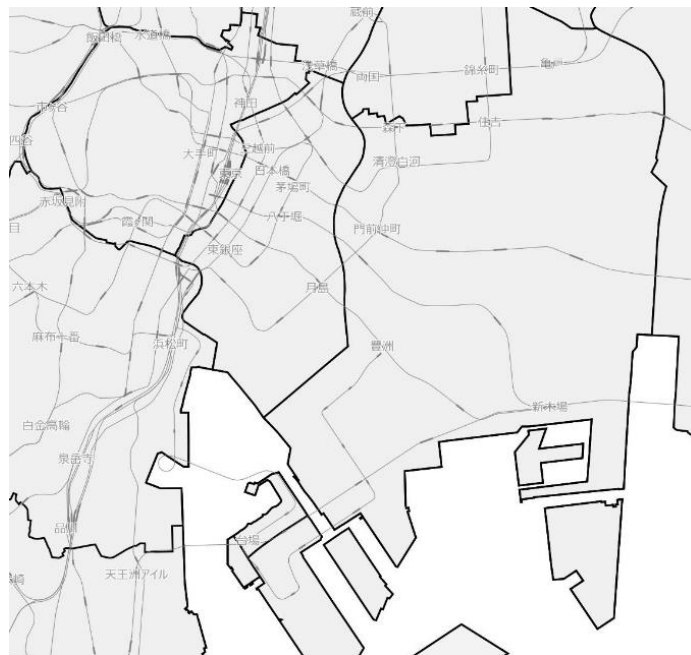


図 3-8 東京湾岸部でのケーススタディ対象

ステーション候補間のトリップ量については、KDDI のスマートフォン位置情報から移動量を推定する手法²⁾を利用した結果を活用する (許諾のとれた au スマートフォンの生成する端末位置ログを対象とし、2016 年 6 月 1 日~14 日の 2 週間を対象)。対象エリアでの各メッシュの特徴量の差からステーション候補を抽出していくため、最寄り駅距離と時間差の関係を**図 3-9** で示す。

OWCS を利用する場合には、初期車点検や貸出返却処理などで準備時間が必要となるた

め、乗降時にそれぞれ 10 分を要すると仮定する。この仮定を踏まえると、その場合、移動時間差が少なくとも 20 分以上ある場所を抽出する必要があると考えられる。今回のケーススタディでは平均時間差値が 25.9 分であったため本値と近似式との交点である最寄り駅までの距離 379m を閾値としてそれぞれの候補群を抽出した。

利用シーン a 向けのステーション候補、利用シーン b 向けのステーション候補、共起性が高い候補をそれぞれ図 3-10、図 3-11、図 3-12 に示し（それぞれ上位 49 位までを地図上に表示）、集約版を図 3-13 に示す。利用シーン a 向けでは、東西に延びている鉄道路線等の中に多くステーション候補が見られ、ステーション候補から最寄り駅が離れている場所が選択されていることが確認できる。利用シーン b 向けでは、お台場、有明周辺で多くの候補が見られ JR 線と、メトロ各線やゆりかもめ線を乗り継ぐことが多い場所が選択されていることが確認できる。共起性候補では、利用シーン a/b の候補と似た場所も選択されているものの比較的公共交通駅に近い場所が選択されていることが確認できる。

以上より、想定したステーション候補が本手法により抽出できていることが確認できた。

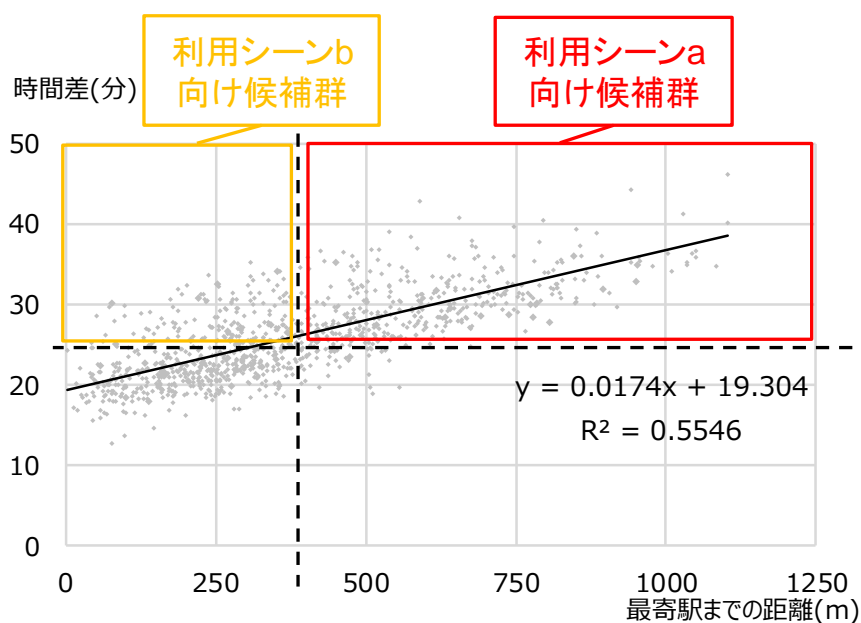


図 3-9 対象エリアでの最寄り駅までの距離と時間差

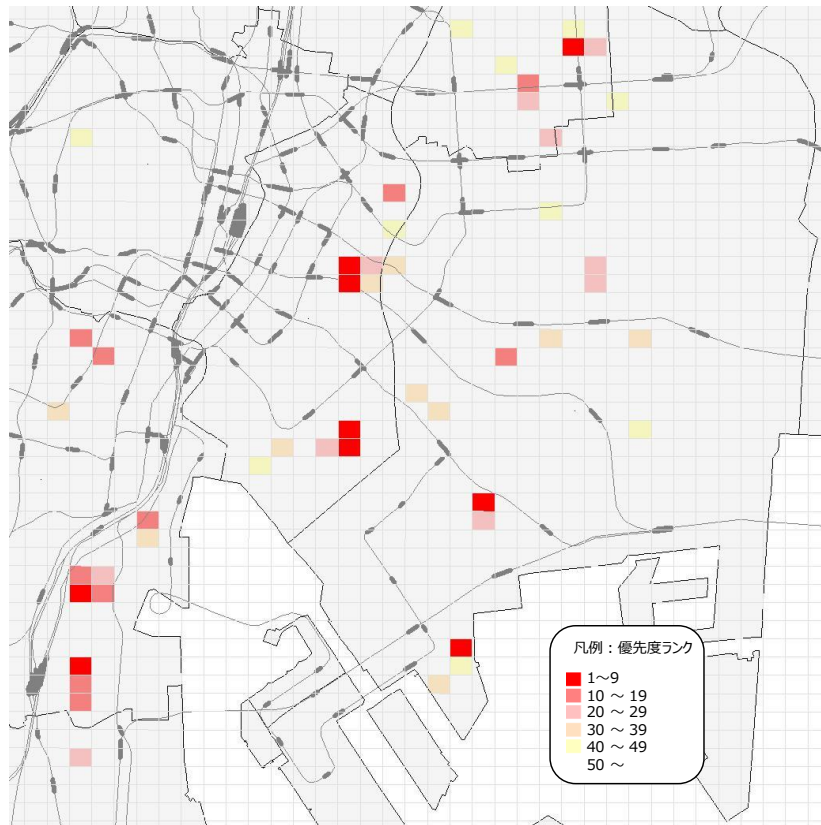


図 3-10 利用シーン a 向けステーション候補優先度結果

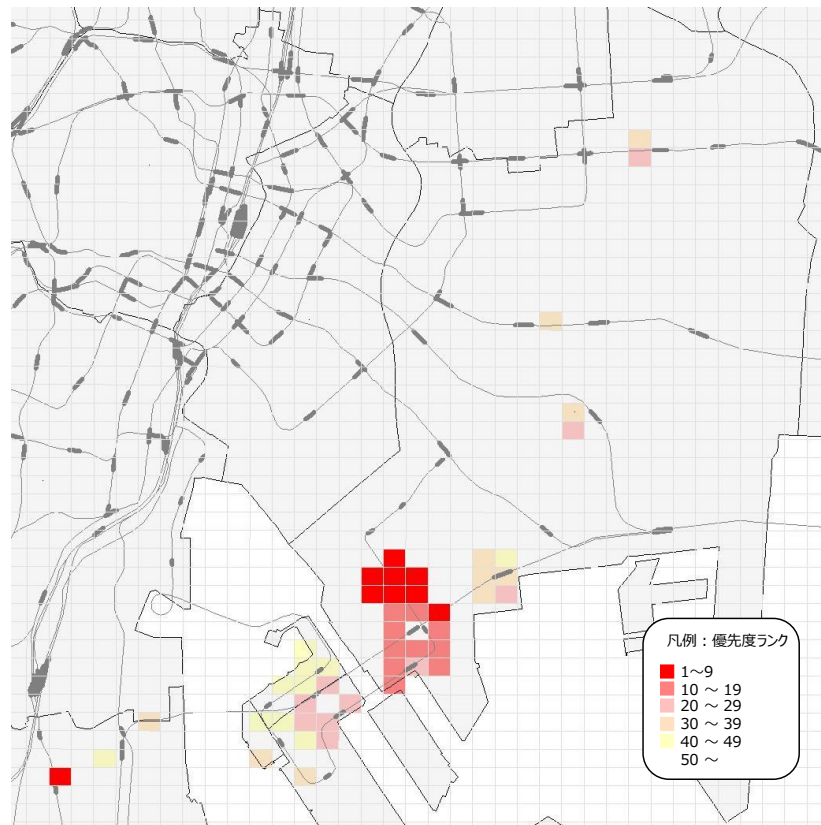


図 3-11 利用シーン b 向けステーション候補優先度結果



図 3-12 共起性の高い候補の優先度結果



図 3-13 ステーション候補 (集約版)

3-4 観測データを用いた妥当性検証

ステーション候補抽出に使用したステーション特性と、実際に利用されていたステーション間移動の特性が一致しているのかを確認することで、ステーション候補探索手法の妥当性検証を行う。確認にあたっての視点は、①移動時間差が大きなステーション間での利用がされているのか、②公共交通乗り換えが多いステーション間で利用されているのかの2点となる。

検証においては、TCPHでの利用実績（2015年10月～2016年6月：会員数約3,000人）を用いる。抽出したステーション候補と同じメッシュ、又は隣接しているメッシュに実ステーションが存在する場所を表3-1において示す比較候補とし、抽出した比較ステーション候補のステーション間利用特性について、その他ステーションのステーション間利用特性と比較する。

表 3-1 比較対象としたステーションリスト

ステーション名	利用シーン a向け	利用シーン b向け
勝どき5丁目	○	
豊洲ONビル	○	
晴海4丁目	○	
古石場3丁目	○	
東雲第3		○
パレットタウン		○
有明セントラル		○
台場フロンティア		○

3-4-1 移動時間差比率比較

利用シーン a/b 向けとして選択したステーション群は、公共交通と車両の移動時間差が大きいステーション間移動特性を持っているものを選択していた。そこで、利用シーン a/b 向けとして選択したステーションに関するトリップと、その他ステーションに関するトリップ特性の差として移動時間差を確認する。

OWCS の実トリップがあった場合、実トリップの OD と対応するマルチモーダル検索結果の移動時間差が生じると想定し、実トリップ毎に移動時間差を整理する。例えば、対象ステーションを A とした場合に A から B に移動した実績があった場合、図 3-14 で示すように、マルチモーダル検索結果から算出した時間差が生じると考える。対象期間にステーション A を出発する実トリップが複数回存在する場合は、移動時間差を足し合わせる。

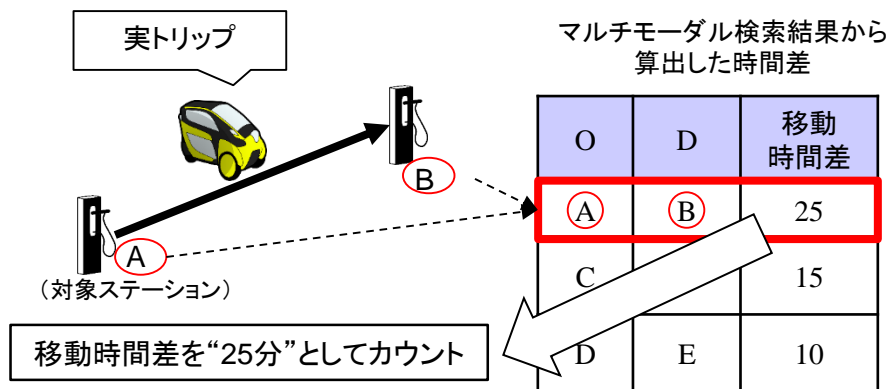


図 3-14 検証のための移動時間差の考え方

移動時間差別のトリップ比率について、表 3-1 に示す比較対象ステーションとその他ステーション別に整理した結果を図 3-15 に示す。その他ステーションにおけるトリップ比率をみると 0~20 分が約 50%を占めており、比較的移動時間差が小さなステーション間移動が多い。一方で、利用シーン a/b 向けとして抽出されたステーション群の移動差別のトリップ比率をみると、移動時間差が 20 分より大きなトリップが約 80%を占めている。

この結果、本手法で抽出されたステーションは、その他ステーションの結果と比較して移動時間差の大きなトリップ比率が高く、抽出に使用した特性である移動時間差が実利用の特性と比較的一致していることが確認できた。

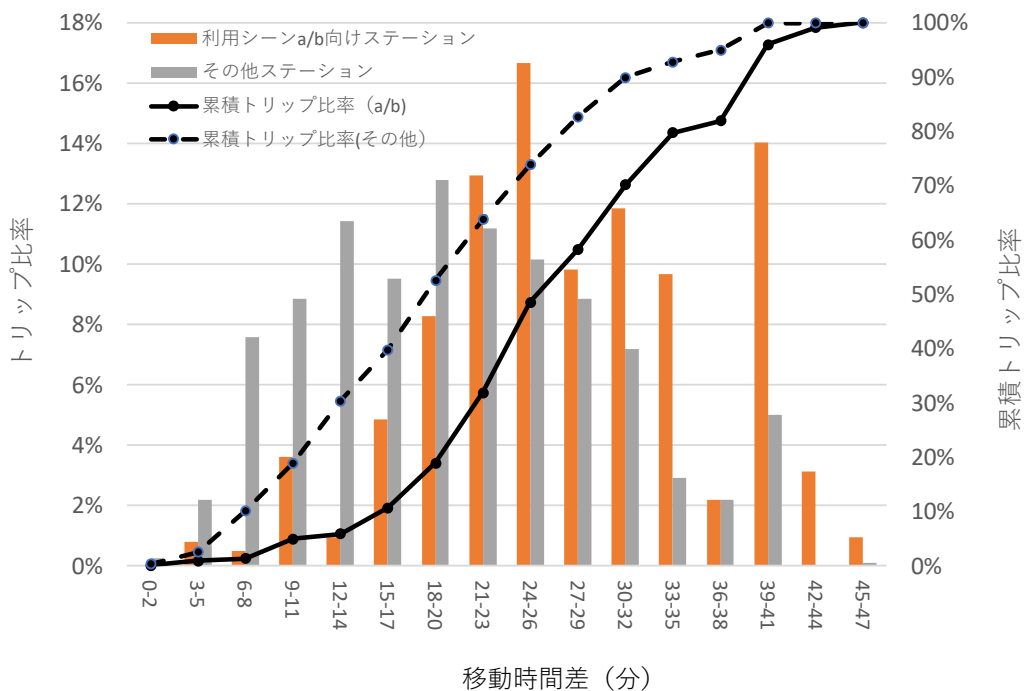


図 3-15 移動時間差別のトリップ比率

3-4-2 乗換有無比率比較

利用シーンb向けとして選択されたステーション群は、平均乗り換え回数が多いステーション特性を持った場所を選択していた。そこで、移動時間差と同様に、図3-16のように実トリップのODと対応するマルチモーダル検索結果の乗り換えの有無についても確認する。

利用シーンb向けステーションとその他ステーションを区別し、乗り換え有無別のトリップ比率を表3-2に示す。利用シーンb向けステーション群では乗り換え有りの比率がその他ステーション群と比較し11.1%高くなっていることがわかった

この結果、利用シーンb向けに抽出したステーションは、その他ステーションと比較して乗り換え有比率が高く、抽出に使用した特性である平均乗り換え回数の多さが実利用の特性と比較的一致していることを確認できた。

以上より、利用シーンa/b向けに抽出したステーション群は、その他ステーション候補よりも移動時間差が大きなステーション間で利用されている比率が高く、また利用シーンb向けには公共交通で移動した際に乗り換えが必要となるステーション間で利用されている比率が高いことを確認し、本手法の妥当性が確認できた。

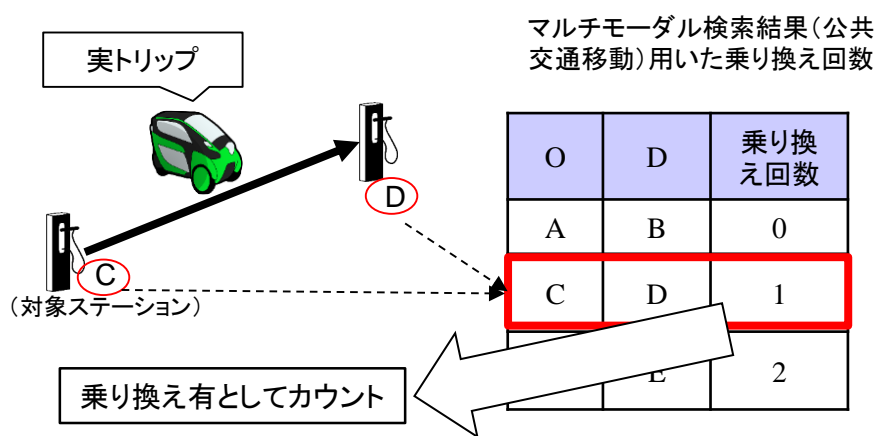


図3-16 検証のための乗り換え有無の考え方

表3-2 実利用ベースのトリップ比率

	実利用ODトリップ数比率	
	乗り換え無し	乗り換え有り
平均	79.2%	20.8%
利用シーンb向けステーション	70.1%	29.9%
その他ステーション	81.2%	18.8%

3-5 結論と今後に向けた課題

本研究では、ステーションタイプ OWCS 導入計画時を対象とし、公共交通との連携性を高めるため周辺と比較してモビリティの面で不便である場所をマルチモーダル検索結果等の2次データを用いてステーション候補として探索する手法を提案した。具体的には、既存公共交通を用いた場合と比べて OWCS を活用した場合移動時間が明らかに小さい等の場所をステーション候補から評価して抽出する手法である。提案した手法を用いて、東京エリアで適応し想定したユースケースにあったステーション候補が抽出されていることを確認した。

この評価手法では計画段階で使用するエリアのすべてのステーション候補を用いた方法だけではなく、サービス運用中のステーションネットワークを初期値として追加ステーションを評価することも可能である。3-2-1 で述べたように対象メッシュの特徴量はエリアに存在する他の全てのメッシュへの値の平均値としている。サービス運用中に追加ステーション候補の作成・評価を行う場合は、全てのメッシュを対象とせず既存ステーションネットワークと新規ステーション候補との関係のみをステーションの特徴量とすることで可能となる。

今後に向けた研究としては、下記の3点が考えられる。

1つ目は、対象地域設定方法とステーション候補設定の改良である。本手法では対象エリア内でのトリップ可能性全体を踏まえるためにメッシュの特徴量は他の全てのメッシュへの値の平均値を用いている。しかしながら、その結果は対象地域が変化したり、対象エリア内でステーション候補として期待できないメッシュが増加したりすることでその値は大きく変化する可能性がある。解決策案としては、できるだけ OWCS ステーションが置くことができる場所の特定しておき、対象地域の拡大・縮小を実施したり、対象地域内からステーション候補としてなりえない場所についてはあらかじめ候補から削除したり、等が考えられる。

2つ目はステーション候補抽出方法における閾値直線の改良である。図 3-5 に示したステーション候補抽出方法では、抽出するための閾値として一意の値を設定し直線を用いて候補群を選定した。本来ステーション候補と最寄り駅間距離が大きくなるにつれ、移動時間差は自然と増加していくため、正の傾きを持った直線又は曲線としたほうがステーション候補を目的に合わせて抽出されることが可能になると考えられるためである。様々な場所での観測データが蓄積されてきた場合、3-4 で実施した妥当性評価結果をもとに利用シーンにあった使い方のされているステーション群データを元にしたモデル化が考えられる。

最後に、他のモビリティサービスへの拡張が考えられる。本手法を拡張し、ユーザが乗降する場所が推定できれば、例えばタクシーであれば、タクシースタンド候補/流しエリア/ル

ート作成に、またオンデマンドバスであれば、バス停や臨時バス停場所作成等に活用することが可能になるため、重要な情報になる可能性があると考えられる。

第3章 参考文献

- 1) タイムズモビリティ株式会社：Times Car Plus Ha:mo, <https://plus.timescar.jp/tcph/>, 2015. (2019年2月8日)
- 2) 菊池雅彦, 井上直, 岩館慶多, 茂木渉, 森尾淳：全国PTデータと携帯電話基地局データを用いた地方都市でのOD表の推計, 第55回土木計画学研究発表会, CDROM, 2017.
- 3) タイムズ 24 株式会社：交通 IC パーク&ライド (パークアンドライド) の使い方, <https://times-info.net/feature/pandr/service.html>, (2019年11月24日)

第4章 2次データ利用したOWCS時空間的需要偏在推定手法の開発と検証

4-1 はじめに

本章では、OWCS ステーション候補が決まった後に実施する OWCS の時空間的需要偏在推定手法について提案する。また、提案する推定手法を用いてケーススタディを実施し、東京で実施されているサービスの観測データと比較することで手法の実用可能性検証を行っている。

図 2-2 で示す評価フレームワークでは、3 章で開発した手法を用いて作成した複数ステーションネットワーク案に対してどれぐらい需要が生じるかを推定し、その後いくつかのリソースパターンに対してサービスシミュレーションを実施し、総合的に評価をして導入プランを決定していく流れになる。

本章で求められる需要推定結果として、時空間的な需要の偏りを理解できる結果であることが最も重要である。なぜなら、1-1-3 で述べたように、OWCS の特徴としてワンウェイで乗り捨て可能であるため、車両がどれぐらい偏在する可能性があるかは導入段階に最も考慮したい点のためである。もちろん定量的にどれぐらいの需要量が見込まれるかということも重要であるが、実際のサービス導入の際には、限られた予算範囲でしか準備できないことが想定され大きく変更することは非現実的である。そのため期初計画を迅速に立てるためには時空間的な需要の偏りを知ることが最も重要である。

一般的に利用されている需要推計手法としては、1-2-2 で述べたように PT データと選好意識調査によって収集されたサンプルデータから作成された選択モデルを用いたモデルベースのアプローチが一般的である。従来手法は、選好意識調査に向けたアンケート設計、実施、集計、及びモデル作成とある程度長い期間を要することが一般的である。しかし、本研究で対象としているステーションタイプ OWCS のような新たなモビリティサービスでは導入までの迅速さが重要であり、選択モデルを作るための十分な余裕がないこと、更に新たな交通手段を対象とした選好意識調査モデルが行動結果と比較して過大推計されることが報告されている等より実用的な新たな手法の開発が必要である。また、PT データで用いられているゾーンと短距離移動を繰り返す OWCS で潜在需要が存在していると想定しているゾーン規模が揃っていないことが想定される。そこで、本章では、ステークホルダとの合意形成が容易な PT データをベース情報として、PT で設定されたゾーンよりも小さなゾーン間の相対的な移動量を把握できるスマートフォン位置情報を用いることにより、ステーションタイプ OWCS の時空間的な需要の偏りを即座に算出するデータオリエンティッドな手法を提案する。

4-2 において、時空間的偏在需要推定手法について提案し、4-3 において東京で実施されている TCPH (Times Car Plus ×Ha:mo) での観測データを用いて検証する。4-4 においては、結論と今後に向けた課題を述べる。

4-2 時空間的需要偏在推定手法

図 4-1 に OWCS 事業者がサービス計画段階で需要推定に求める内容と従来手法での充足度合を整理した結果を示す。

	OWCS事業者が求める内容	従来手法での充足度合
手法への期待	2次データで算出可能 ✓ 観測データがない地域でも推定可能	○
	合意形成の容易さ ✓ ステークホルダ間の実績	○
	短期間で算出可能 ✓ 数日~週レベル	×
獲得したい情報	時間的な偏り ✓ 時間帯レベルの偏在	○
	空間的な偏り ✓ 小さなゾーン間での偏在	△

図 4-1 OWCS 事業者がサービス計画段階に求めること

新たなエリアで OWCS の導入を検討する際に、実用的な手法とするためには 2 次データで算出可能、合意形成が容易、及び短期間で算出可能であることが挙げられる。ステーションタイプ OWCS 未導入地域においては、観測データがないため、2 次データを用いた推計手法を検討する必要がある。従来手法で利用されている PT データは、ゾーン間手段・目的別移動量を把握できることや、行政機関などと導入検討を一緒に進めていくためには合意形成しやすいことが特徴である。しかし、従来手法はある程度長い期間を要することが一般的であることが、OWCS で活用することが大きな課題の 1 つである。

獲得したい情報としては、時間的空間的な需要の偏在がある。時空間的な需要の偏在として、具体的にはステーション OD 別かつ時間帯別に潜在需要の偏在が表現されていることが望ましい。なぜなら、ステーションタイプ OWCS はワンウェイで乗り捨てが可能であるため、特定の OD または特定の時間帯で双方向ではなく、片方向にのみ車両が偏在することが想定されている。例えば通勤での利用であれば、電車などの公共交通駅から会社・工場などへの移動の場合、朝は公共交通駅から会社への移動が偏り、夕方は会社から公共交通駅への移動が偏ることが想定されるためである。導入可能性を検討する際に OD 別かつ時間帯別にどれぐらいの偏りが生じるかを知り、本提案手法の後段であるサービスシミュレーション

ョンにおいて、できるだけ偏りを是正するためステーションの配置，駐車枠数の設定，事業者スタッフによる車両の偏りをなくす配回送手法を検討することが可能になる．従来手法で用いられる PT データにはゾーン間的手段、目的別移動量を把握可能であり時間帯別の発生時間分布の把握も容易である．

しかし、空間的な偏りを推定する場合、PT データで用いられているゾーンと OWCS で潜在需要が存在していると想定しているゾーン規模が揃っていない場合があることが想定される．例えばある都市での PT データで用いられる PT ゾーンと車両を配備するステーション案が図 4-2 のような関係にあるとする．もし何らかの 2 次データを用いてステーション圏域に合わせて分割されない場合、例えばステーション別の OD 別トリップ割合は、A→C、A→D、B→C、及び B→D の 4 つの値の合計値のみがわかり、もし単純に 4 等分する場合は全く同じ値を示すことになり、偏在がわからないため A,B ステーションでの駐車場枠比率に違いを出すことができない．もしステーション圏域に合わせて分割された場合は、ステーション OD 別にそれぞれ異なる値を示すためステーション別の駐車場枠比率等の算出に寄与する推定結果となることがわかる．

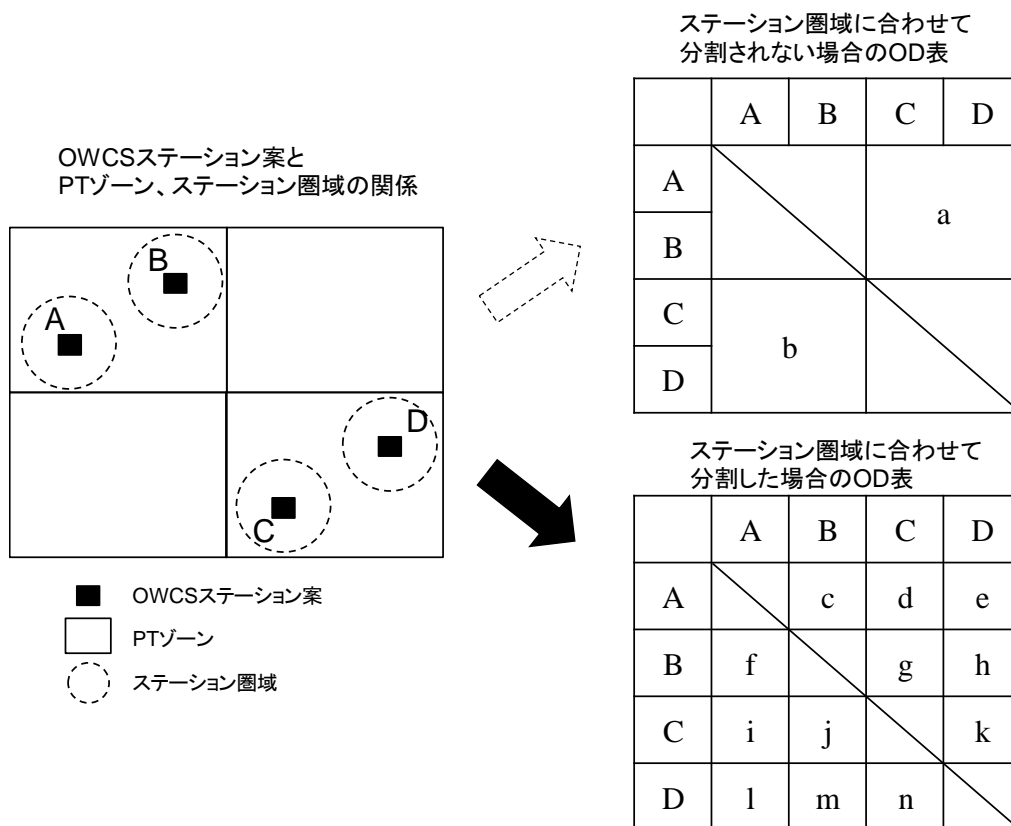


図 4-2 OWCS ステーション圏域と PT ゾーンの違いと OD 表例

そこで、従来手法よりも短期間で算出可能かつ空間的な偏りをより小さなゾーンを用いて推定できる手法が望まれる。従来手法でも用いていた PT 情報をベース情報とし、ステーション圏域に合わせてゾーンを分割するためにスマートフォン位置情報を用いることを提案する。

スマートフォン位置情報のメリットは、一般ユーザが利用している携帯電話の位置情報を活用することにより常に新しいデータを利用できるためデータ鮮度が高いことと、基地局データや GPS データを活用するため位置の粒度が細かくサービスが全国提供されていることである。

カーシェアリングに関する既往研究を概観すると、導入可能性のシミュレーションを実施するためにゾーンの中心、電停などにステーション候補を置き検討する¹⁾などステーション配置最適化などの研究が多くを占め、時空間的な潜在需要の偏在を短期間で推定し、実データと比較して妥当性を検証した研究事例は見られない。

またモバイル/スマートフォン位置情報を交通計画に利用した既往研究を概観すると、基地局位置情報関連では携帯電話基地局の運用データに基づく人口流動統計から交通手段を推計したり²⁾、携帯基地局データによる移動量を用いて長期間 PT 調査ができていない地域での PT 調査結果の補正をしたりなどの研究がなされている³⁾。スマートフォン位置情報では観光動態や商圈分析等の領域では既に商用サービス⁴⁾も存在し、近年交通計画に関係した研究が盛んになってきている。

4-2-1 推定手法概要

OD 別/時間帯別潜在需要を推定する算出フローを図 4-3 で示す。図 4-3 では、スマートフォン位置情報はメッシュ単位で整理されているものとする。

まず OWCS を導入するエリアを決め、PT ゾーンデータ等から図 4-2 左のようにステーションの配置案と圏域仮説を作成する。ステーション圏域は、対象ステーションへの徒歩でのアクセスが可能な距離などを想定して設定することとする。図 4-2 左ではステーション圏域を円状で設定しているが、メッシュ等で表現しても構わない。

次に移動量データを活用した空間需要推定を実施するが、ステーション圏域と PT データでのゾーンの大きさが異なり過大推計してしまう課題に対してはゾーン間移動量をステーション圏域の大きさに合わせて按分することとする。ステーション圏域は対象ステーションへの徒歩でのアクセスが可能な距離などを想定して設定するため、250m~500m 程度レベルの細かさが表現できることがのぞましい。そこで細かな分割レベルでのゾーンで移動量を表現すべく図 4-4 に示すようにスマートフォン位置情報を用いる。まず各メッシュ別に

その時利用する PT 集計ゾーンと圏域との重なりを整理し、各メッシュにスマートフォン位置情報から推計した移動量 UD (UserData) 数を付与する。その後、ステーション圏域間 OD は、PT データによる OD を、発地側、着地側双方の UD 数の比を乗ずることによって按分して求める (推計イメージを図 4-5 に示す)。

ここまでで算出した想定需要はステーション圏域に合わせた移動量を按分したものであるため、潜在需要の規模を検討した想定利用率を勘案して潜在需要量を算出する。想定する利用者像を踏まえて、OD 別の全手段データを対象としたり、目的別、手段別を選択したりすることも可能である。また、想定利用率も OD 別に同じ値、異なる値を利用することも可能である。ここで算出した量は 1 日の統計量であるため、OWCS に必要な時間帯別に按分するために図 4-6 のように PT ゾーン間移動量の情報として発地側のゾーン別の発生時間帯分布を利用する。

以上のようにして時空間的な潜在需要の偏在を推定する。

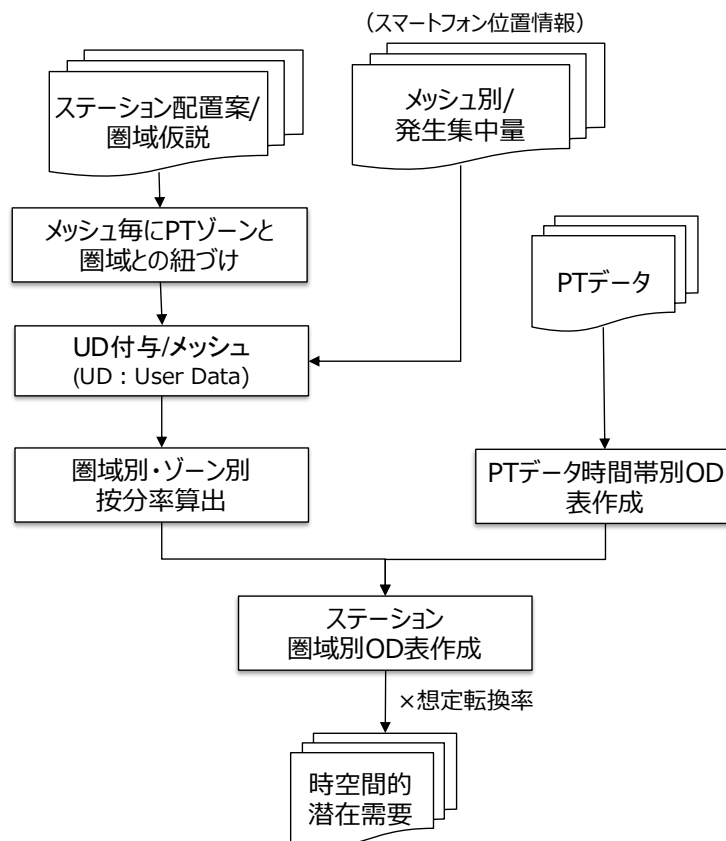


図 4-3 時空間潜在需要推定算出フロー

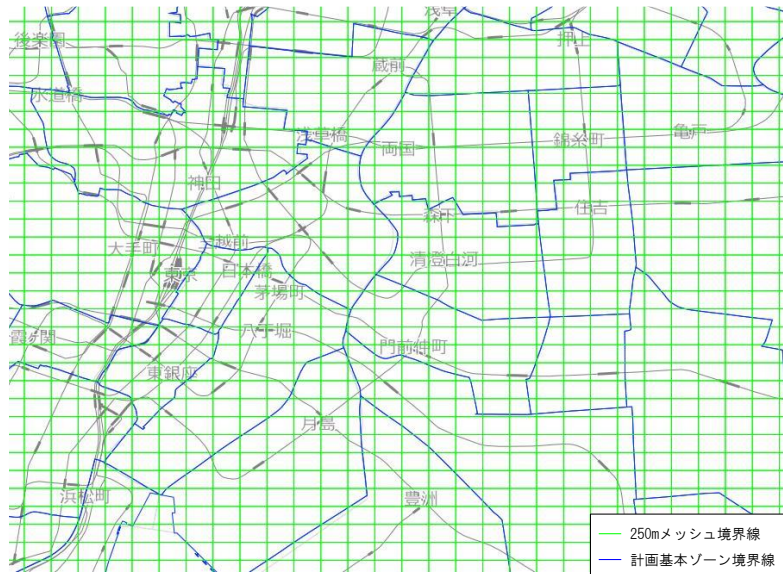


図 4-4 PT ゾーンとスマートフォン位置情報抽出ゾーンのの違い

$$OD(sta1 \rightarrow sta2, t) = OD(kzone1 \rightarrow kzone2, t) \times \frac{UD(sta1)}{UD(kzone1)} \times \frac{UD(sta2)}{UD(kzone2)}$$

PTデータによるOD
スマートフォン位置データによる按分率

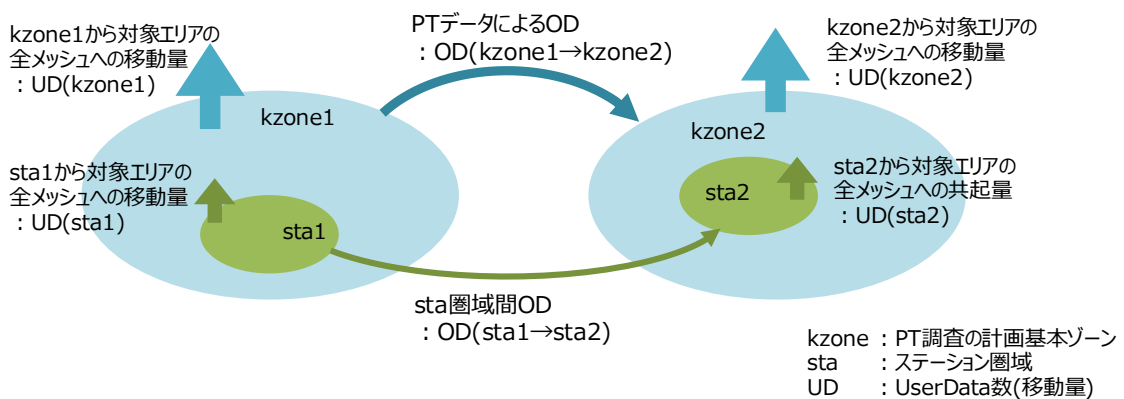


図 4-5 按分率の算出方法

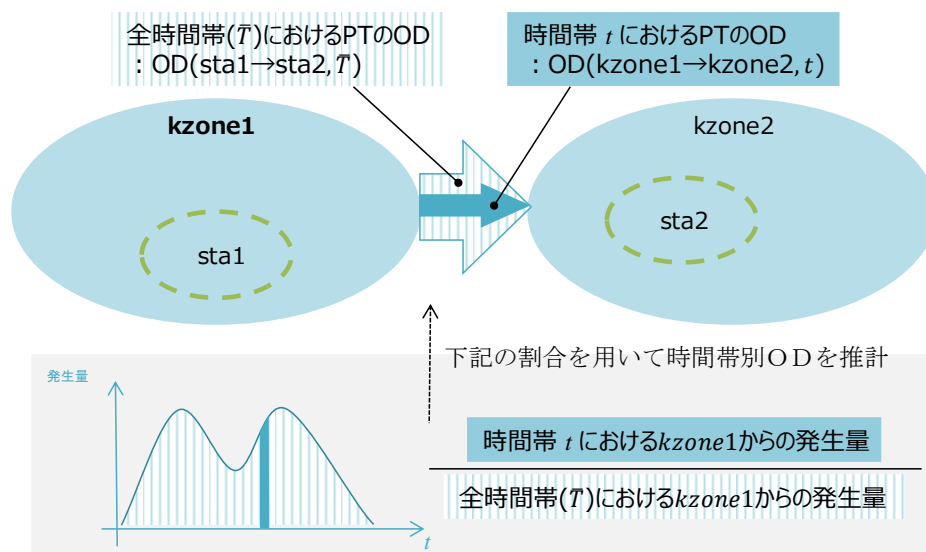


図 4-6 時間帯別 OD の推計方法

4-2-2 スマートフォン位置情報を用いた移動量推計手法

スマートフォン位置情報は GPS/WiFi/通信基地局等を基にスマートフォンにて測位された位置情報である。測位の時間間隔は機種やユーザの使用状況、移動頻度等によって変動するが、概ね数分～数十分間隔で生成される。この時空間的に疎密なデータには発地、着地、移動中等の識別はないため移動滞在判定後にトリップデータを抽出し全トリップデータから移動量を推計する。

移動滞在判定では、時空間的に疎密な位置情報データから移動と滞在状態を識別する。まず参考文献⁹⁾の方式を基に、滞留場所と滞留時間を算出し判定する。具体的には、ある時刻のレコードの位置に対してその前レコードの滞留場所からの距離を算出し、前レコードからの経過時間が閾値以下の場合、同レコードは前レコードと同一の場所に滞留していると判定する。図 4-7 に判定イメージを示す。同図の点 3 は前レコードの点 2 から一定の距離範囲内に収まる為、点 2 と同一の滞留とみなし、点 2 の緯度経度を点 3 の滞留場所とする。一方、点 7 は点 6 の滞留場所（ここでは点 2 緯度経度）から一定距離範囲外となるため、点 2 から 6 の滞留場所とは異なると判定される。また点 2 から点 6 までの経過時間を同場所での滞留時間とする。この滞留時間が閾値（滞在判定閾値）以上の区間を滞在とみなし、同区間に含まれるデータに滞在場所、滞在時間情報を付与する。図 4-7 では黒丸で表示されたデータが滞在区間、白丸で表示されたデータが移動区間を示している。本研究では滞在判定閾値として 15 分を設定した。これは例えば駅での電車の乗換等の移動中継点での滞留を除外するためであるが、目的に応じて適切な閾値に設定するのが望ましい。上記ルールに従って

図 4-7 では点 2~6 と、点 11~14 がそれぞれ個別の滞在として判定される。

移動滞在の識別と滞在時間が付与された位置情報データについて、任意の滞在場所 X から次の別の滞在場所 Y までの区間のデータを、発地 X，着地 Y のトリップデータとして抽出する。

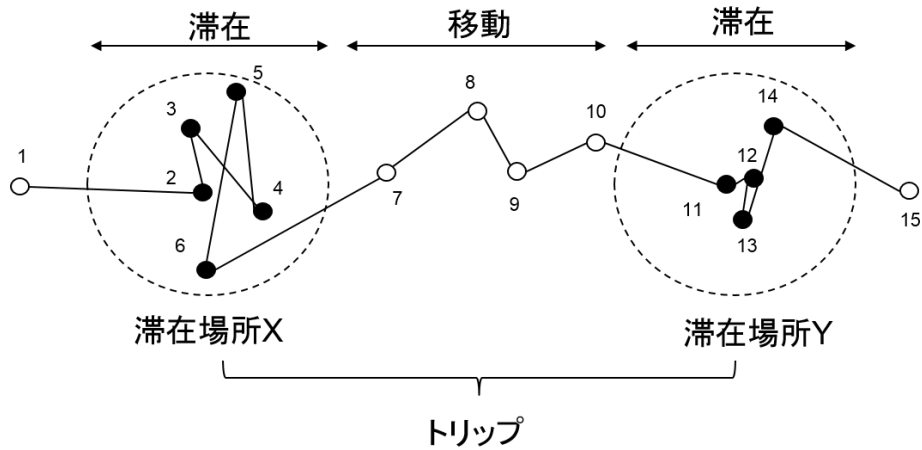


図 4-7 移動滞在判定処理イメージ

抽出された全トリップデータに対して、250m メッシュ毎の移動量を算出する。スナップショットとしての PT 調査と比較して、スマートフォン位置情報は 24 時間 365 日生成されることが利点である。このため数週間~数ヶ月等の一定期間の全トリップデータから、発着地の出現回数を集計することで、実際の発生確率に近い移動量となる。本研究では推計対象の移動量 UD 数を以下の式で定義している。

$$UD(A) = \sum_{a \in A} \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} T(u, a, d)$$

ここで、 U はサンプルユーザ群、 A は移動量を算出するエリア、 D は集計対象の期間、 $UD(A)$ はエリア A の移動量を示す。また、 $T(u, a, d)$ はユーザ u の日付 d におけるトリップデータのうち、メッシュ a の発着地出現有無を示す関数で、1 回以上出現された場合は 1、それ以外の場合は 0 としている。上記手順よって対象エリア内の全メッシュ、又は全ステーション圏域毎の移動量を算出する。

4-3 東京での需要推計を通じた妥当性検証

提案した時空間的潜在需要の偏在推計手法を用いて TCPH サービス提供前に推定した結果と、観測データとを比較することで提案手法の妥当性を検証する。今回の対象は図 4-8 に示す東京におけるステーション圏域を題材とする。PT トリップ集計ゾーンとして計画基本ゾーンを用いて、OWCS 利用は普段の移動と同様であると仮定し、全目的かつ全手段の移動量を母集団とする。また想定利用率は、全 OD で一律の値を用いて実施した。許諾のとれた au スマートフォンの生成する端末位置ログを対象とし、2016 年 6 月 1 日～14 日の 2 週間のスマートフォン位置情報を用いて移動量を推計する。本データは 3 章で用いたスマートフォン位置情報と同じものを活用している。

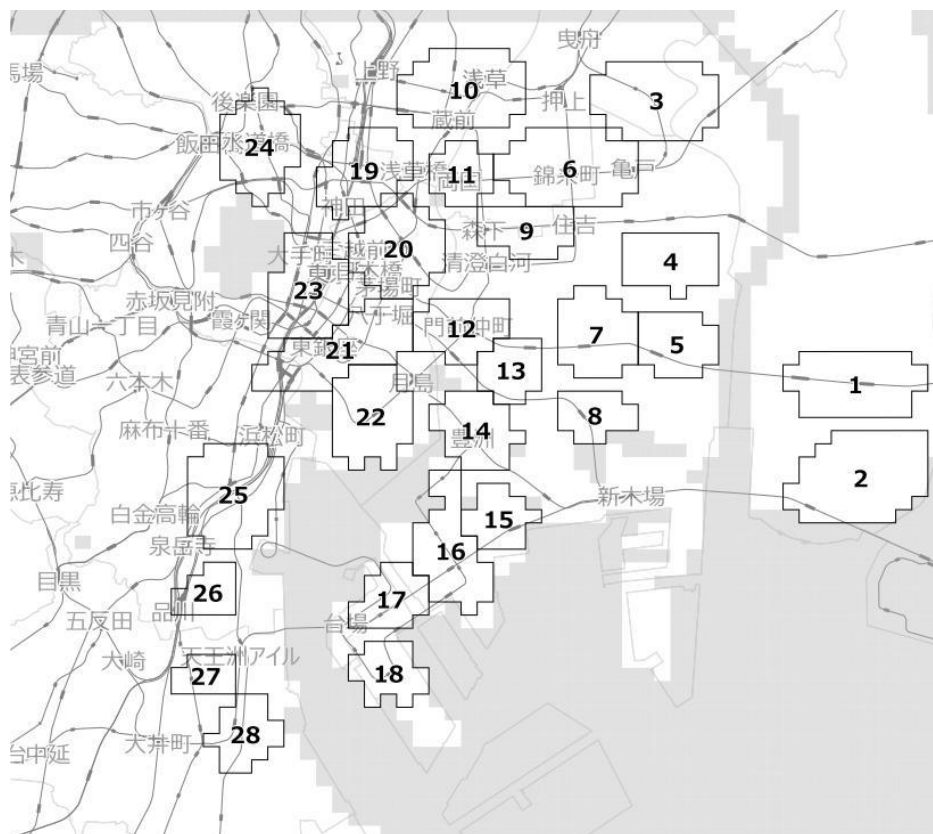


図 4-8 東京でのステーション配置/圏域案

TCPH は 2015 年 10 月から東京都中央区、江東区などを中心に実証実験がスタートしたサービスである。需要推計結果と比較するために 2015 年 10 月～2016 年 10 月の 1 年間の実績値を用いるが、推計時に導入を検討したが実際は対象期間には整備されなかった 26,27,28 のステーション配置を除いて比較を実施した。

図 4-9 上に示すように、対象エリア全体での需要推定結果と実績とを時間帯別トリップ比率（24 時間の合計値を 100 とした時の時間帯別比率）で比較すると、需要推計側が少し高い数値を示しているがほぼ一致していることを確認した。図 4-9 下に示すように横軸を時間帯別、縦軸を時間帯別トリップ比率として視える化を実施すると、朝/夕方方のピーク時間帯は一致しているが、夜中/朝は実トリップ側のトリップ比率が高く、夕方は推定需要側のトリップ比率が高いことがわかった。実トリップ側の夕方以降のトリップ比率を見ると推定結果が示している普段の移動よりも OWCS が夜中遅くまで利用されていることがわかる。

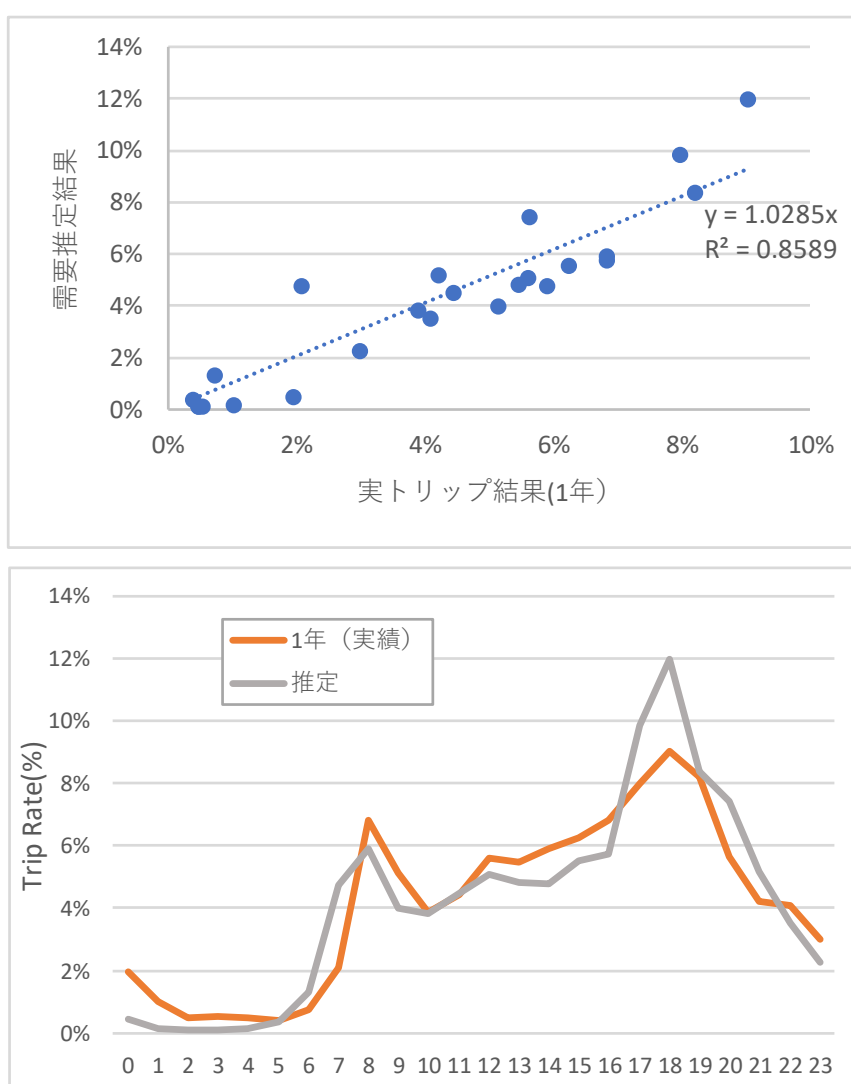


図 4-9 需要推計結果と観測データ（1 年間）の比較

サービス開始後の半年、1 年、2 年の結果を用いて同様の比較を行った結果を図 4-10 に示す。3 期間において推定結果と実績を確認したが、ほぼ同様の精度の結果がみられること

がわかった。今回 OWCS 利用は普段の移動と同様であると仮定し、全目的かつ全手段の移動量を母集団として算出し傾向が一致していることより OWCS が普段の移動の一部として利用されていることが確認できた。

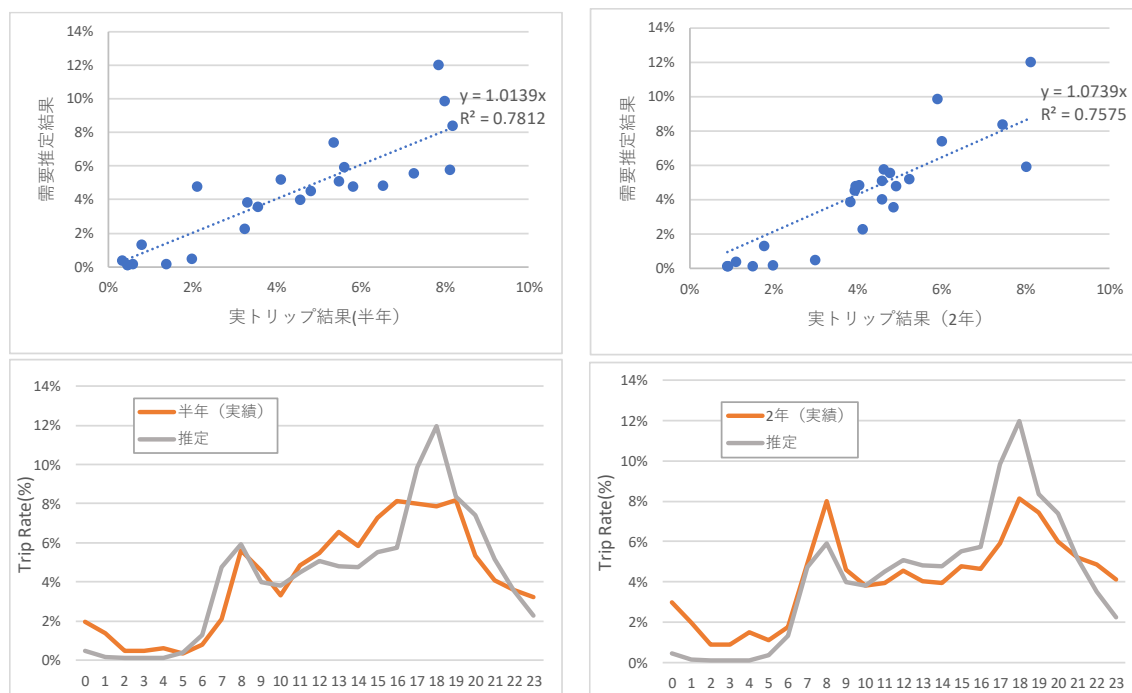


図 4-10 需要推計結果と観測データの比較 (左：半年、右:2年間)

更に空間的な視点でも確認するためサービス開始から 2 年を経過するまで継続して存在した 12 エリアを対象にエリア毎の比較を実施した (エリア No. : 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24)。

傾向として期間そろえて近似直線の傾きが 1 に近くじかつ R² が高く精度がよい 6 エリアと精度がよくない 6 エリアに分類されることがわかった。

比較的精度のよいエリアの例として、エリア No.21 は図 4-11 に示すように、対象とした 3 期間ともそろって近似直線の傾きが 1 に近くかつ R² が比較的高いことから精度よく推定されていることがわかる。精度がよくないエリアの例として、エリア No.14 は図 4-12 に示すように、半年では結果がかなりばらついており近似直線の傾きと R² が低いが、1 年 2 年と経過することで精度がよくなっていることがわかる。

精度がよくないエリアでの傾向の 1 つとして、8 時台に見られるような推定結果と実績に大きな差があることが多くのエリアでみられることがわかった。考えられる理由として、本推定手法は PT 結果と統計したスマートフォン位置情報を用いた全体傾向の結果を用いてい

るが、継続した個人利用の傾向によって大きく依存した結果になっていることが考えられる。

精度が高い6エリアと低い6エリアとの対象期間2年間の総トリップ数比率は、対象全エリアに対してそれぞれ48.5%、22.7%と大きな違いがあることがわかった。

この結果より、精度の高いエリア、低いエリアが存在する理由として、ステーションの設置時期と総トリップ数の大きさが1つの要因であると考えられることがわかった。

需要推計結果と実績値とが時間帯別トリップ比率で見ると傾向レベルでは比較的一致していること、エリア毎に傾向が異なることを確認し、本潜在需要推計の妥当性が検証でき、サービス導入前に導入を検討するために利用する需要推定手法として活用できる可能性を示した。

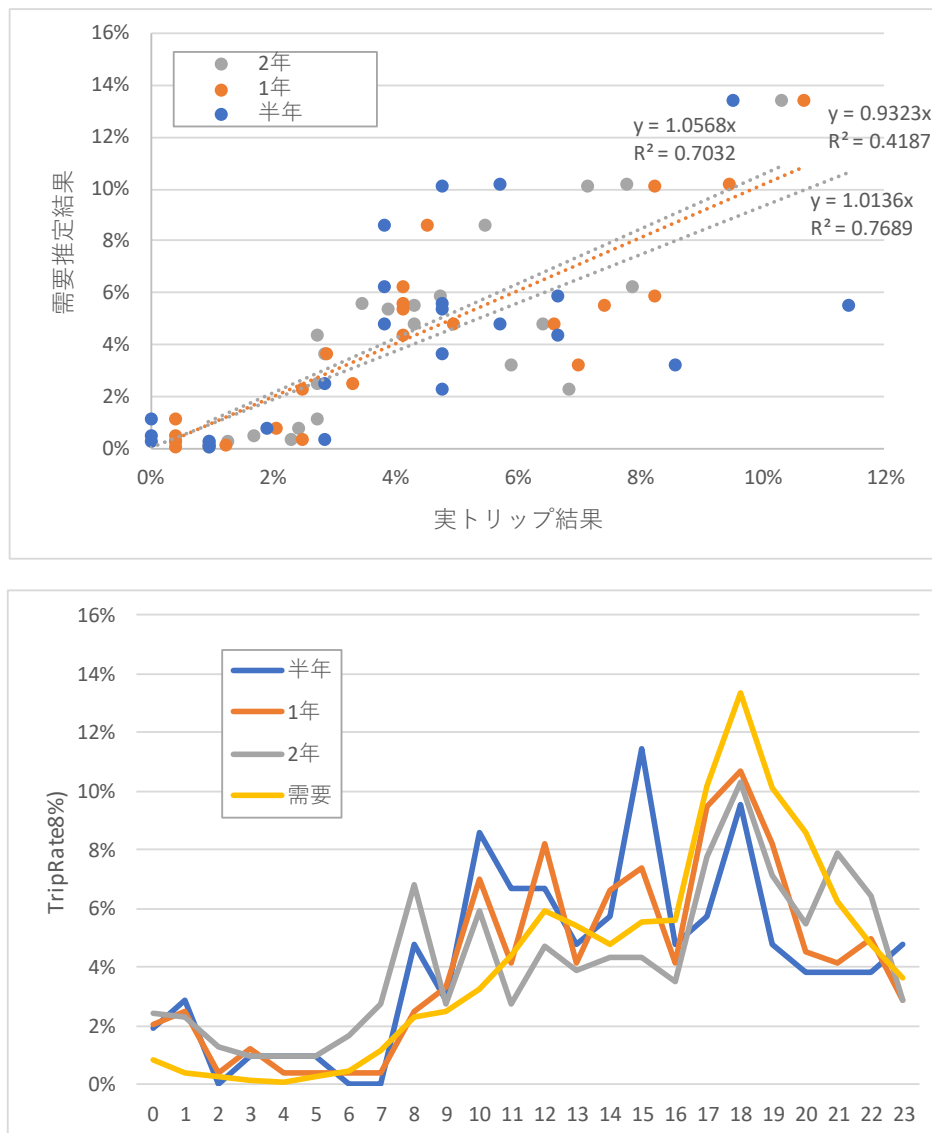


図 4-11 エリア No.21 での比較結果

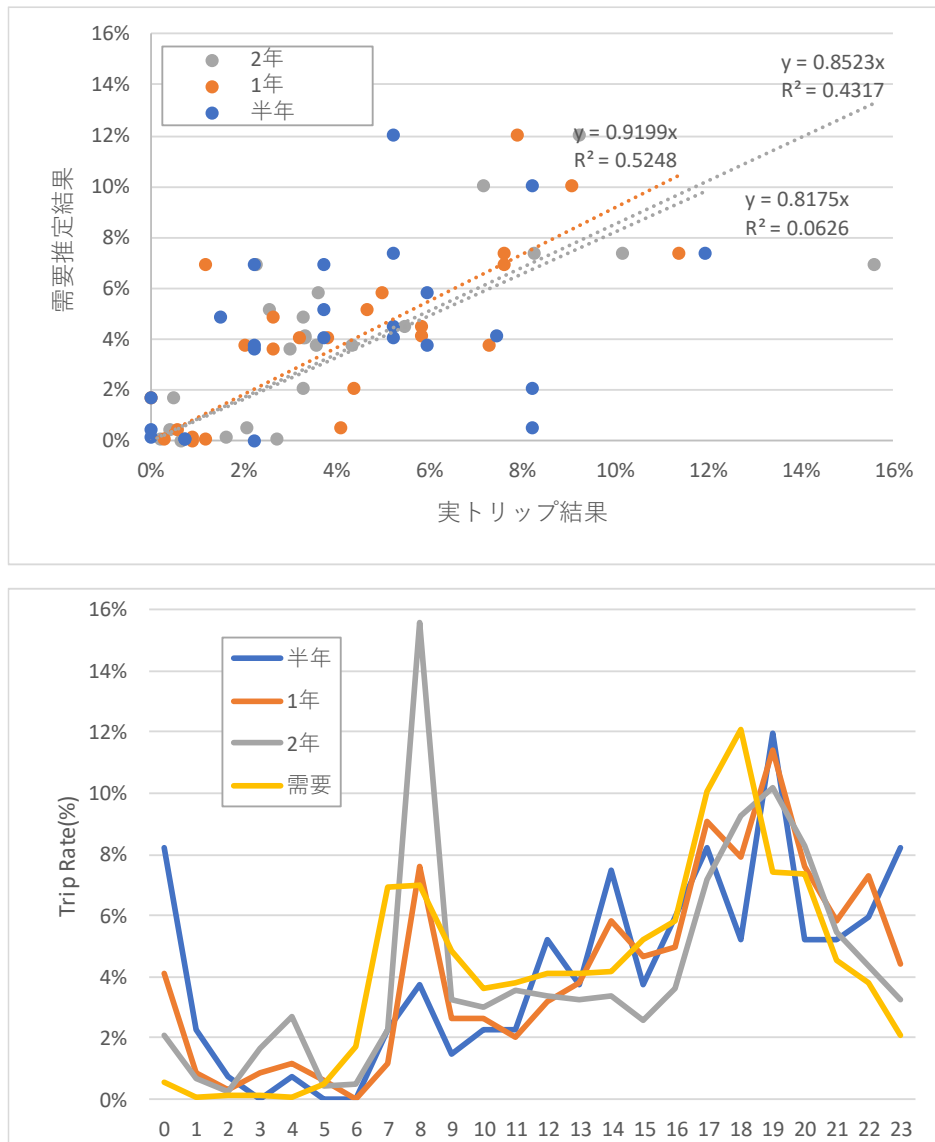


図 4-12 エリア N0.14 での比較結果

4-4 結論と今後の課題

本研究では、2次データを利用したOWCSの時空間的需要偏在推定手法の開発と検証を行った。実用的な手法とするためには、2次データで算出可能、合意形成が容易、及び短期間で算出可能であること、時間的空間的な需要の偏在を獲得できることが必要である。PTデータと選択意識調査によって収集されたサンプルデータから作成された選択モデルを用いたモデルベースのアプローチが一般的であるが、算出までの期間が長い、新たな交通手段を対象とした場合モデルが過大推計されることが報告されていること、及びPTデータで用

いられているゾーンと OWCS で潜在需要が存在していると想定しているゾーン規模が揃っていないことが想定されるため、2次データを用いて即座に実行できるデータオリエンティッドな手法を新たに開発した。PT データとスマートフォン位置情報を用いて OWCS のサービス特性に合った潜在需要推計方法を検討した。本潜在需要推計手法は、東京の特定エリアで実施されている TCPH での観測データを用いて時間帯別トリップ比率を比較したところ、比較的一致していること、エリア毎に傾向が異なることを確認し、本潜在需要推計の妥当性を示した。また、今回 OWCS 利用は普段の移動と同様であると仮定し、全目的かつ全手段の移動量を母集団として算出し傾向が一致していることより OWCS が普段の移動の一部として利用されていることが確認できた。

今後の研究の方向性としては、下記の2つが考えられる。

1つ目は、妥当な想定利用率の利用である。想定利用率は今回参考となる値がないため OD 別、時間帯を意識せず一律の値を用いて算出をした。4-3 で述べたように、実トリップ側の夕方以降のトリップ比率を見ると推定結果が示している普段の移動よりも OWCS が夜中遅くまで利用されている等異なる部分が見られるため、OD 又は時間帯で想定される利用方法を考慮して分布させることが考えられる。また、その確度を向上させるためには、他都市での実績と推定結果から想定利用率を算出し活用することで実際の使い方にあつた想定利用率に都度向上していくと考えられる。

2つ目は、今回合意形成の容易さなどを踏まえて PT データ結果をベースにした実用的に活用可能な手法を提案したが、今後データ鮮度が高く、小さなゾーン間での移動を把握できるスマートフォン位置情報をベース情報として用いた導入検討向け需要推計手法の検討が考えられる。

第4章 参考文献

- 1) 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 (土木計画学)， Vol.71， No.5 (土木計画学研究・論文集第 32 巻)， I_805-I_816， 2015.
- 2) 齋藤 貴賢，北川 大喜，今井 龍一，池田 大造，永田 智大，関谷 浩孝，新階 寛恭，橋本 浩良，福手 亜弥，矢部 努，廣川 和希，携帯電話基地局の運用データに基づく人口流動統計を用いた交通手段の推計手法に関する一考察，第 55 回土木計画学研究発表会，CDROM，2017.
- 3) 菊池 雅彦，井上 直，岩館 慶多，茂木 渉，森尾 淳，全国 PT データと携帯電話基地局データを用いた地方都市での OD 表の推計，第 55 回土木計画学研究発表会，CDROM，2017.
- 4) LocationTrend
(<https://www.location-trends.com/facility/>)
- 5) 小林直，石塚宏紀，南川敦宣，村松茂樹，小野智弘：携帯電話通信履歴に適した移動滞在状態推定手法の提案，情報処理学会論文誌データベース(TOD)，10，1，pp13-23，2017

第 5 章 OWCS 観測データ向け公共交通連携利用判別モデルの開発

5-1 はじめに

本章では、OWCS の観測データを用いて基幹公共交通との連携利用の有無を判別するモデルについて提案する。加えて、提案手法を用いてステーションタイプ OWCS の 1 つである豊田市での Ha:moRIDE の観測データを用いた実態分析を行っている。

2-3-4 で述べたように、運用段階における観測データを用いたデータ分析はサービス改善施策を検討する大変重要な機能である。OWCS の観測データ研究は多数見られるが、基幹公共交通との連携視点で OWCS を対象に分析する手法については研究がなされておらず、新規に提案している。

1-1 で述べたように、OWCS は新たな公共交通の 1 手段としての可能性を秘めており、OWCS を活用して不便さを緩和し、公共交通との連携した利用が期待される。具体的には、アクセス、イグレスのような基幹公共交通との組み合わせ利用、公共交通が運行していない時間帯や、公共交通不便地域間をつなぐ公共交通補完の使われ方である。提案するモデルでは、既存公共交通との連携した利用がなされているかを観測データから判別する必要がある。5-2 では、既存公共交通との連携性を判断するため会員個人のトリップチェーンを踏まえた OWCS トリップの位置づけを定義するトリップ種別について提案する。5-3 では、観測データのトリップ種別を分類する判別モデルについて提案する。5-4 においては、愛知県豊田市で提供されているステーションタイプ OWCS である Ha:moRIDE の観測データと提案した判別モデルを用いた利用実態分析を実施する。5-5 においては、東京湾岸部で提供されている Ha:moRIDE の観測データを用いた分析を実施し、異なる提供エリアにおいても適用できることを確認する。5-6 において結論と今後の課題について述べる。

5-2 個人のトリップチェーンを踏まえた OWCS のトリップ種別

個人のトリップチェーンを考慮した OWCS の利用の位置づけから定義した合計 7 種類の OWCS トリップ種別を図 5-1 に示す。トリップ種別はまず大きく、基幹公共交通連携利用と基幹公共交通非連携利用の大きく 2 つに分かれる。基幹公共交通連携利用は、OWCS と基幹公共交通との組み合わせ利用と、基幹公共交通が不便な場所間かつ時間帯に公共交通の 1 部として OWCS のみを用いた補完利用を定義する。基幹公共交通非連携利用は、基幹公共交通が存在しているにも関わらず、基幹公共交通駅間で OWCS を利用する代替利用と、基幹公共交通とは関係なく自宅近くから自家用車のように OWCS を活用する無関係利用とする。以下、組み合わせ利用、補完利用、代替利用、及び無関係利用について個別に説明する。

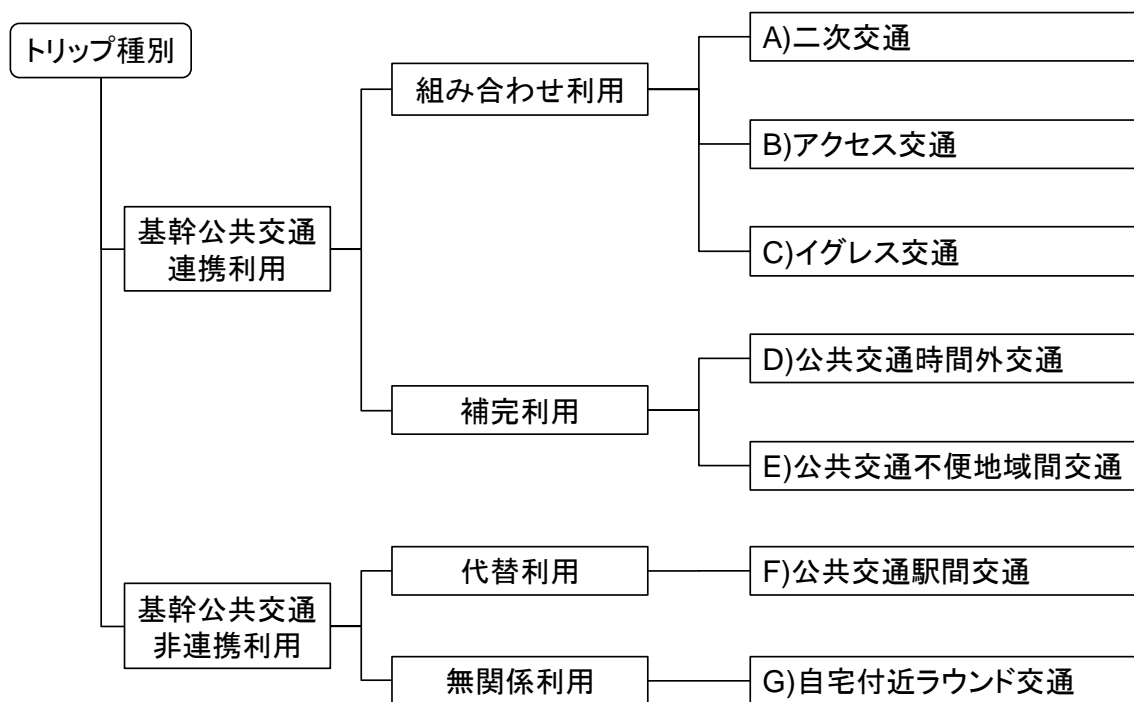


図 5-1 公共交通連携利用判別モデルで扱うトリップ種別

OWCS はサービス提供エリアが限定されているが、会員は提供エリア内にとどまらず提供エリア外会員にも存在する。組み合わせ利用において、提供エリア外会員と提供エリア内会員とではトリップチェーン内でのトリップの位置づけが異なる。図 5-2 に示すように、提供エリア外会員の場合、おそらく何らかの公共交通でエリア内に来訪し、提供エリアで OWCS を利用していると想定できる。もしエリア外会員が自家用車等で提供エリアに来訪した場合に、エリア内での移動を伴うなら提供エリアまで移動してきた自家用車等で移動すると想定できるためである。そのため提供エリア外会員のトリップは、すべて個人のトリップチェーン内では、基幹公共交通が一次交通、OWCS が二次交通としての位置づけと考えられる。そこで、本トリップの位置づけを A)二次交通と定義する。提供エリア内会員における基幹公共交通と組み合わせ利用としては、図 5-3 に示すように基幹公共交通を利用するために基幹公共交通駅から離れた OWCS ステーションから、基幹公共交通駅の付近の OWCS ステーションへの利用が考えられ、B)アクセス交通と定義する（以後、公共交通駅から離れた OWCS のステーションを“駅以外 st”、公共交通駅付近の OWCS のステーションを“駅近く st”と呼ぶ）。同様に、図 5-3 に示すように、基幹公共交通を利用し駅近く st から駅以外 st への利用が考えられ、C)イグレス交通と定義する。OWCS 事業者の持つ実利用を示す観測データだけでは真の目的地はわからないため、駅近く st から基幹公共交通で移動または基幹公共交通から駅近く st から移動したものと仮定する。

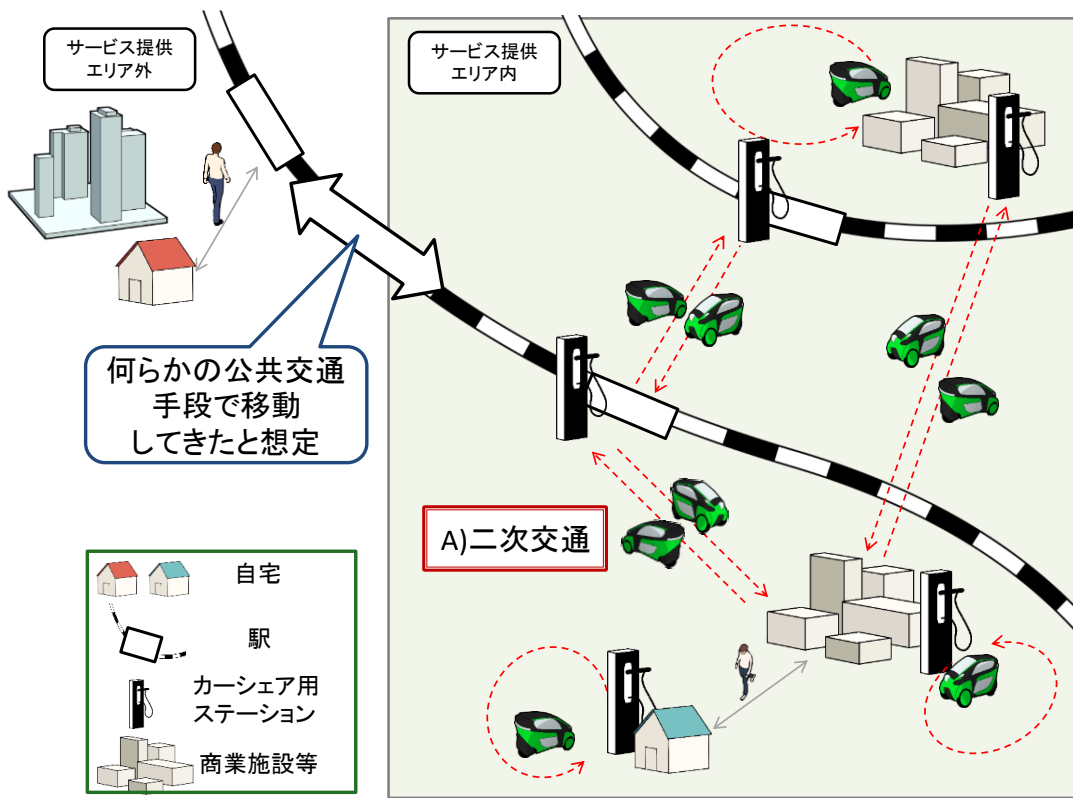


図 5-2 二次交通

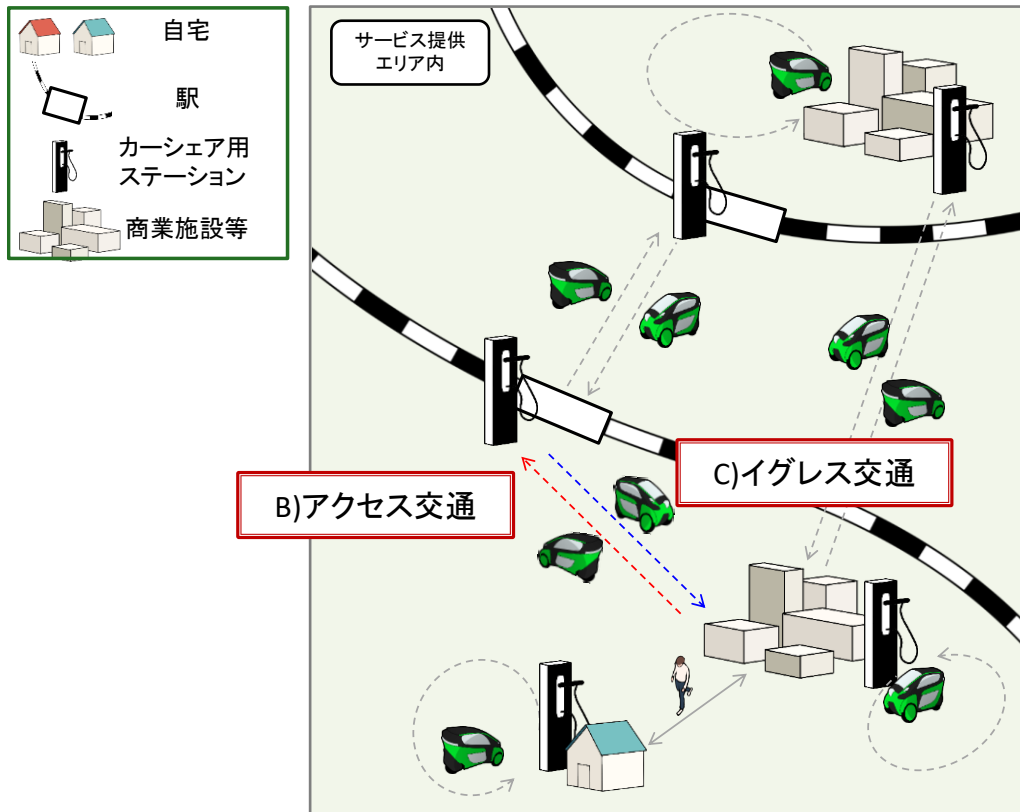


図 5-3 アクセス交通/イグレス交通

補完利用としては、対象エリア会員利用が、基幹公共交通の運行していない時間帯である早朝、深夜における OWCS トリップを D)公共交通時間外交通と定義する。公共交通不便地域間（駅以外 s 間）を図 5-4 に示すようにつなぐ OWCS トリップを E)公共交通不便地域間交通と定義する。

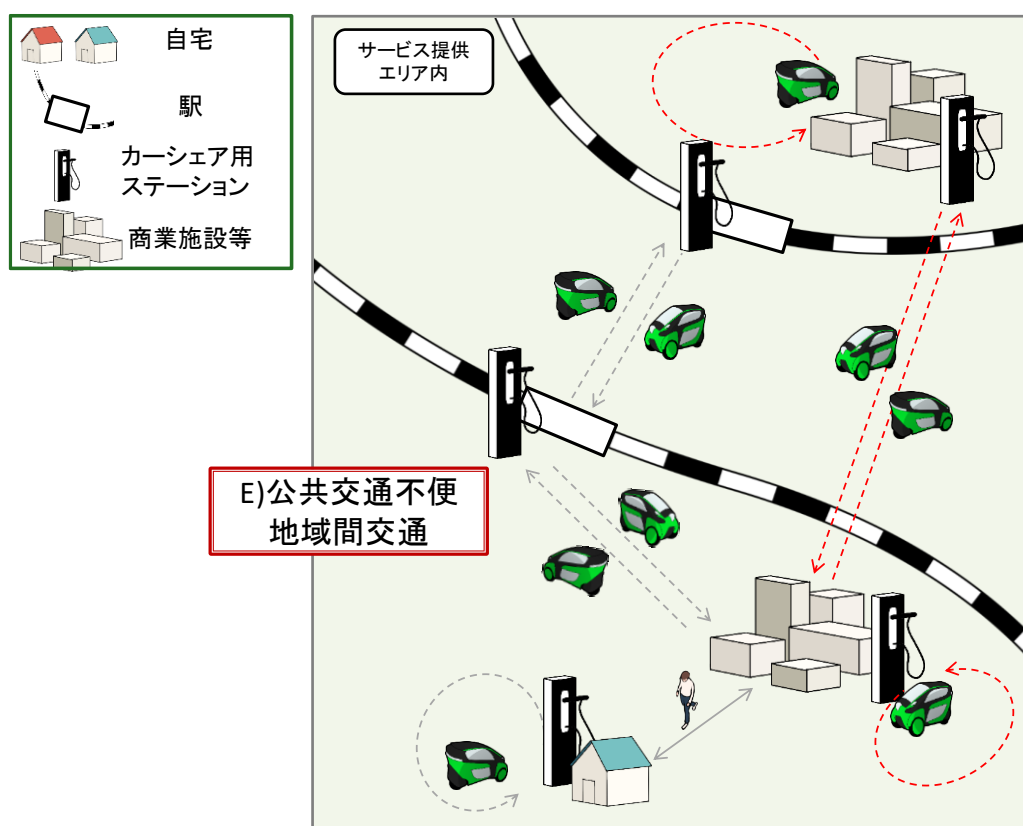


図 5-4 公共交通不便地域間交通

代替利用として、図 5-5 に示すようにエリア内会員が、基幹公共交通があるにも関わらずそれを利用せず OWCS を代替手段として利用した場合を F)公共交通駅間交通として定義する。

最後に、無関係利用として、図 5-6 に示すようにエリア内会員が、OWCS を自宅付近でのラウンドトリップ利用した場合を G)自宅付近ラウンド交通として定義する。ここでは、自宅からワンウェイの複数トリップを同一の日で、ラウンドトリップをしたかのような移動をするが存在することがわかっているため、そのトリップも本定義に含めることとする（以後、みなしラウンドトリップと呼ぶ）。

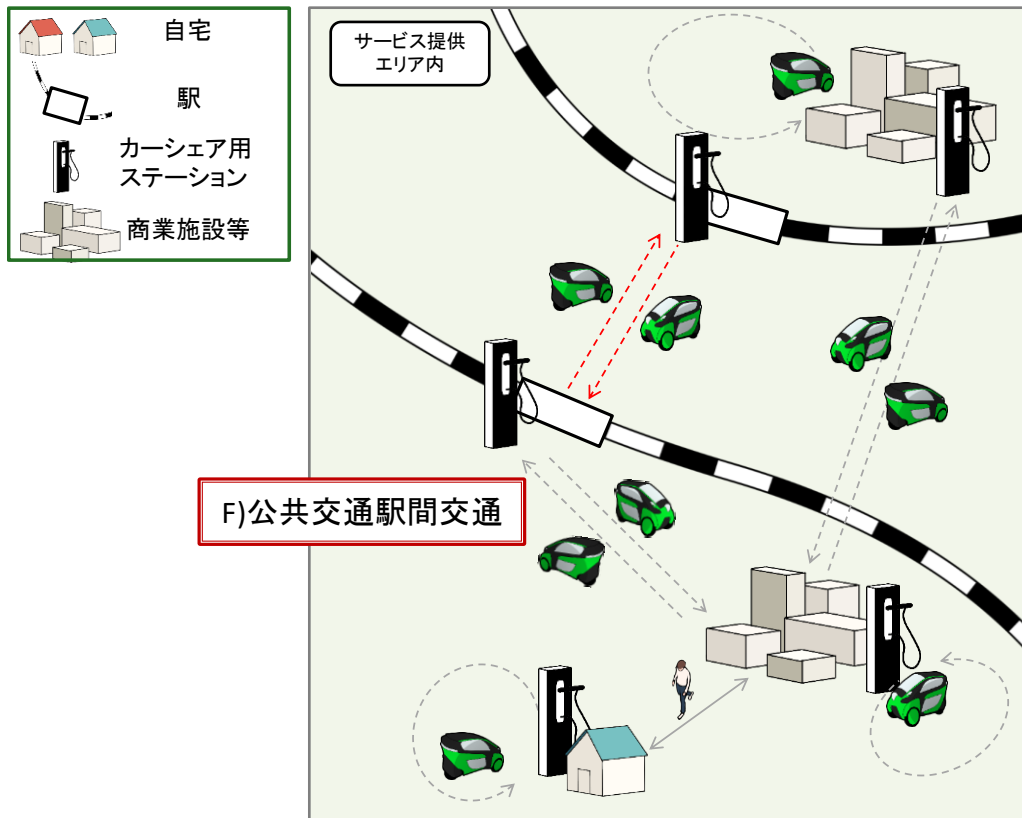


図 5-5 公共交通駅間交通

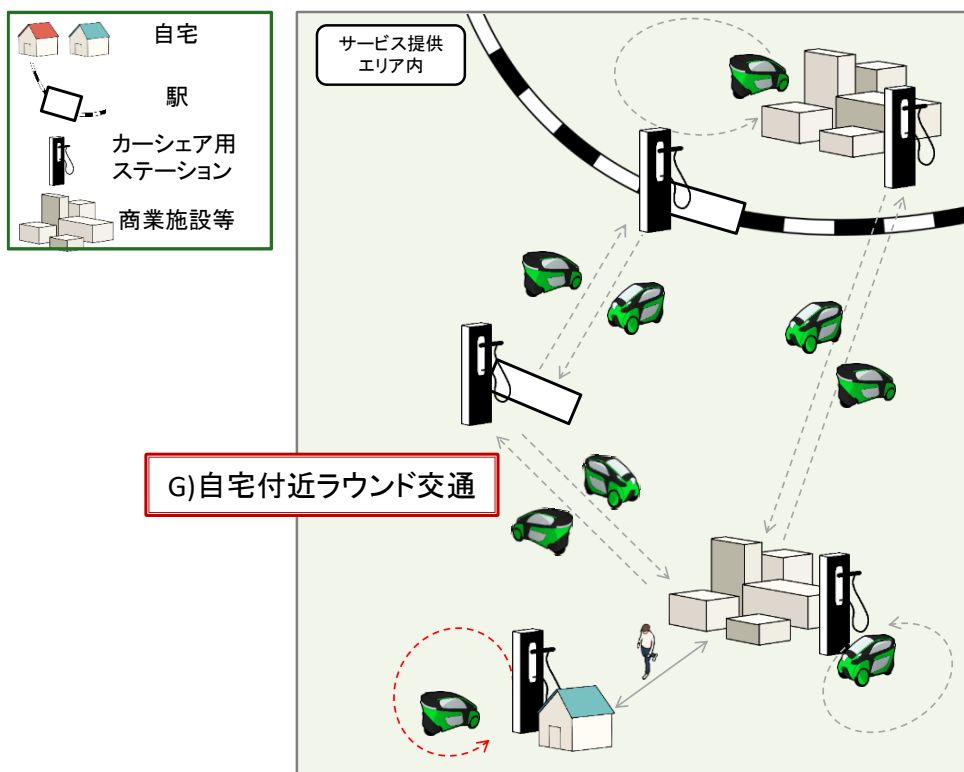


図 5-6 自宅付近ラウンド交通

5-3 OWCS 観測データ向け基幹公共交通連携利用判別モデル

観測された OWCS のトリップを基幹公共交通と OWCS 連携した利用がされているか否かを示したトリップ種別に分類するための判別モデルを構築する。

OWCS が公共交通と連携又は公共交通を補完する位置づけで利用されたかを観測データから確認するためには、個人のトリップチェーンを踏まえた上で判断していく必要がある。個人のトリップチェーンを考慮してトリップ種別を判断するために重要な情報として、会員の登録住所、公共交通駅の場所、及び OWCS ステーション場所の 3 つがある。

エリア外会員のトリップは全て A)二次交通に分類されるが、エリア内会員のトリップは、公共交通が運行していない時間帯でのトリップを D)公共交通時間外交通に分類後、会員の登録住所、公共交通駅の場所、及び OWCS ステーションの 3 つの関係性を見た上で判別していく必要がある。

B)アクセス交通/C)イグレス交通は既に説明したように、駅以外 st と駅近く st の関係性から定義している。しかし、図 5-7 に示すように、自宅から駅近く st が近傍にある場合、駅以外 st から駅近く st 間で OWCS を利用したとしても、自宅まで歩いて移動すると想定され、アクセス交通としての利用ではないと考えられる。示した関係性にあるトリップについては駅以外 st 間での利用としてみなし、アクセス交通の対象から除外して E)公共交通不便地域間交通とする。駅近く st と関連のあるイグレス交通でも同様の考え方で判断するものとする。

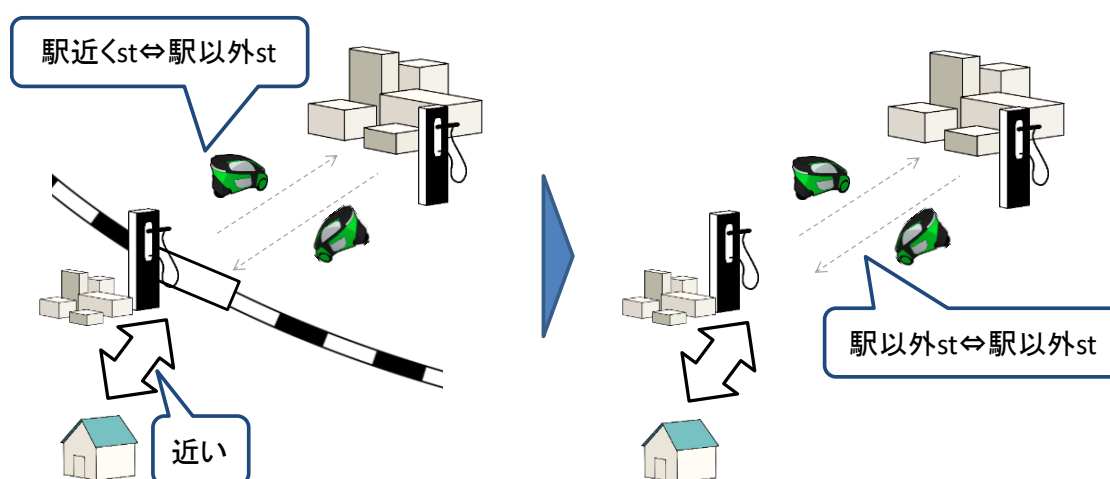


図 5-7 アクセス/イグレス交通から除外するトリップ

また、G)自宅付近ラウンド交通は、すでに述べたようにみなしラウンドトリップも含むことは述べたが、そのみなしラウンドトリップの判別方法を図 5-8 に示す。1 会員あたり複数回利用/日の場合、最初のトリップの O と最後のトリップの D が同じ、最初のトリップの D と最後のトリップ O が同じ場合を対象とする。全く同じ st でなくとも対象 st が近傍で同一エリアにあった場合もエリア OD レベルで一致しているものとして含むこととする。

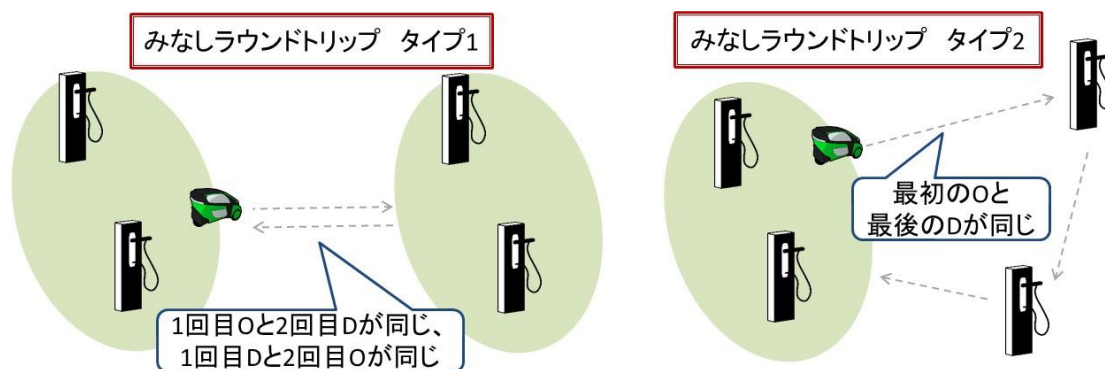


図 5-8 みなしラウンドトリップ定義

以上を踏まえ、OWCS 観測データを分類するための公共交通連携利用判別モデルを図 5-9 に示す。トリップ種別定義は提供するエリアの形態によって、エリア内/外判定、公共交通が運行している時間帯などが異なるため、エリアに合わせたトリップ分類方法の検討が必要である。そこで、下記の 4 つの視点を組み込んだ分類方法としていることが特徴である (図 5-9 上での a)~d)を参照)。

- a) エリア内/エリア外判定
- b) 駅近く st の設定/みなしラウンドトリップ向けエリア設定
- c) 自宅から st までアクセスできる距離
- d) 公共交通が運行している時間帯/していない時間帯

この OWCS 観測データ向け公共交通連携利用判別モデルを用いることで、OWCS の 1 トリップが、公共交通と連携した利用方法になっているのかについて分析できるようになる。

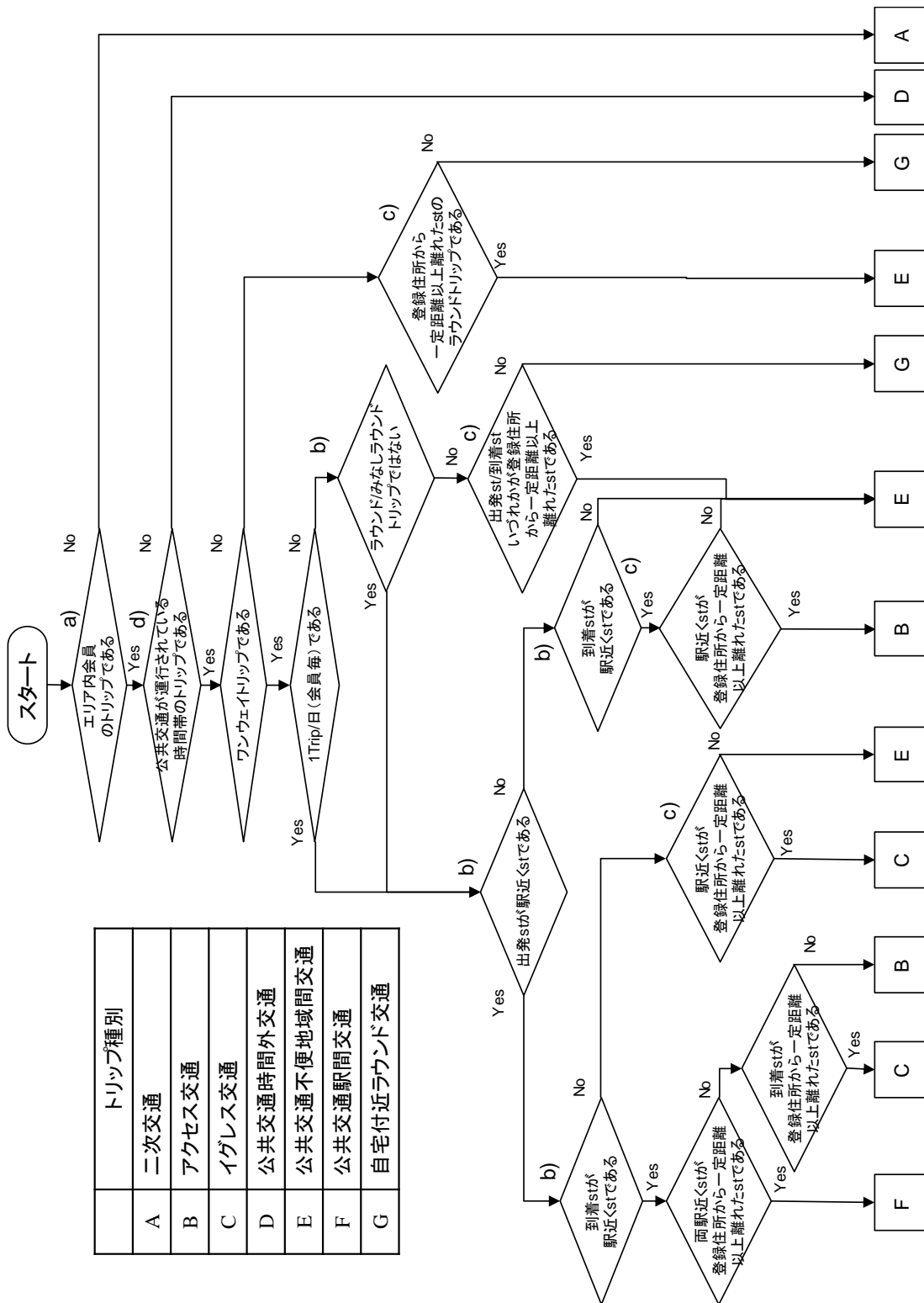


図 5-9 公共交通連携利用判別モデル

5-4 公共交通連携利用判別モデルを用いた利用実態分析（豊田市）

5-4-1 前提/エリア設定

豊田市で運用されている Ha:moRIDE（2014 年 4 月～2017 年 3 月末）の観測データを活用し、基幹公共交通としては今回鉄道のみを対象とすることとする。利用するステーションネットワークを図 5-10 に示す。

本研究では豊田市 Ha:moRIDE の利用者ごとの ID、利用 OD、利用開始/終了日時、会員の登録住所、及び st の緯度経度などを用いて分析を行った。豊田市提供エリアへのアクセスは、隣接している岡崎市等からは、徒歩等でアクセスできる距離ではないため、豊田市をエリア内、それ以外をエリア外と設定することとする。豊田市では名鉄名古屋線、愛知環状鉄道線があり、それらの近接にある st を駅近く st として設定する。更に実トリップを観察し、少し離れているが同様の使い方がされると考えられるエリアを、表 5-2 のようにみなしラウンドトリップとして判別するためのエリア設定した。図 5-11 は住宅付近に設置した st 利用と利用会員の登録住所との関係を示した例である。400、800m あたりでピークがあり自宅から 1km 以内の st 利用が約 90%を占めていることがわかる。このことより、今回の分析では、アクセスできる距離を 1km としトリップを判断することとする。運行していない時間帯は 0 時～5 時台と設定する（名鉄名古屋線、愛知環状鉄道線の主要駅では 2 本以上/時間がある時間帯が 6 時～23 時台であることより）。

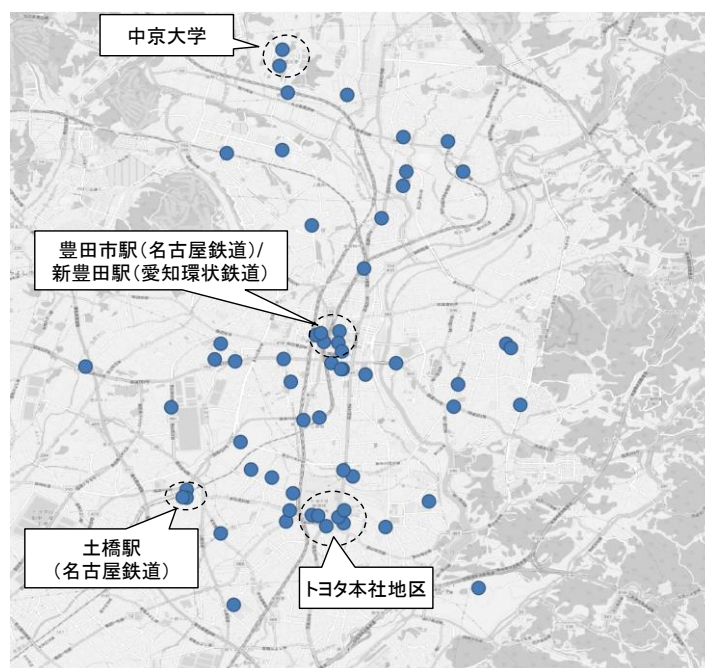


図 5-10 Ha:moRIDE のステーションネットワーク

表 5-2 みなしラウンドトリップ判別向けステーションとエリアの関係

ステーション名	エリア名	ステーション名	エリア名
中京大学北	中京大学	上挙母駅	上挙母駅/ 新上挙母駅
中京大学南		パレスイン豊田 新上挙母	
エコフルタウン i-ROAD専用	市役所	土橋駅	土橋駅
市役所南庁舎		リパーク土橋駅	
エコフルタウン		土橋駅南	
豊田市駅西	豊田市駅/新豊田駅	渋谷町3丁目	渋谷町
新豊田駅地下P		サンクス豊田渋谷店	
TM若宮P		三河豊田駅北	三河豊田駅
喜多町P		御幸本町区会館	
コモ・スクエア	三井住友海上 豊田ビル		
トヨタ本社事務	トヨタ本社地区	サークルK御立店	美里
トヨタ本社南P		美里交流館	
トヨタ本社事務4		サークルK豊田井上店	猿投駅
トヨタ本社TLC		サークルK豊田青木町店	
トヨタ技術本館			
トヨタ本社事務3			

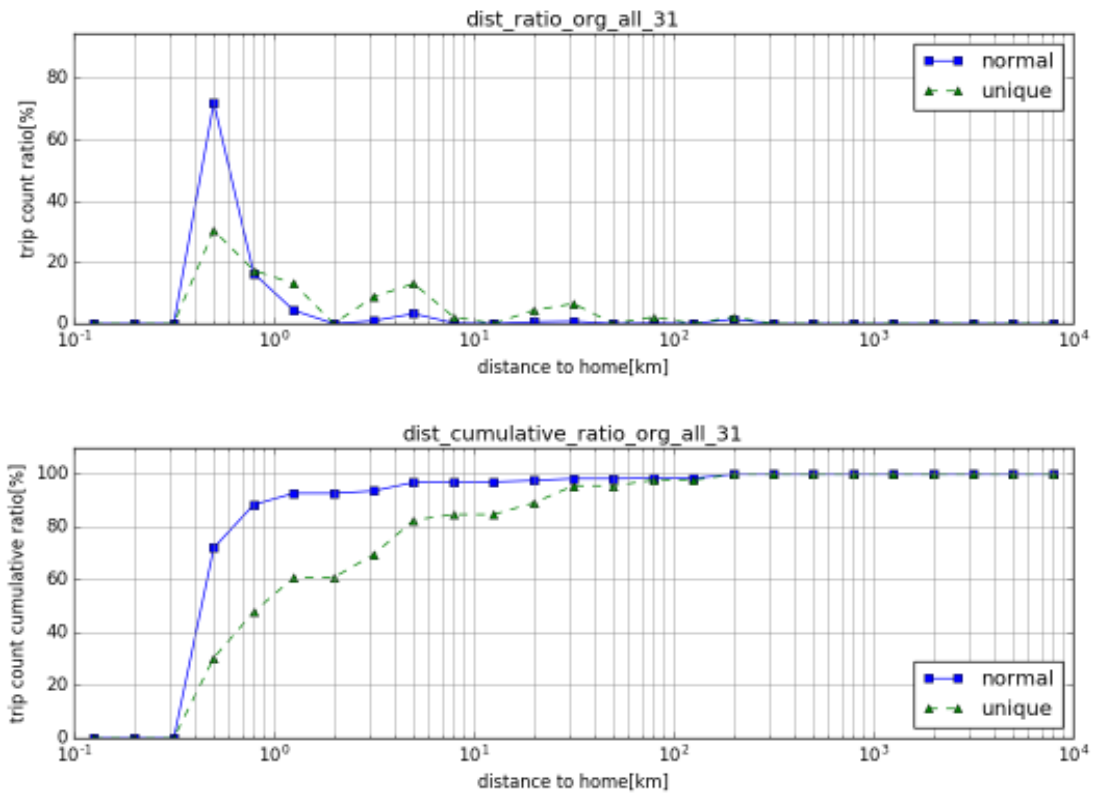


図 5-11 住宅付近に設置した st と利用会員の関係

5-4-2 経年データ分析結果

図 5-12 に示す 2014 年 4 月～2015 年 3 月の判別結果を確認すると、最もトリップ比率が高い分類は A)二次交通で、続いて E)公共交通不便地域間交通、G)自宅付近ラウンド交通であることが分かった。豊田市は企業城下町であり、愛知県内だけにとどまらず、関西/関東圏からの来訪者が多数あり、図 5-13 に示すように市外会員も 4 割を超えている。そのため、豊田市以外から公共交通を用いて提供エリア内に入ってくる会員の二次交通として利用しているものと思われる。また、図 5-14 に示すように基幹公共交通連携利用と非連携利用はそれぞれ 83%,17%であり、OWCS が基幹公共交通と連携した利用が多くを占めていることがわかった。

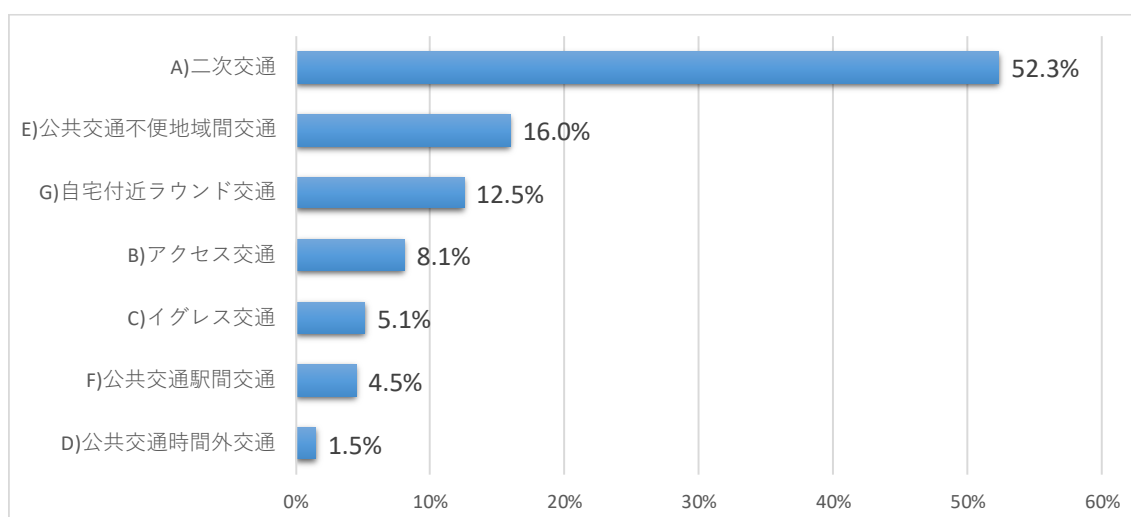


図 5-12 判別結果 (2014 年 4 月～2015 年 3 月)

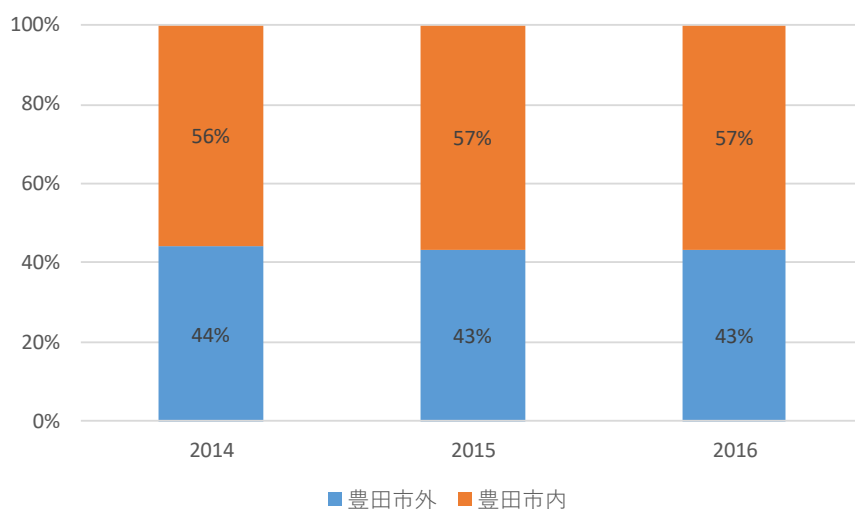


図 5-13 年別利用会員比率

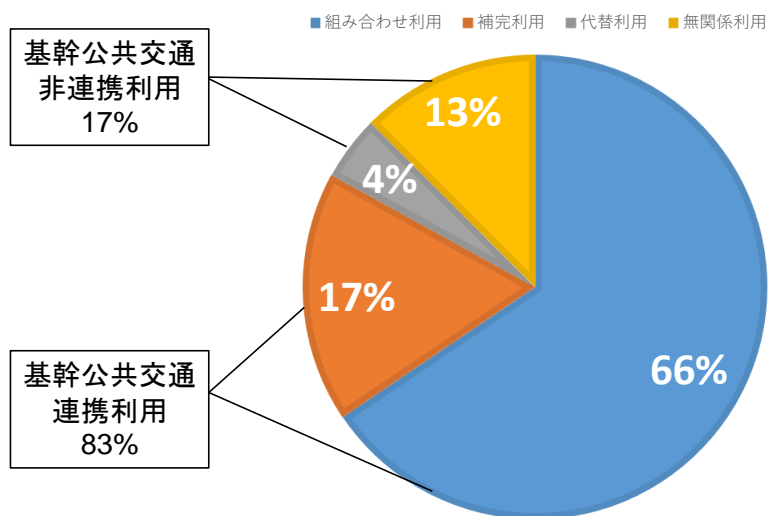


図 5-14 基幹公共交通連携利用と非連携利用（2014 年 4 月～2015 年 3 月）

次に、年度ごとの合計 3 年間でトリップ種別別量がどのように変化するかを分析する。

図 5-15 に示すように 2014 年の全体トリップ量を 100%とするとトリップ量は年々増加し、3 年間で約 3 倍になっている。内訳を見ると、すべての分類でトリップ量が増加している。トリップ量が増える中、比率を上げる分類、下げる分類、ほぼ一定の分類があり、図 5-16 に示すように E)公共交通不便地域間交通はトリップ比率が上昇傾向、A)二次交通はトリップ比率が減少傾向、その他はほぼ一定であることがわかった。

なぜ E)公共交通不便地域間交通が増加したのかの理由の 1 つとして、分析対象の 3 年間で、駅以外 st を増やしたことが考えられる。対象の 3 年間で、車両台数はほぼ一定であるが、表 5-3 のようにステーション数が増えている。2015 年 4 月までには、主要駅には st を確保済みで、2015 年 4 月以降に駅以外 st を増加させている。このことより主要駅に st を整備した上で、駅以外のステーション数を増やすことで E)公共交通不便地域間交通での利用増を導いたことがわかった。

もともとは駅以外 st を増加させた目的は、基幹公共交通との組み合わせ利用としての B)アクセス交通、及び C)イグレス交通による利用増大を期待して新規に住宅街近くのステーションを導入した。しかし、E)公共交通不便地域間交通に多く利用されていることが、提案した公共交通連携利用判別モデルを活用することで分析できた。

OWCS が基幹公共交通と連携した利用がされているのかという視点でみると、OWCS のトリップの 83-86%(2014 年 4 月～17 年 3 月)を占めていることがわかった。以上より OWCS が、既存公共交通と連携又は補完した利用をされていることが分かった。

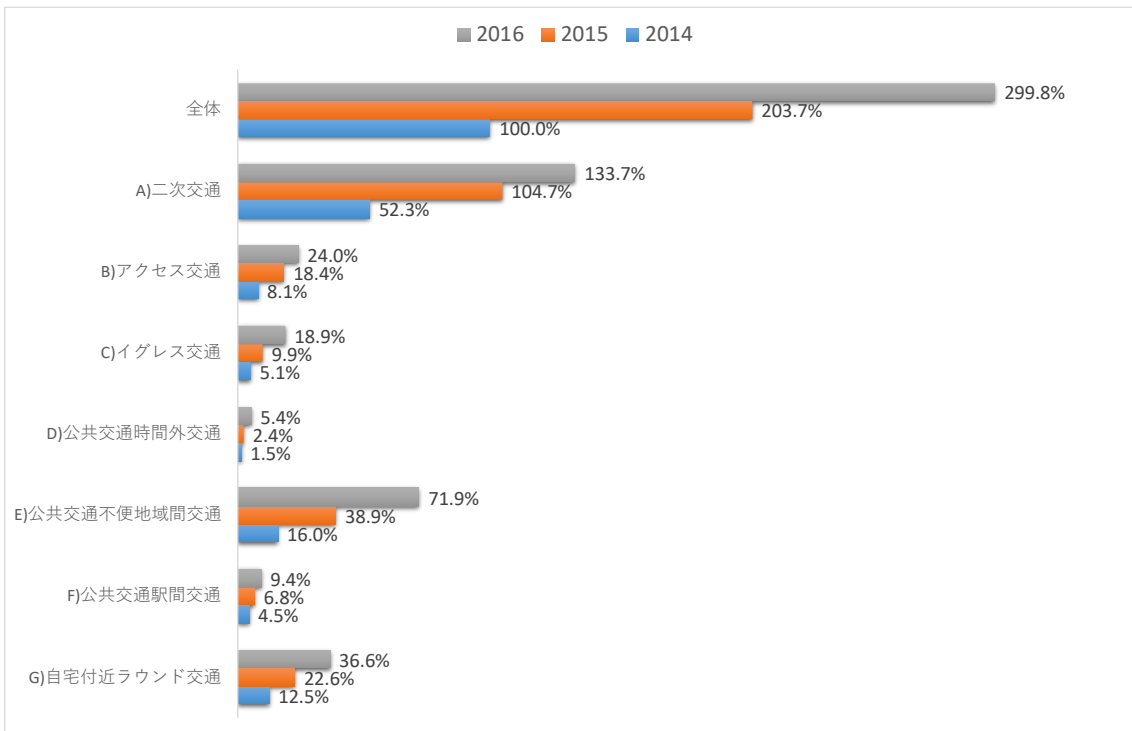


図 5-15 トリップ種別別量結果 (2014年4月～2017年3月)

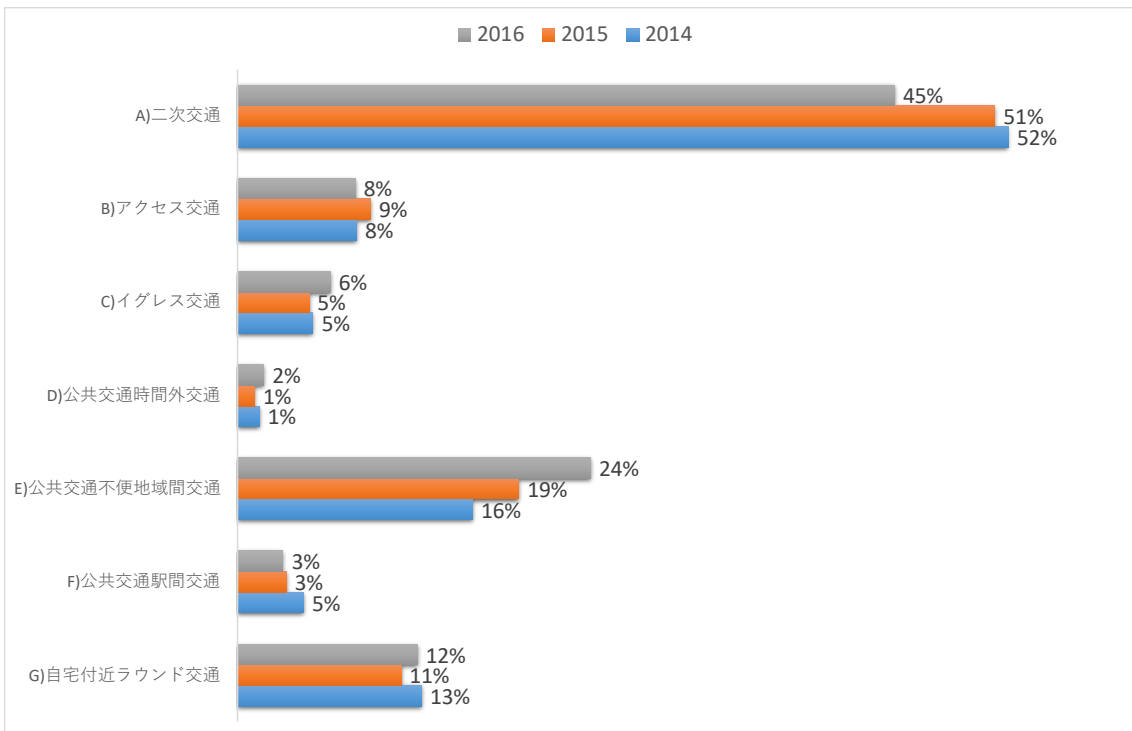


図 5-16 トリップ比率 (2014年4月～2017年3月)

表 5-3 整備した st 数

	駅st 数	駅以外st 数
~2015年3月	12	20
2015年4月~2016年3月	15(+3)	37(+17)
2016年4月~2017年3月	16(+1)	41(+4)

5-4-3 平日・休日別分析

次に、図 5-17 に示す平日、休日、祝日別の時間帯別利用傾向を見ると、利用傾向は平日では朝・夕方にピークのある形であり、休日は昼付近に凸になる形をしていることがわかる。このことより、一般的な交通状況と同様の傾向を示していることがわかる。また、祝日は、休日ではなく平日と同様の傾向を示していることがわかる。これは、豊田市が企業城下町であるため、中心となる企業が祝日は休日ではなく稼働日である場合が多いことから、平日と同様の傾向を示しているものと推察される。

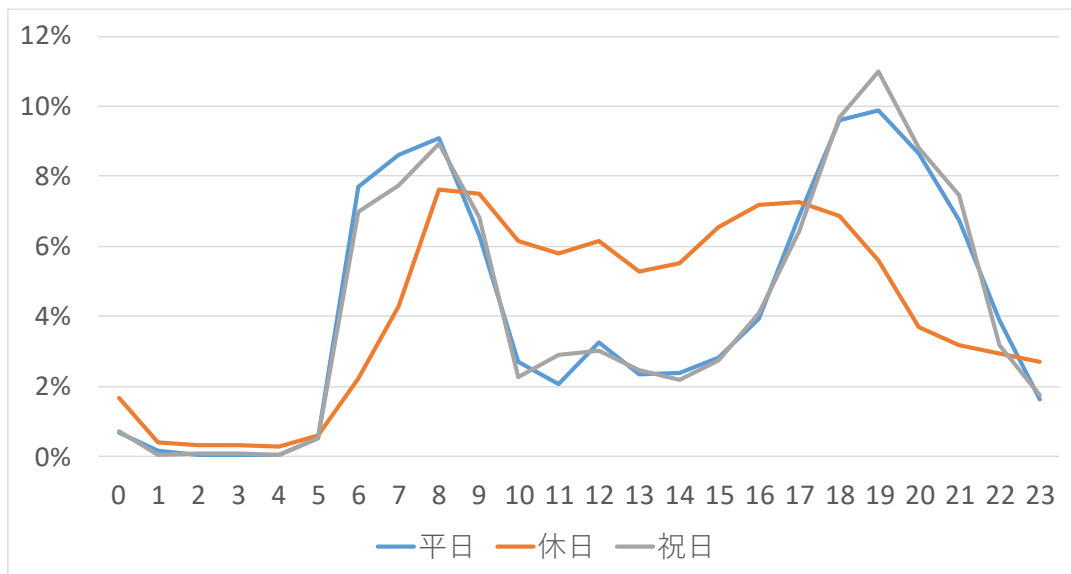


図 5-17 平日・休日・祝日別時間帯別トリップ傾向

図 5-18 に示す公共交通連携利用判別モデルを用いた平日、休日、祝日別の分類結果を確認すると、トリップ構成比率は、平日と祝日では、A)二次交通が大半を占め、その後もほぼ同様のトリップ構成比率であることがわかる。一方休日では、平日・祝日と比較して A)二

次交通と B)アクセス交通比率が低く、それ以外は高い値を示していることがわかる。トリップ量の多い A)二次交通が大きく減少していることより、休日ではエリア会員の利用が大半を占めていることよりエリア内交通の比率が全体的に上昇している。アクセス交通比率が低くイグレス交通比率が高くなって理由として、車保有率の高い地域であるため豊田市中心部に外出する場合は自家用車で送迎してもらい、帰りは OWCS を使われていることが考えられる。

以上より、時間帯別のトリップ傾向だけではなく、公共交通連携利用判別モデルを用いたトリップ種別の構成比率の視点から見ても、豊田市の Ha:moRIDE では平日・祝日はよく似た利用傾向を示していること、および平日・祝日と休日との間に OWCS の利用傾向が異なることを明らかにした。

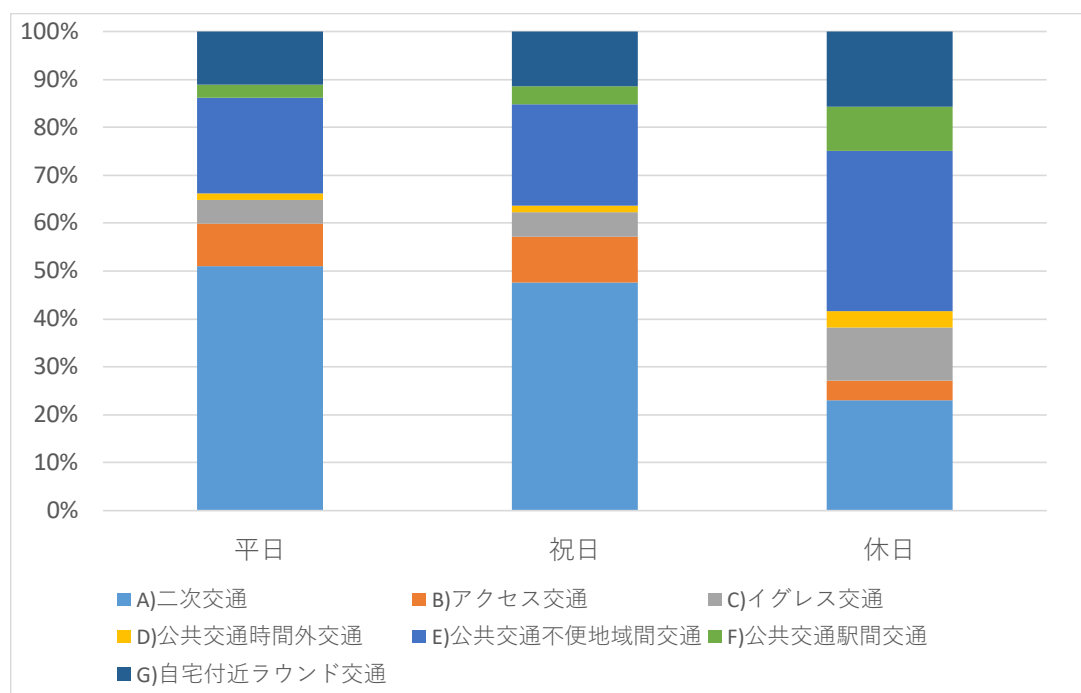


図 5-18 平日・休日・祝日別トリップ構成比率

5-4-4 トリップ種別の利用時間帯分析

次にそれぞれのトリップ種別がどのような時間帯で利用されているのかを明らかにする。ここでは、平日+祝日での利用傾向を確認する。図 5-19 に示す 7 つのトリップ種別の特徴を見ると、大きく 3 つに大別されることがわかった。それぞれについて個別に確認する。

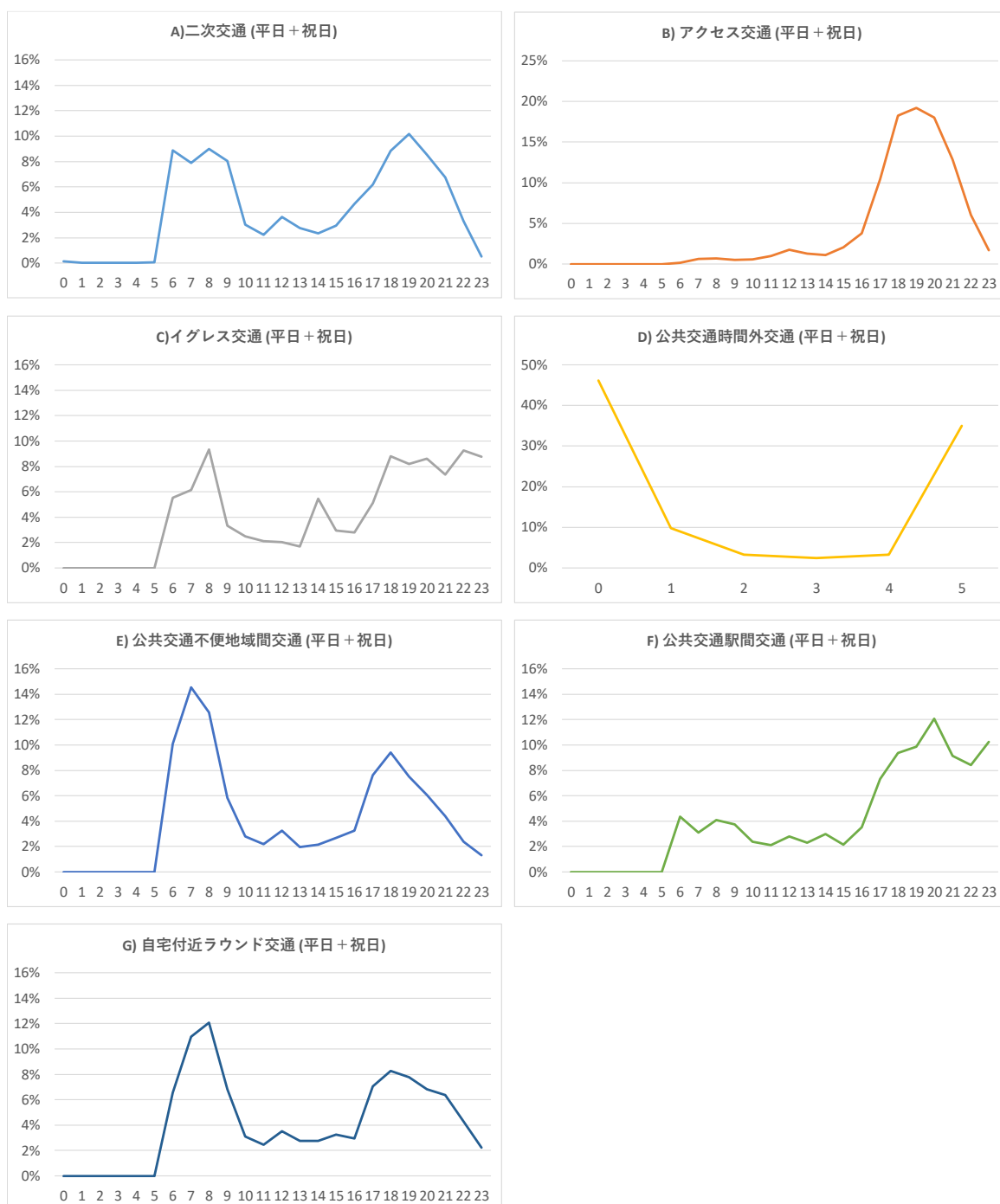


図 5-19 時間帯別トリップ傾向 (平日+祝日)

A)二次交通, C)イグレス交通, E)公共交通不便地域間交通, G)自宅付近ラウンド交通の4分類が朝夕にピークがあることが特徴である。朝(6:00-9:00頃)と夕方(17:00-20:00頃)にピークがあることが基本的な傾向として示されているが、イグレス交通だけは20時以降も利用はあまり落ちていないことが特徴である。

豊田市におけるPTデータ上の時間帯別トリップ現況¹⁾を確認すると、朝夕がピークのト

リップ傾向を示しており、このことより、Ha:moRIDE トリップの大半を占める 4 種別が同様の傾向を占めることより、OWCS が豊田市における普段の交通の 1 部を担っていることがわかった。

B)アクセス交通、F)公共交通駅間交通の 2 分類が、夕方以降にピークがあることが特徴である。B)アクセス交通は 18:00-20:00 がピークであり、出発 st として、トヨタ本社地区 st (事務/技術本館) が上位を占める。F)公共交通駅間交通で最もトリップ数が多い OD は、三河豊田駅 st→浄水 st であり、この区間を公共交通で行く場合、愛知環状鉄道から名古屋鉄道に乗り換えるため、新豊田駅-豊田市駅に 3-5 分程度の移動時間が必要であり、更に電車待ち時間が存在することによる心理的な乗り換え抵抗が大きいため、多く利用されていると考えられる。

また、B)アクセス交通、F)公共交通駅間交通とも、朝の利用が少なく、夕方での利用が多い理由は、朝の時間帯は自動車による渋滞が集中するため徒歩、公共交通を選択し、夕方以降はピークがなだらかであるため OWCS を利用しているものと推察される。

最後に、D)公共交通時間外交通では公共交通が運行していない時間帯 (0 時~5 時台) のうち 0 時、5 時にトリップが集中していることがわかる。ここから、終電直後と始発直前に利用している割合が多く、真夜中 (1-4 時) での利用は少ないことがわかった。

5-5 公共交通連携利用判別モデルを用いた利用実態分析 (東京湾岸エリア)

東京湾岸エリアで提供されている TCPH での観測データを用いた分析を行う。ここでは、**図 3-1** で示した OWCS の利用イメージである公共交通とのアクセス/イグレス手段又は補完手段として利用されているかを確認する。公共交通連携利用判別モデルを用い、**表 3-1** で対象としている複数のステーションが利用者視点で、アクセス/イグレスとして OWCS を利用している (利用シーン a 向け) のか、OD 間をダイレクトで OWCS を利用しているのか (利用シーン b 向け)、ラウンド利用で OWCS を利用しているのかを判別する。本分析では**表 5-3** に示すように、二次交通/公共交通時間外交通は対象外、アクセス交通とイグレス交通をアクセス+イグレス、自宅付近ラウンドをラウンド利用とし、その他を全てダイレクトとして扱い、**図 5-20** に対象ステーションの地理的場所について示し、**図 5-21** において対象ステーション別の利用シーン比率を整理する。

表 5-3 トリップ種別と本研究での取扱い

トリップ種別	説明	本研究での取扱い
A 二次交通	提供エリア外会員の利用トリップ	対象外
B アクセス交通	駅以外st → 駅近くstの利用トリップ	アクセス +イグレス
C イグレス交通	駅近くst → 駅以外stの利用トリップ	
D 公共交通時間外交通	公共交通が運航していない時間帯のトリップ	対象外
E 公共交通不便地域間交通	駅以外st → 駅以外stの利用トリップ	ダイレクト
F 公共交通駅間交通	駅近くst → 駅近くstの利用トリップ	
G 自宅付近ラウンド交通	自宅近くstでのラウンドトリップ	ラウンド

補足)

駅近くst: 公共交通駅近くにあるOWCSステーション

駅以外st: 公共交通駅近くにはないOWCSステーション

自宅近くst: 対象会員の自宅近くにあるOWCSステーション



図 5-20 利用シーン a/b 向けステーション配置

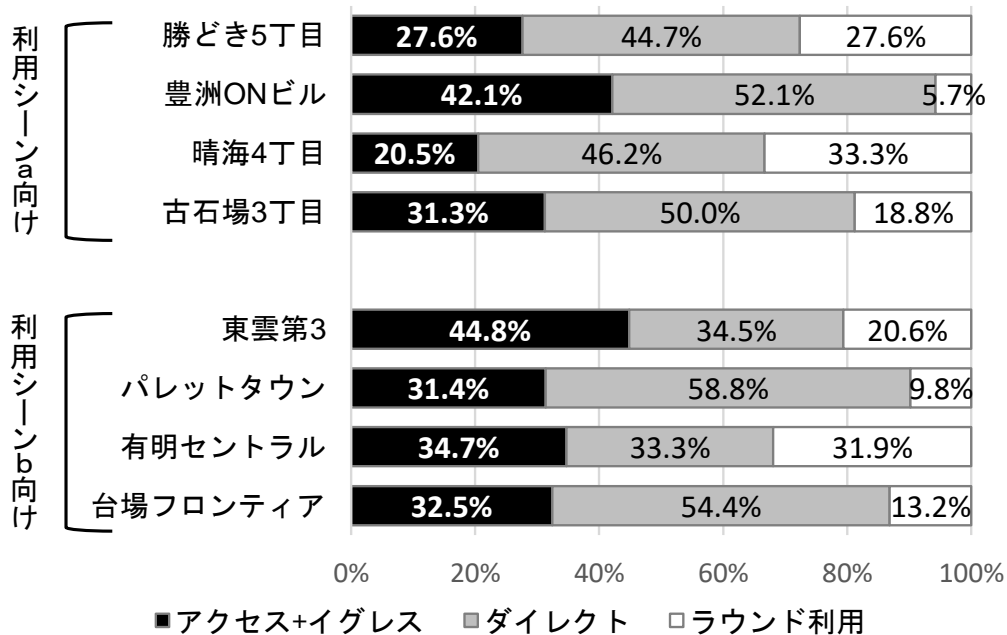


図 5-21 ステーション別の利用シーン比率

想定シーン a 向けステーションはアクセス+イグレス利用率が高いことが期待されていたが、公共交通連携利用判別モデルによる分析の結果アクセス+イグレスでのトリップは 20.5~42.1%の範囲に留まっている。また全てのステーションでダイレクト利用率が高い結果となった。アクセス+イグレスとしての利用がダイレクトより少なくなった理由の 1 つとして、OWCS を利用して公共交通に乗り継ぐ場合に移動に要する費用が公共交通のみの場合よりも高くなり、OWCS をダイレクトに利用した方が安くなる場合が生じるためと考えられる。例えば、アクセスに TCPH を利用（15 分単位：206 円）し、公共交通として東京メトロ（初乗り：165 円：IC カードの場合）を利用した場合は合計 371 円が費用として必要になる。また TCPH を用いてダイレクトで行く場合には、OWCS の移動に 30 分かかったとしても費用が 412 円とアクセス+イグレスでの利用の際と費用が大きく変わらないことから、ダイレクトで利用する割合が多くなると考えられる。

もし公共交通との連携視点でアクセス+イグレス利用の比率を増やす場合には、パーク&ライド等において導入されているような料金施策を導入することが、効果的な手法の 1 つとなると考えられる。こうした料金施策の事例として、例えばタイムズ 24 株式会社が導入している、優待対象の電車等を利用した交通系 IC カードを精算機にかざすと駐車料金が優待される仕組み³⁾等がある。

想定シーン b 向けのステーションはダイレクト利用率が高いことを期待されており、パレットタウンと台場フロンティアでは想定通りであったが、東雲第 3 と有明セントラルについてはアクセス+イグレス利用率の方が高い結果となった。東雲第 3 は、周辺の公共

交通路線駅に OWCS 専用ステーションが複数存在しているため、アクセス+イグレス利用できる可能性が高いことが 1 つの要因であると考えられる。また有明セントラルは、他よりも比較的ラウンド利用率が高い。ラウンド利用率が高い理由として、公共交通での移動が不便な場所との間の移動を、ワンウェイ利用ではなくラウンド利用していることが考えられる。

加えて、豊田市と東京湾岸部での分析を通じて、提案した手法が異なる提供エリアにおいても適応できることを確認できた。

5-6 結論と今後の課題

本研究では、1 つの公共交通手段として期待されているステーションタイプ OWCS の観測データを用いて、公共交通と連携した利用がされていたか否かを判別する公共交通連携利用判別モデルを提案した。既存公共交通との連携性を判断するため、会員個人のトリップチェーンを踏まえ公共交通駅、st、登録住所の関係性より提案した 7 種のトリップ種別に分類できることが特徴である。また、提供エリア毎の違いを反映するために、エリア内外判定、みなしラウンドトリップ向けエリア設定、自宅から OWCS ステーションまでユーザがアクセスできる距離、公共交通が運行している時間帯の設定ができることが特徴である。

OWCS である豊田市の Ha:moRIDE の観測データを提案したモデルを用いて分析を行い、OWCS が様々な使われ方がされていることを明らかにした。

組み合わせ利用と補完利用を加えた基幹公共交通連携利用は、OWCS のトリップの約 8 割（2014 年 4 月～17 年 3 月）を占めていることがわかり、OWCS が既存基幹公共交通と連携又は補完した利用が多くなされていることが分かった。また、平日・祝日と休日との間に OWCS の利用傾向が異なることを明らかにした。加えて、利用時間帯別分析よりトリップの大半を占める 4 種別が豊田市の PT データと同様の傾向を占めることより、OWCS が豊田市における普段の交通の 1 部を担っていることがわかった。B)アクセス交通又は C)イグレス交通による利用増大を期待して新規に住宅街近くのステーションを導入したが、E)公共交通不便地域間交通として多く利用されていることが明らかにし、提案モデルを用いて導入施策が実際に効果的であったか否かについての確認ができることを示した。

また OWCS である東京湾岸部での TCPH の観測データでも同様に分類を行い、アクセス利用やイグレス利用よりもダイレクト利用が多い傾向であることを明らかにした。今後アクセス利用やイグレス利用を増やし OWCS と公共交通との連携を高めるためにはパーク & ライドなどで実施されているような優待料金施策が効果的な手法の 1 つであることを提案した。

加えて、豊田市と東京湾岸部での分析を通じて、提案した手法が異なる提供エリアにおいても適応できることを確認できた。

以上の結果より、OWCS を活用したインターモーダル交通環境の実現とマルチモーダル交通環境の成熟のため、提案した判別モデルと観測データとを用いて、ステークホルダと人の行動をどのように変えていくのか等の議論の素材として利用可能であると考えられる。

例えば、既存公共交通のリソースを増加するのではなく、OWCS を用いて補完交通を増やすためにどこに st を置くべきか、時間帯別トリップ傾向よりアクセス交通、イグレス交通を増やすために、どこに何時ごろに車両の偏りを是正する配回送を実施すべきか等を具体的に議論することができるようになる。

本提案手法はステーションタイプ OWCS を対象に実施を行っているが、フリーフロータイプ OWCS や、バイクシェア、e-scooter でも GPS 等で発着場所が把握でき、あるエリアを st として分析することを目的にするのであれば適用が可能である。

今後の課題としては、真の目的地を踏まえた提案手法の改良がある。本提案手法では真の目的地が把握できていないため到着地側 st の近くに目的地がある又は公共交通駅近くなれば公共交通を使って最終目的地まで移動するという仮定を用いてモデルを構築している。もし OWCS の OD 間以外の移動情報を突き合わせることができるのであれば今後改良できる可能性があると思われる。

第 5 章 参照文献

- 1) パーソントリップ調査からみる豊田市における人の動き
(http://www.city.toyota.aichi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/005/143/01.pdf)

第 6 章 サービス導入段階における評価手法適用

6-1 はじめに

本章では2章で提案した、ステーションタイプ OWCS の公共交通連携性を考慮した実用的な評価フレームワークを用いた計画段階でのケーススタディを行う。ケーススタディは、豊田市中心部を対象とし評価フレームワークの妥当性を検証することを目的とした。

図 6-1 にサービス計画段階における本章での実施範囲について示す。サービス計画段階の評価フローの内、Ⅰ 導入エリア決定においては、豊田市中心部に導入するということが既に決定しているという前提からスタートすることとする。Ⅱ ステーションネットワーク設定と、Ⅲ 導入プラン決定におけるケーススタディが本章の中心となる。

6-2 においては、Ⅲ 導入プラン決定の⑤リソース設定から⑨総合評価までの評価方法について説明する。特に事業性と既存公共交通と OWCS の連携性としてアクセシビリティ指標を用いて双方の視点を鑑みた評価手法について説明する。6-3 においては、豊田市中心部に、まだ導入されていないステーションタイプ OWCS を導入するとした場合を想定し、評価した結果を述べる。6-4 では、結論と今後の課題について述べる。

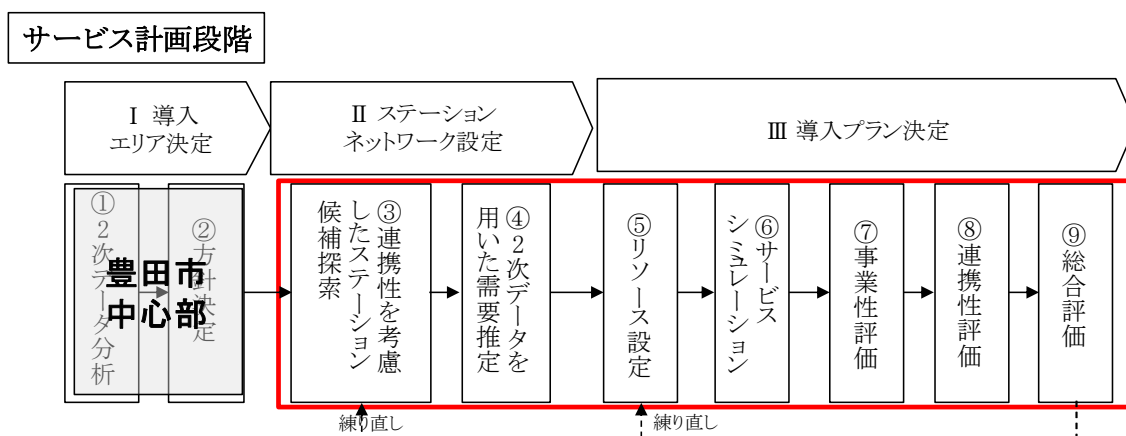


図 6-1 サービス計画段階における本章での実施範囲

6-2 サービス計画段階における導入プラン決定評価手法

6-2-1 導入プラン決定評価手法全体像

図 6-2 は図 6-1 に示した Ⅲ 導入プラン決定の全体像を示している。評価を始めるために、下記の3種のデータを準備する。1つ目は、3章で提案した OWCS 向けステーション評価手法を用いて作成したステーションネットワーク案である。2つ目は、4章で提案した2

次データを利用し、OWCS 時空間的需要偏在推定手法を用いて作成した推定需要である。最後に、OWCS 事業者が用意できると想定している車両や駐車枠数のようなリソースパターンを用意する。それらは、後段で行うサービスシミュレーションのインプットデータとする。複数の条件で最終的に評価を実施するため、インプットデータはそれぞれ複数パターンを用意しておく必要がある。用いて算出された複数のサービスシミュレーション結果は、その後、事業性評価機能、アクセシビリティ評価機能においてそれぞれ評価され、最終的にはそれらの結果を合わせた総合評価を行う。

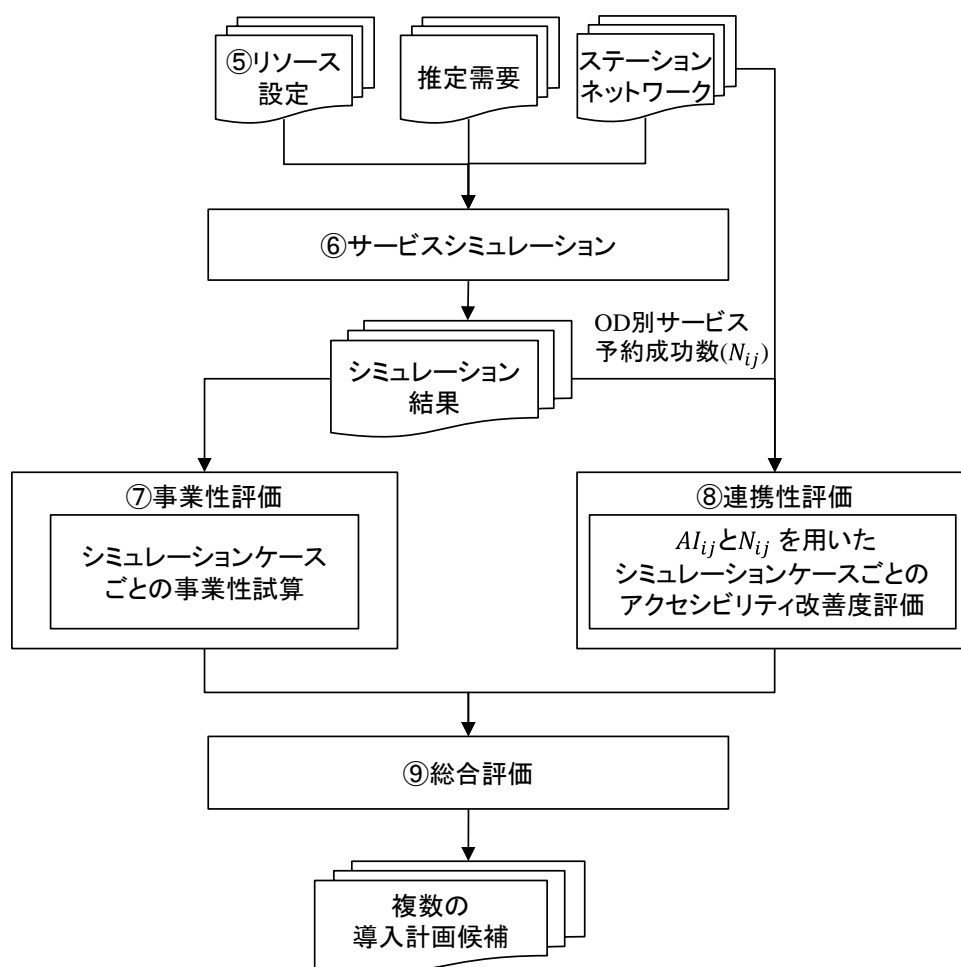


図 6-2 導入プラン決定における評価手法全体像

本手法は OWCS 事業者が導入段階において、実用的に活用できることを指向している。図 2-3 (再掲) で示す状態遷移シミュレータは、OWCS の複雑な移動等を他の手法よりも比較的容易に表現できることが特徴であることより、⑥サービスシミュレーションに採用している。⑦事業性評価では、サービスシミュレーションから算出された複数導入計画での売上、費用から収益を算出する。⑧連携性評価では、OWCS を導入することにより交通全体の

アクセシビリティが改善したことを示す指標として本研究で提案する *AIV* (Accessibility Improvement Value) を用いる。 *AIV* は 2-3-3 で述べたアクセシビリティを定量的に評価できる *AI* (Accessibility Index) と、シミュレーション結果である、ステーション OD 別のサービス予約成功数 (N_{ij}) を用いて算出する。 N_{ij} とは、予約が成立した数を意味し、OD パターンごとに提供されるものである。

⑨総合評価では、様々な導入計画案毎の結果が存在することより、それら候補を事業性と既存公共交通との連携性との、2つの目的関数の双方を最大化したものを選択できるように、パレート最適の考え方を導入した。もし、最も重視する目的関数が収益性である場合、我々は推定された需要パターンを元に多くの利用が見込まれるステーションばかりを選択しがちである。また、OWCS 導入によりアクセシビリティ改善度を最大化したい場合は、OWCS を導入することにより、既存公共交通と連携した利用が期待される場所を中心にステーションを選択する。そのため、選択されたステーションは、現状では移動量が少なる場所である可能性があり、事業性視点では必ずしも優れた場所ではないと想定される。それゆえ、事業性と既存公共交通との連携性は、トレードオフの関係であることが容易に理解できる。そこで、本評価手法では、パレート最適を採用している。

6-2-2 においては、⑥サービスシミュレーションと⑦事業性試算について説明し、6-2-3 においては、⑧連携性評価について説明する。

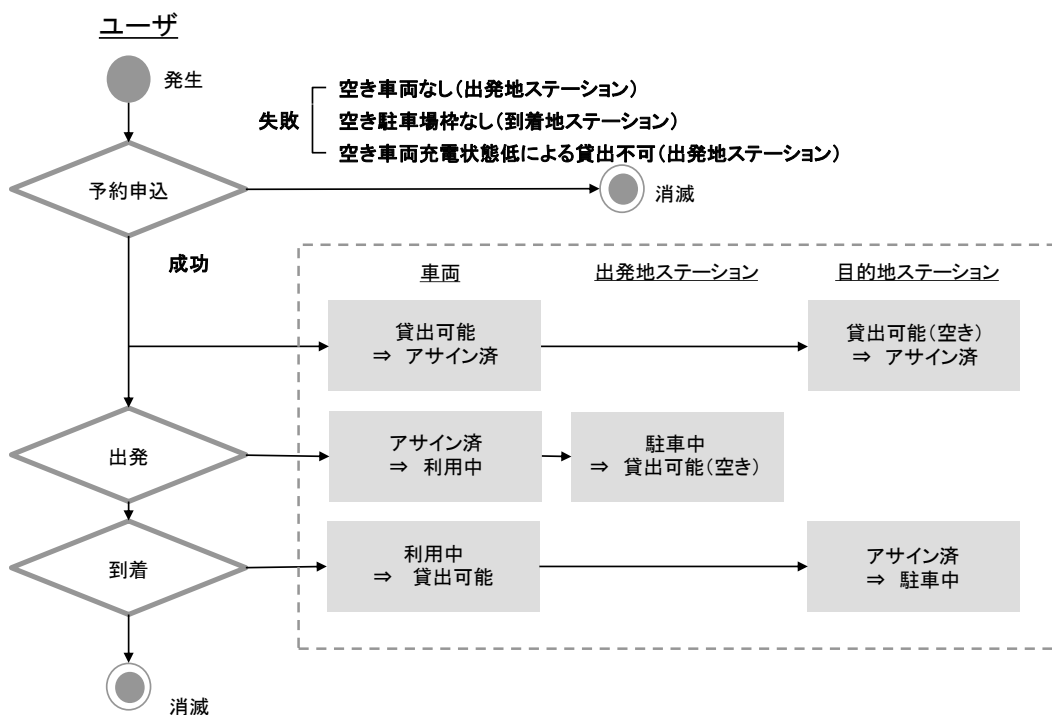


図 2-3 状態遷移シミュレータ²⁾ (再掲)

6-2-2 サービスシミュレーションと事業性評価

図 2-3 に示す状態遷移シミュレータでは、作成されたステーション間推定需要がインプットされると、1 ユーザごとの発生需要の OD 情報と出発時間を元に、出発ステーションでの空き車両と目的地ステーションの空き駐車枠を探索する。車両と駐車枠が用意できる場合は、予約成功として車両と駐車枠を確保する。車両、目的地ステーション、及び到着地ステーションの駐車枠の状態を管理・遷移させ目的地ステーションに到着すると、対象ユーザのステーション間発生需要を消滅させる。もし車両又は駐車枠の一方でも用意ができない場合は、予約失敗としてステーション間発生需要を消滅させる。

シミュレーション結果を評価するために、時系列に連続に存在する数日間の推定需要データ（例えば 100 日など）を用いることが望ましい。OWCS は片道利用が可能であるため、車両は明日同じ場所にあることは保証されていないなど、供給側の状態は常に異なる。そのため、ある 1 日の状態だけで事業性や連携性を評価しては、確度の高い評価結果にはならないためである。

状態遷移シミュレータを用いて、様々なパターンのシミュレーションを実施する場合は、シミュレーションケース数に注意が必要である。その理由として、莫大なシミュレーションケースから解を探索することは、実用的視点から非現実的であるからである。そのため、シミュレーション実施前に想定シミュレーションパターン数を算出し、全パターンをシミュレートすることが非現実的であれば、遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティックスアルゴリズム等を用いて、探索空間を小さくしながら解に探索する手法などを導入することを考慮する必要がある。

需要と供給がマッチしサービスが成立した情報を用いて、事業性試算を実施する。売上は Σ （利用時間×時間単価）、費用は車両の値段、ステーション設置などに要する初期導入費用と、駐車場賃貸料金などの運用費用の 2 種類のベース金額が存在する。収益は、複数日のシミュレーションを実施していることより、平均化して 1 日の値として評価することも可能である。また、想定される単価や月当たりコストなどが変動する場合は、トータル期間で収益を算出し試算をすることも可能である。ここでは、シミュレーションケースごとの事業性試算結果を整理し、比較することで事業性評価を実施する。

6-2-3 アクセシビリティ指標を用いた連携性評価

アクセシビリティを評価するため導入候補エリアを一定サイズのメッシュサイズに、図 6-3 のように分割する。メッシュサイズは、ユーザが OWCS 専用ステーションへアクセスできるアクセス距離を考慮して設定する。分割したメッシュ間、対象エリア全体のアクセシビリ

ティを、OWCSの導入有無の双方を想定して算出し、比較を行う。既存公共交通とOWCSの連携性を評価するため、アクセシビリティを定量的に評価できるAIを活用する。

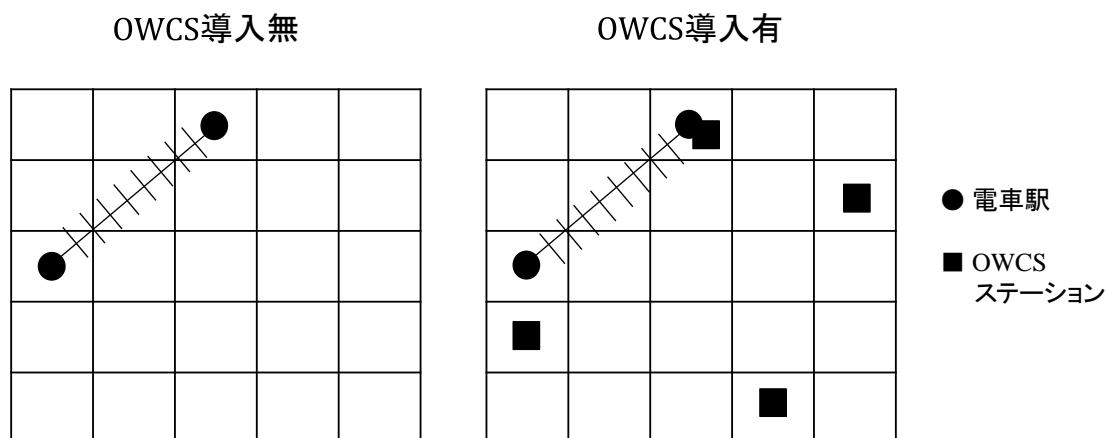


図6-3 アクセシビリティ評価対象イメージ

以下に示す式(1)-(5)はAIを表現しており、表6-1は変数の内容を説明している。式(1)はシナリオsにおいてメッシュiからjへ移動する際のn番目の経路の一般化時間を示す式となっている。ここでいうシナリオとはOWCSの導入を想定したケースが+で、OWCSの導入を想定しないケースが-で表されている。すなわち、+の場合ではiからjへの移動の途中にOWCSを含むことができ、-の場合では不可能となっている。一般化時間の算出には徒歩、バス、電車、OWCSそれぞれを用いた場合の、リンクlmの移動時間、待ち時間、運賃を足し合わせている。なお、本研究ではより現実を詳細に示すために、徒歩での移動に対しては身体的負荷を考慮している。これは、連続で長時間徒歩移動をすると徐々に1分当たりのコストが大きくなるように工夫するものである。左辺にあるダミー変数はiからjへのn番目の経路にリンクlmを含む場合は1、それ以外は0となるダミー変数である。式(1)で算出されるのは単純な一般化時間であるが、それぞれのシナリオで利用できる交通手段を単一の経路内で複数利用できるようになっている。すなわち、OWCSを公共交通利用のアクセスやイグレスで用いるといった公共交通と連携して利用する場合を考慮できるようになっている。既往の研究を概観したとき、筆者らの知る限りではカーシェアリングのみを対象として一般化時間の変化を考慮している研究はあるが、公共交通との連携を考慮した一般化時間の変化を考慮している研究は見られなかった。加えて、鈴木ら²⁾は、公共交通事業者は公共交通とカーシェアリングは競合関係にあると認識されており、両者の連携はあまり見られないと指摘している。これも踏まえると実際に連携を考慮した場合の変化を純粋に考慮できる形での定式化が妥当であると判断したものである。

$$C_{ij,n}^S = \sum_{lm} \sum_{k \in S} \delta_{lm,ij,n}^S \left(f_k \left(\frac{d_{lm}}{v^k} \right) + \alpha \frac{60}{2f_{lm}^k} + \frac{1}{\beta} F_{lm}^k \right) \quad (1)$$

式(2)は式(1)で得られた経路群の中から、それぞれのシナリオにおいてコストが最小のものを特定する式となっている。これはメッシュ*i*から*j*へのアクセスのしやすさを示しており、本研究ではこの値をメッシュ*i*から*j*へのアクセシビリティとしている。これに関しては、国土交通省が公表しているアクセシビリティ指標活用の手引き（案）³⁾を参考にして設定している。交通工学の分野では特定の施設等へのアクセス性を評価する形のものが多く見られるが、本研究においてはワンウェイカーシェアリングの特性を考慮してより簡潔ではあるが、式(2)で示す形を採用している。ここで言うワンウェイカーシェアリングの特性とは、少人数の移動が主な対象であり、少ない需要にも柔軟に 대응できるという点のことである。

$$A_{ij}^S = \min[C_{ij,n}^S] \quad (2)$$

式(3)において、OWCSがある場合と無い場合のアクセシビリティの差を算出し、それをメッシュ*i*から*j*へのアクセシビリティの向上度としている。

$$AI_{ij} = A_{ij}^- - A_{ij}^+ \quad (3)$$

式(4)において、全てのメッシュからメッシュ*i*へのアクセシビリティの向上度の平均を算出しており、この値を本研究ではメッシュ*i*のアクセシビリティの向上度としている。

$$AI_i = \overline{AI_{ij}} \quad (4)$$

式(5)において全メッシュのアクセシビリティの向上度の平均を算出しており、この値を本研究では対象地域のアクセシビリティの向上度としている。

$$AI = \overline{AI_i} \quad (5)$$

AI は、導入エリアにOWCSを導入することによる、アクセシビリティを改善するポテンシャルを示すものであり、ODパターンの偏り、トリップ数など様々なリソースパターンによる車両・駐車枠などの利用可能性を考慮していない。実サービスであれば、出発ステーションに空き車両や、目的地ステーションに空き枠を確保しなければOWCSを利用できないが、常にサービス利用可能である前提で評価を実施している。

利用可能性を考慮するため、式(3)に示す各ODでのアクセシビリティ向上度 AI_{ij} と、シミュレーションより利用可能であることがわかったODペア別サービス予約成功数 N_{ij} とを、乗じて算出する、対象エリアでのアクセシビリティ改善値 AIV を式(6)に示す。この AIV をアク

セシビリティ評価指標として扱うこととする。

$$AIV = \sum N_{ij} AI_{ij} \quad (6)$$

表 6-1 変数定義

s	シナリオ (+OWCS有, -:OWCS無)	f_{lm}^k	交通手段kのリンクlmの運行頻度
$C_{ij,n}^s$	i から j への n 番目の経路のコスト	F_{lm}^k	交通手段kのリンクlmの運賃
k	交通手段(徒歩、バス、電車、OWCS)	A_{ij}^s	シナリオ s における i から j へのアクセシビリティ
$\delta_{lm,ij,n}^k$	i から j への n 番目の経路に交通手段kのリンクlmを含むかを示すダミー変数(含む場合が1)	A_i^s	シナリオ s における i のアクセシビリティ
f_k	徒歩移動の身体的抵抗を考慮する関数	A^s	シナリオ s における地域全体のアクセシビリティ
d_{lm}	リンクlmの距離	AI_{ij}	i から j へのアクセシビリティ向上度
v^k	交通手段kの速度	AI_i	i のアクセシビリティの向上度
α	待ち時間の時間価値を示すパラメータ:2	AI	地域全体のアクセシビリティ向上度
β	時間価値を示すパラメータ:29.8円/分	N_{ij}	ODペアごとのトリップ成功数
		AIV	アクセシビリティ改善値

6-3 ケーススタディ

6-3-1 インプットデータ作成とサービスシミュレーション実施

豊田市中心部を対象とし、500m メッシュに分割した場合のケーススタディを実施する。図 6-4 に示す 2 つのステーションネットワークが候補として挙げられている状況で、複数のリソースパターン（車両、駐車場枠）を提供する場合に、事業性と公共交通との連携性の双方で評価し、導入計画候補の評価を行うケーススタディである。

ケーススタディで用いる 2 つのステーションネットワークは、OWCS ステーション候補を 3 つの種類に分類して設置を行っている。Type1 は、電車駅/バス停留所の近くにある OWCS 専用ステーションである。Type2 は、最も近いバス停留所から 1km 程度離れたステーションであり、Type3 は電車駅/バス停留所から 1km 以上離れたステーションである。

今回作成した 2 つのステーションネットワークは、OWCS の想定利用シーンを考慮し、エリア中心の公共交通駅との連携に重点を置いたステーションネットワーク案 (NP1 : Network Plan1)と、エリア中心だけでなくエリア端の公共交通駅との連携も視野に入れたネットワーク案(NP2)である。エリア中心の公共交通駅との連携に重点を置いた NP1 案 1 は、エリアの中心に位置した 2 つの Type1 ステーションを持ち、その他は Type2 が 5 つ、Type3 が 6 つで構成されている。エリア中心だけでなくエリア端の公共交通駅との連携も視野に

入れた NP2 は、エリア中心に 1 つと対象エリアの端に 2 つ Type1 ステーションを持ち、その他は Type2 が 4 つ、Type3 が 6 つで構成されている。

この 2 つのステーションネットワークプランに対して、第 4 章で提案した手法と、豊田市 PT 調査¹⁾を用いて需要推定を実施した。1 日当たり平均トリップ需要は、NP1、NP2 それぞれに対して 48.37 トリップ/日と 62.99 トリップ/日という推定結果が算出され、推計結果をもとにして、合計 100 日分の需要を生成してシミュレーションを行った。

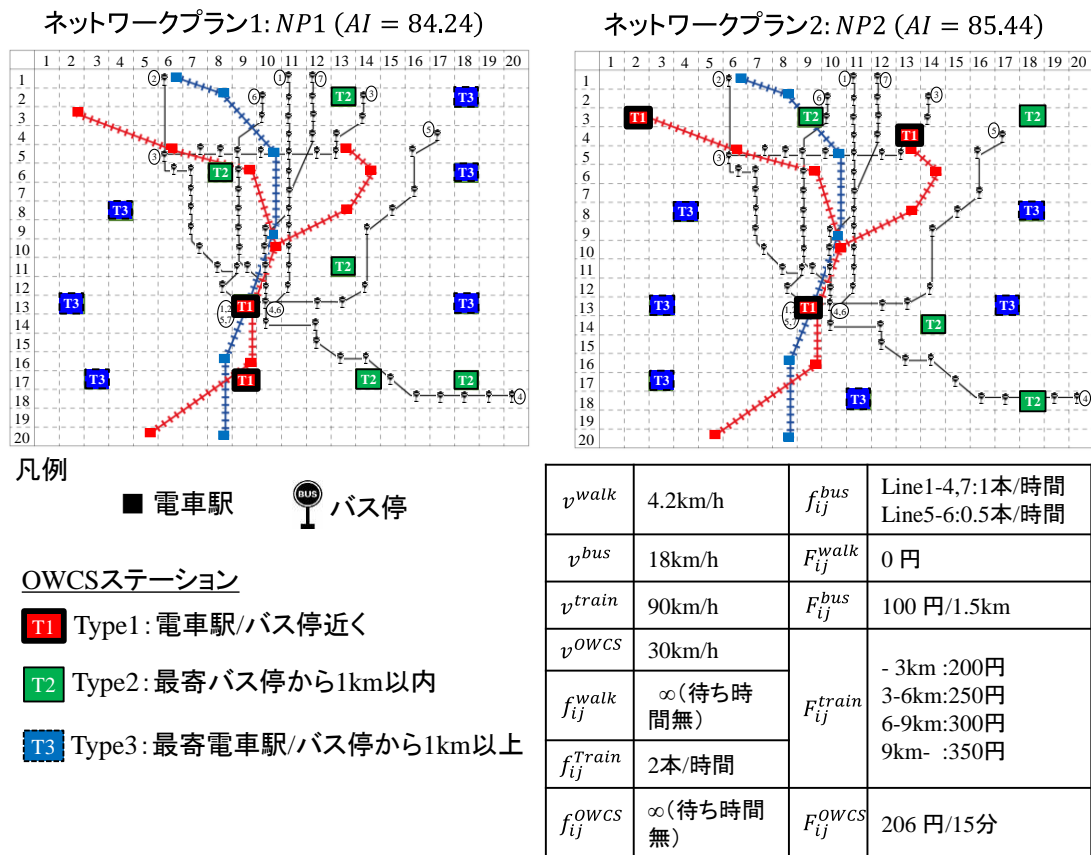


図 6-4 ステーションネットワークプラン

OWCS は、O ステーションで車両を確保し、D ステーションで駐車枠を用意する必要があるため、理想的には車両に対して約 2 倍の駐車枠が準備されることが望ましい。そのため、本研究では総駐車枠数をセットした後に、駐車枠数の半分の車両が準備する。

状態遷移シミュレータを用いてシミュレーションを実施していくためには、6-2-2 で述べたように、リソース設定のパターン数は現実的なシミュレーション数にする必要がある。今回のケーススタディでは、シミュレーションケース数に大きな影響を与える、駐車枠数を絞り込むこととした。3 種 (ステーションあたり駐車場枠数が 2 枠、6 枠、及び 12 枠) の駐車場枠数のみを候補として用意し、各ステーションの需要推定結果のトリップ量に合わせて

候補枠数パターンを用意することとした。例えば、あるステーション候補が多くのトリップが生じることが推定されている場合、そのステーションは上記の 3 つの駐車場枠数を候補とする。また、もしあまり多くのトリップが生じないと推定されている場合、対象ステーションは例えば 2 又は 6 の駐車場枠しか候補を持たないというルールを適用することとした。具体的には、需要推定結果が高い順に NP1, NP2 の各ステーション候補を並べ、上位 2 割には、2/6/12 枠を候補とした。2 割から 4 割のステーションには、2/6 枠、上位 4 割を切るステーションにおいては、2 枠のみを候補とした。その結果、NP1 は 48、NP2 は 108 のシミュレーションケースに候補を絞り込むことができた。

6-3-2 評価結果

事業性評価では、1 日あたりの売上と運用費用から収益を算出する。車費用、駐車場賃貸料金を運用費用項目として扱う。車費用を運用費用とした理由は、総駐車枠数をセットした後に、駐車場枠数の半分の車両が準備されるとしたためである。合計 156 ケースのシミュレーション結果より、サービスを提供できたことを示すサービス成功率は 46-84%の幅を持つ結果となった。

次に連携性評価を進める上で、OWCS を導入することによりステーションネットワークのアクセシビリティ改善のポテンシャルを確認する。NP1 と NP2 の AI は図 6-4 の上部に示しているが、NP2 は NP1 より高いアクセシビリティ改善のポテンシャルを持つことがわかる。図 6-5 は NP1、NP2 におけるそれぞれのシミュレーションケースに対する見積もられた AIV について左から高い順に整理したものを示している。

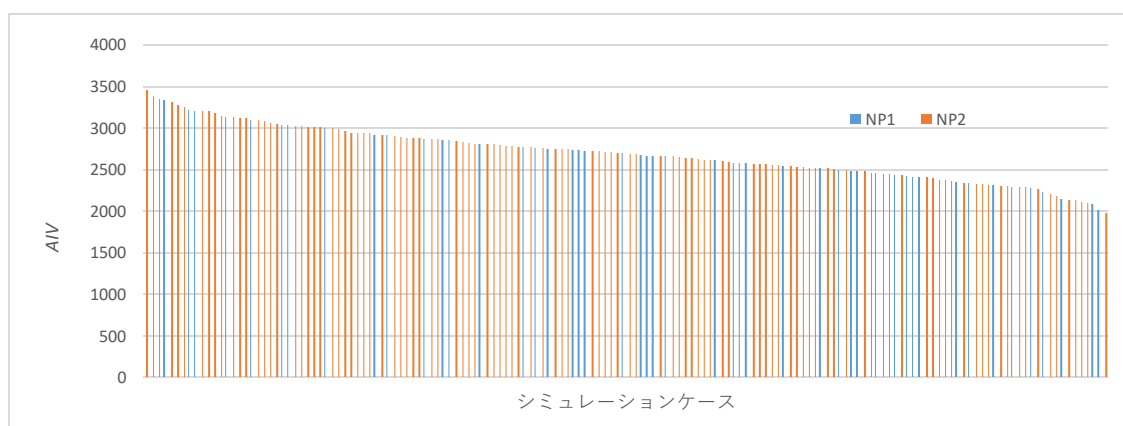


図 6-5 NP1/NP2 におけるそれぞれのシミュレーションケースでの AIV

この結果から、どちらかのステーションネットワークプランでのシミュレーション結果が常に高い AIV を示しているわけではなく、ばらつきがあることがわかる。ポテンシャルを表す AI では一意にどちらのステーションネットワークプランが良いかを判断できるが、 AIV では、ステーションネットワーク上にサービス車両とステーション枠をそれぞれ設置し、サービスシミュレーション実行した結果、OD 別サービス予約成功数 N_{ij} と各 OD でのアクセシビリティ向上度 AI_{ij} を用いて算出しているため、様々な値をとることがわかる。

NP1、NP2 それぞれの AIV 上位 10 の駐車枠数の組み合わせ結果について図 6-6 に示す。

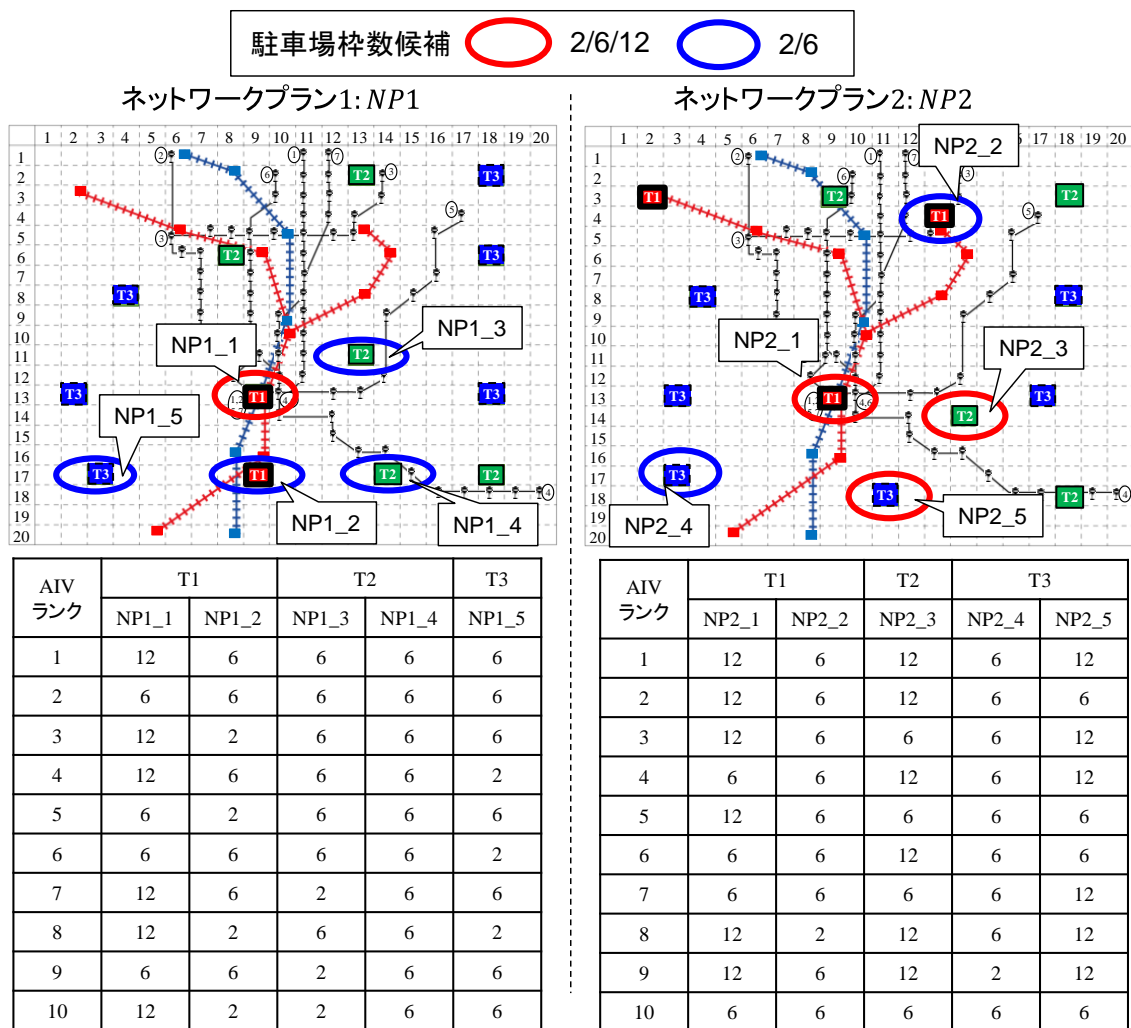


図 6-6 駐車場枠数候補と AIV 上位 10 位までのケースごと駐車枠数

赤丸で示したステーションでは、駐車枠数候補は 2、6、又は 12 を取り、青丸で示したステーションでは、2 又は 6 の駐車枠数候補が存在する。 AIV が高い順からステーションネットワークプラン毎に整理し、それぞれの駐車枠パターンを示している。 AIV が最も高い組み合わせでは赤丸/青丸で示したステーション全てで最大の駐車枠数を設置した場合で

あることがわかる。ネットワークプラン毎に、需要/日は同じであるため、AIVの順番毎に異なる駐車枠パターンであることがわかる。

NP1、NP2を通して共通の特徴が2つ見られる。1つ目は、エリア中心に位置する駅付近のステーションは12枠（NP1_1, NP2_1）まで設置可能であるが、6枠でも十分であるケースが存在していることである。これは、12枠あることで車両が対象ステーションに集中し、偏ることでサービス提供率が下がるためであると思われる。

2つ目は、中央部から少し離れたステーションは最大の6枠をとっているケースが多いことである。NP1ではNP1_4、NP2では、NP2_2/NP2_4がその対象であり、中央から離れた場所で6枠を確保することで上手く全体のバランスをとれているものと思われる。AIVを高めることを考え効率的に駐車枠を配置することを考えた場合、NP1ではNP1_4は確実に6枠設置し、その後は導入できるリソースを鑑みて決定することが望ましいことがわかる。同様にNP2では、NP2_2、NP2_4はできるだけ6枠を確保し、その後は導入できるリソースを鑑みて決定することが望ましいことがわかる。

次に、AIVはシミュレーション毎に異なる値をとるが、AI同様に、どちらのステーションネットワークプランの評価が高いのかを今回実施したシミュレーションケース結果を用いて単一の値にして評価する。図6-7よりAIVと運用費用は正の相関になっていることがわかる。AIVの値は、運用費用は車両や駐車場枠のようなリソースを追加することで増加していることがわかる。したがって、AIVを用いてステーションネットワークを比較するためには、それぞれのシミュレーションケースで異なるリソースを考慮して、AIV/運用費用を用いて評価する。

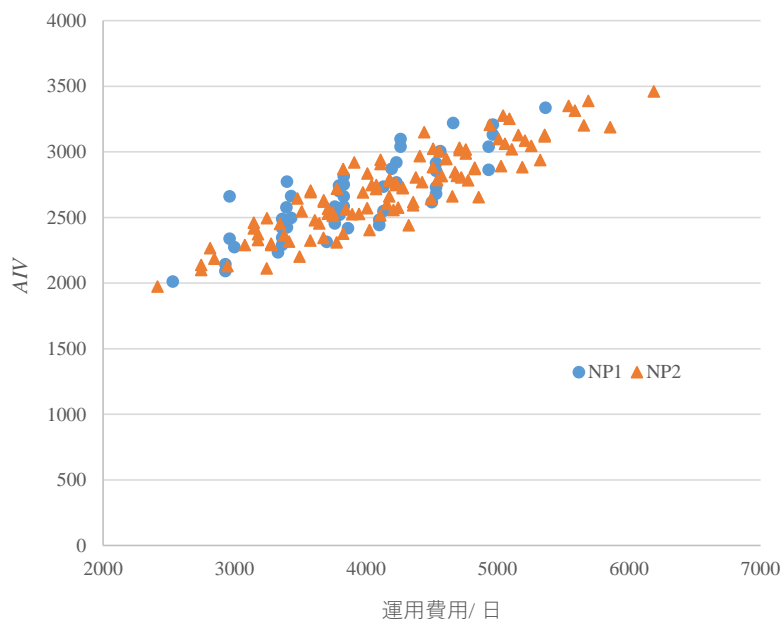


図 6-7 AIV 分布

図6-8は、それぞれのシミュレーションケースに対する AIV /運用費用の度数分布を示す。NP1を対象とした多くのシミュレーションケースから得られた AIV /運用費用の分布は、NP2のそれよりも右側に分布していることがわかる。NP1の全てのシミュレーションケースでの平均 AIV /運用費用 (0.687) はNP2の平均 AIV /運用費用 (0.656) よりも高くなっていた。NP2の1日当たりの平均サービス予約成功数はNP1より10トリップ高いにも関わらず、NP1の AIV /運用費用は高くなっていることがわかる。すなわち、単位運用コスト当たりのアクセシビリティ改善度は、NP1の方が大きいといえる。主な理由の1つは、NP1のシミュレーションケースは、より高いアクセシビリティ向上度 AI_{ij} を持ったOD別サービス予約成功数 N_{ij} を持っていたことである。

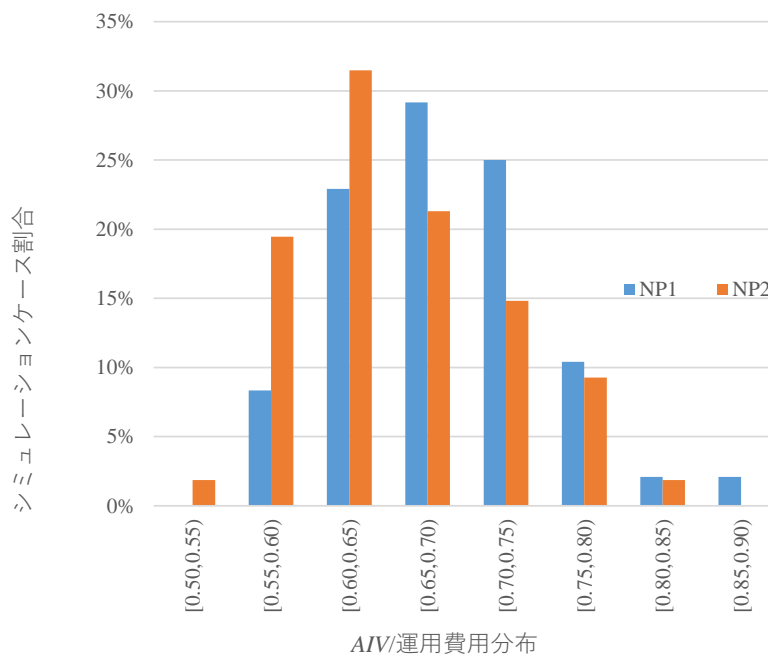
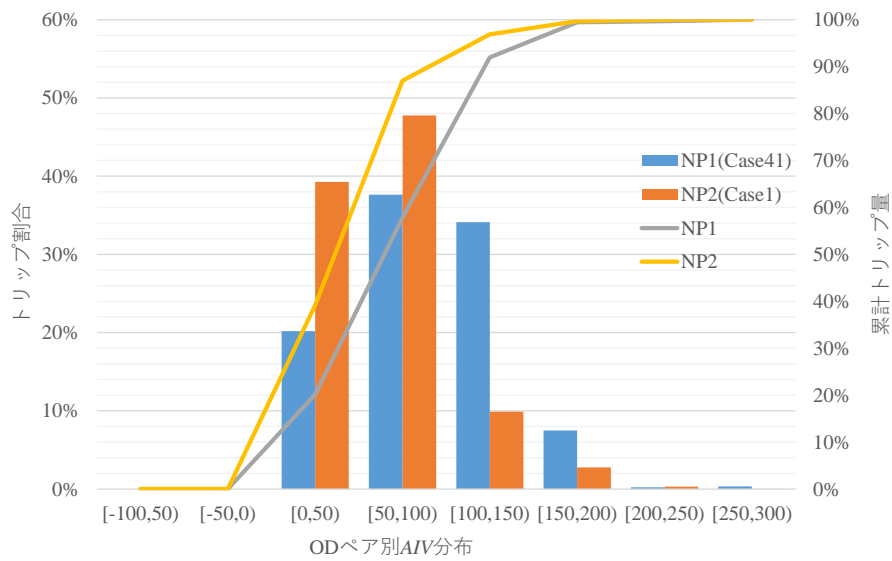


図 6-8 AIV /運用費用分布

図6-9はNP1 (Case41) とNP2 (Case1) とを比較した結果を示す。NP2 (Case1) のサービス予約成功数は、NP1 (Case41) よりも8トリップ多いが、NP2 (Case1) は相対的に低いアクセシビリティ向上度 AI_{ij} を持ったOD別予約成功数比率が高いことがわかる。それゆえ、NP1 (Case41)の AIV は、NP2 (Case1)より高い。 AIV という指標を用いて評価した場合、NP1は全体的にアクセシビリティ改善度がより高いステーションネットワークであることが分かった。



	NP1(Case41)	NP2(Case1)
トリップ成功率(%)	70.58	67.98
トリップ成功数(平均)	34.14	42.82
AIV	3099	2748

図 6-9 NP1(Case41)と NP2(Case1)の比較結果

最後に、事業性評価とアクセシビリティ改善値とを総合的に評価するために、本研究ではパレート最適の考え方を採用した。図 6-10 は各シミュレーションケースにおける収益と、AIV の関係を示している。

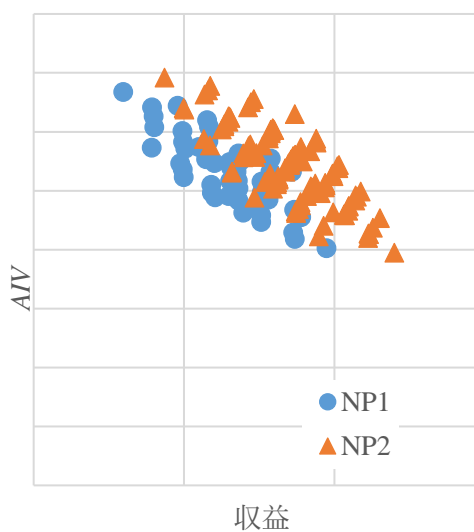


図 6-10 全シミュレーションケースの結果

図 6-10 を見ると、収益を最大化することと、アクセシビリティ改善値を最大化することは、トレードオフの関係であることがわかる。図 6-11 に示す、最適解集合によって形成されたパレート最適フロントを見ると、NP2 の方がよりより最適解集合が存在していることがわかる。

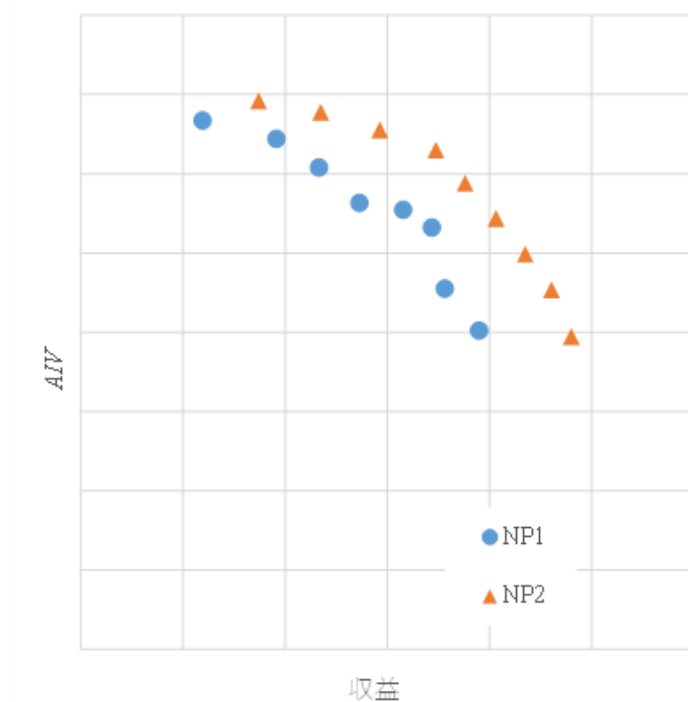


図 6-11 パレート最適フロント

本研究では、パレート最適フロントでのシミュレーションケースの内、下記の条件を満たすシミュレーションを最終候補とする。 n はシミュレーションケースを示し、 V_n はシミュレーションケース n の AIV 、 P_n は収益を示す。 V_n の最大値/最小値を抽出し、平均をとった値を V_{ave} とし、 P_n も同様に P_{ave} を算出する。 $V_n \geq V_{ave}$ かつ $P_n \geq P_{ave}$ を満たすシミュレーションケースを最終候補とした。 その結果、図 6-12 に示す 3 つのシミュレーションケースが最終候補として抽出された。

表 6-2 に示すそれぞれのケースでの割当駐車場枠数を確認すると、電車駅/バス停近くの Type1 ステーションでは全て 6 つの駐車場枠が配備されていること、加えて 12 枠設置できるステーションにおいても最大 6 枠を割当されたシミュレーションケースが選択されていることが分かった。 Type1 は、公共交通駅の近くであるため、できるだけ多くの駐車枠を確保できることが望ましいが、今回の最終的な条件を満たすケースにおいては、収益性視点から 12 駐車枠のケースが選択されなかったと思われる。 また、それぞれのケースで、最寄バス停から 1km 以内の Type2 ステーションと、最寄電車駅/バス停から 1km 以上離れた Type3

ステーションでの、割当駐車場枠数が異なっている。Type3のステーションである、NP2_4とNP2_5では後者の方が、シミュレーション結果から需要が見込まれるため、12枠の割当候補が存在する。Case101は、3つの中で最も収益が高い候補であり、Type3の内需要が見込まれるNP2_5を6枠とし、Type3であるNP2_4とType2であるNP2_3は2枠が割当られている。Case51は3つの中ではAIV、収益ともバランスをとった候補で、Type3の内需要が見込まれるNP2_5を2枠とし、Type3であるP2_4とType2であるNP2_3は6枠が割当られている。割当結果より、候補の中で収益が高いCase101は、需要の高いステーションにできるだけ枠数を絞って配置していることが分かった。

OWCS事業者は、最終候補として抽出された3つの案を持ち、交渉状況に応じて対応することが可能になる。まず、期待したAIV/収益範囲に入っていることより、Case45のように複数駐車枠候補を持っているステーションでは6枠を確保できるように動き、難しいようであればType2またはType3のどのステーションで確保を目指すかを前もって検討しておくことが可能であることがわかる。

提案した本手法を用いることで、収益とアクセシビリティ改善値とがバランスをとれたいくつかの導入計画候補を抽出できることが分かった。

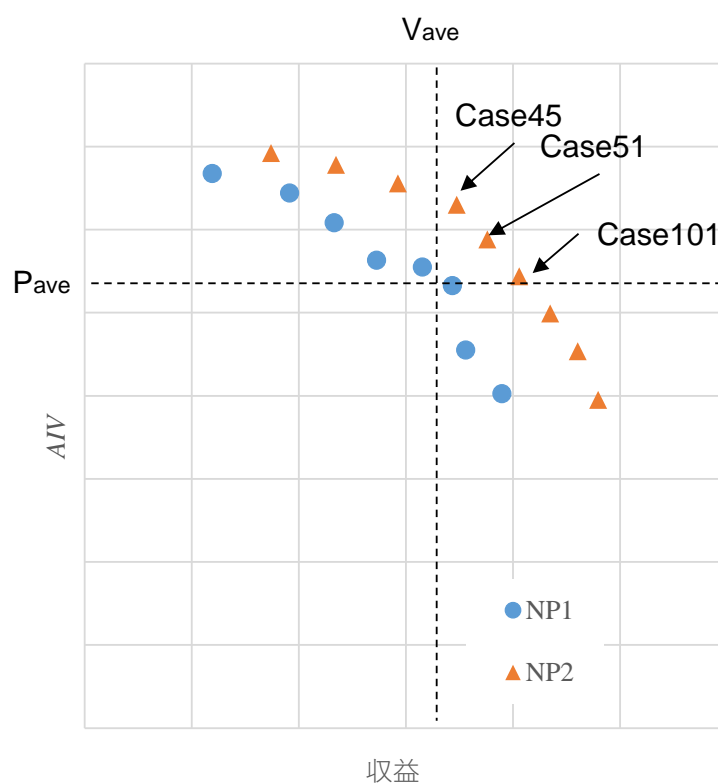


図 6-12 抽出された3つの候補

表 6-2 抽出された 3 つの候補の割当駐車場枠数

割当駐車場 枠数		シミュレーションCase			駐車枠 数候補
		45	51	101	
T1	NP2_1	6	6	6	2/6/12
	NP2_2	6	6	6	2/6
T2	NP2_3	6	6	2	2/6/12
T3	NP2_4	6	6	2	2/6
	NP2_5	6	2	6	2/6/12

6-4 結論

本章では、提案評価フレームワークを用いて、計画段階におけるケーススタディを実施した。導入エリアは豊田市中心部とし、ステーションネットワーク設定から導入プラン決定までを対象として実施した。

アクセシビリティ改善度は、既往研究で提案された AI を活用し、本研究で新たに AIV として定義した。 AI は、 $OWCS$ を導入することによるアクセシビリティを改善するポテンシャルを示すものであるが、本研究では各 OD でのアクセシビリティ向上度 (AI_{ij}) と事業性試算の際に中間生成物として生成される OD 間予約成功数 (N_{ij}) とを乗じて対象エリアでのアクセシビリティ改善値 AIV を活用することとした。

ケーススタディでは、 $NP1$ と $NP2$ の 2 つのステーションネットワークを用いた評価を行った。 $NP2$ は、 $NP1$ よりもアクセシビリティを改善するポテンシャルを示す AI は高いが、アクセシビリティ向上度と、 OD 間予約成功率から算出した AIV で比較した場合、 $NP1$ の方が高い値を示すことを明らかにした。そのような結果になった理由の 1 つは、 $NP1$ のシミュレーションケースでは高い AI_{ij} を持った N_{ij} が多いことであることが分かった。

事業性評価結果と既存公共交通との $OWCS$ との連携性を評価するアクセシビリティ改善度とを見比べながら $OWCS$ 事業者が様々なパターンのシミュレーション結果をパレート最適の考え方で整理することで、状況に合わせて選択できることを示し、実都市で利用できる評価手法としての利用可能性を示した。

第6章 参考文献

- 1) MILT (2011), Person Trip Survey master data on Chukyo area
- 2) 鈴木聡史, 鹿山新介, 川野辺健志, 楠本純, 加藤浩徳. "我が国の大都市圏におけるカーシェアリングをめぐる関係主体間の連携可能性.", 社会技術研究論文集, Vol.8, pp.37-52. 2011
- 3) 国土交通省 : アクセシビリティ指標活用の手引き、
<http://www.nilim.go.jp/lab/jcg/index.files/accessibility.pdf> (最終閲覧 : 2020 年 11 月 29 日)

第 7 章 サービス運用段階における評価手法適用

7-1 はじめに

本章では2章で提案したステーションタイプ OWCS の公共交通連携性を考慮した実用的な評価フレームワークを用いた運用段階でのケーススタディを行う。ケーススタディは、東京湾岸部で OWCS が提供されているエリアを対象とし評価フレームワークの妥当性を検証することを目的とした。

図 7-1 にサービス運用段階における、本章での実施範囲を示す。サービス運用段階の評価フローの内、IV 改善案作成においては、TCPH（Times CarPlus Ha:mo）において EV の航続距離の短さによる機会損失が生じていることから、充電状態の低下による機会損失を防ぐため現状の充電器なしステーションに対してコスト制約の中、充電器を追加する改善案を対象とする。ステーションネットワーク案を改良せず、既存ステーションネットワーク上にある充電器なしステーションに対して充電器を追加することを対象とする。図 7-1 の iii 導入リソースのみ変更する案のため VI 改善プラン決定の⑭リソース設定から⑯事業性評価までのケーススタディが本章の中心になる。

7-2 においては、改善案作成の背景について説明する。7-3 においては、効率的にシミュレーションを実施するため、2段階シミュレーションを用いてステーション候補を絞り込みながら評価し、候補を探索する手法を説明する。7-4 において、OWCS 観測データが存在する東京を対象とし、充電器を追加するステーションを探索したケーススタディ結果を示す。7-5 では、結論と今後の課題について述べる。

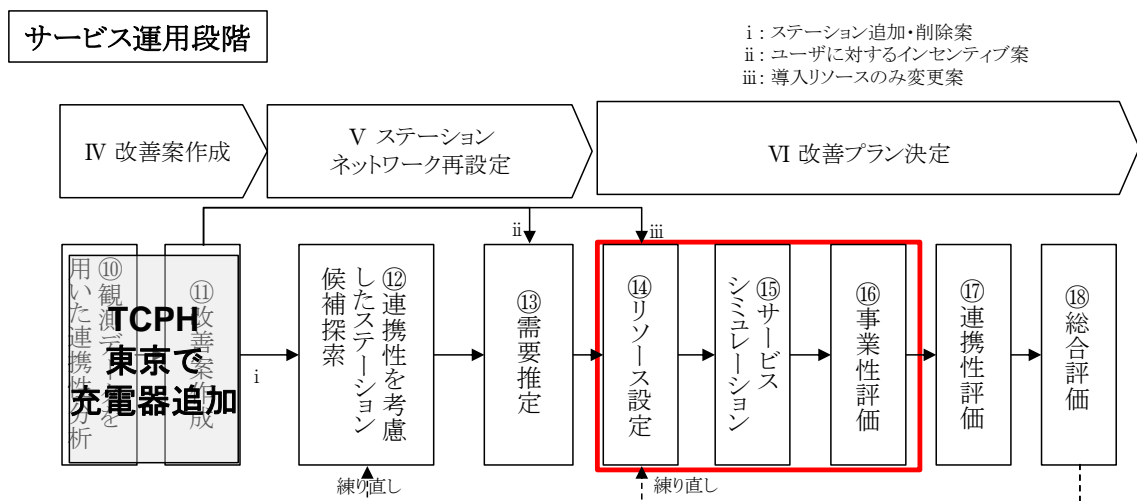


図 7-1 サービス運用段階における本章での実施範囲

7-2 改善案作成

OWCS で EV を活用する場合、車両貸出向け SoC (State-of-Charge) 閾値が設けられる。閾値より小さな SoC の値を持った車両は、貸し出されることはなく、本研究ではその状態を“Low SoC”と定義する。OWCS 事業者は Low SoC によるサービス提供の機会損失を防ぐため、できるだけ多くの充電器を準備する必要がある。しかし、1-1-1 で述べたように日本では公共充電器ステーションネットワークの整備が不十分なため、欧州などのように比較的容易に準備できる環境にない。図 1-4 に示したように Times Car Plus x Ha:mo (TCPH) では、合計 136 ステーションの内、事業性などを踏まえて約 6 割のステーションには充電器がない状態でサービスを提供していた (2017 年 6 月時点)。

もし LowSoC の車両が充電器なしステーションに停車し続けると、サービス車両として利用できない状態であり続ける。図 7-2 に TCPH のある車両の一か月間の SoC 状態を示す。1 月 17 日は長い期間 low SoC になっている期間が存在する。当日は、TCPH スタッフによる配回送によって充電器ありステーションに移動され、充電後同日に貸出可能な状態になっていたと思われる。1 月 26 日~28 日の 3 日間ではスタッフによる車両の再配置がなく、貸し出せない状態が続いていることがわかる。

LowSoC によって引き起こされる機会損失は、OWCS 事業者が十分に潤沢な配回送リソースを持っている場合は生じない。しかし、実際には十分なリソースが存在しない。それゆえ、充電器を追加するステーションを探索することは大変重要である。

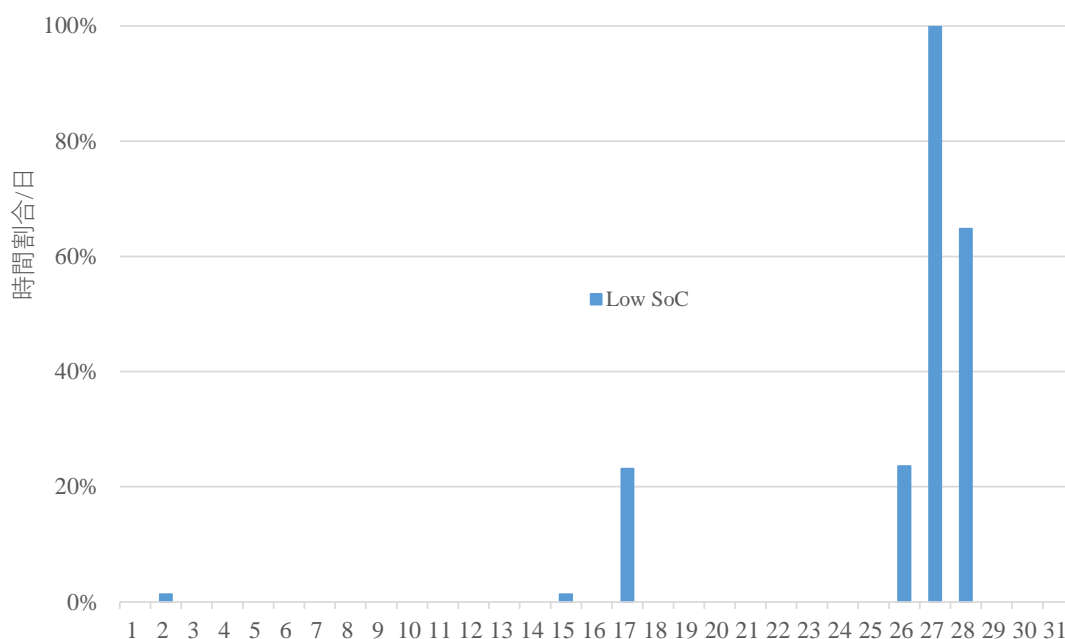


図 7-2 1 台のサービス車両における SoC 変化 (2017 年 1 月の一か月間)

実際に充電器を追加するために、OWCS 事業者は、追加する候補ステーションを決め、充電器の建設プランなどをステーションに関係する複数のステークホルダと調整が必要になる。調整した後、充電器を追加する候補ステーションは何度も変わる可能性があり、調整結果を素早く考慮して異なるステーションプランを決定する必要がある。

運用中のサービスに充電器を追加するため、事業者は複数のステークホルダと調整するだけでなく、電気工事に許される時間も考慮して計画を進めていく必要がある。それゆえ、実用的な視点で、充電器を追加する最適なステーションを効率的に探索する手法は大変有用である。

サービス事業者は、改善案決定の際には、実際のところ直感的な手法を用いていることが散見される。例えば、事業者が既存のステーションネットワークの中で充電器を追加する 5 つのステーションを決定する必要がある場合、実際のトリップ量の多いステーションを上位から 5 つ選ぶことを考える。事業者はいつもすぐに決定することが必要でかつ少し複雑な数値計算を実施するための十分なリソースをもっていないため、このように直感的に貪欲法が使われる傾向にある。予算制約のある中、Low SoC による機会損失をできるだけ防ぐために、充電器を追加する最適なステーション選択を題材にケーススタディを実施する。ケーススタディでは、東京での観測データを用いて充電器を追加するステーションを探索する。また、提案手法による結果の妥当性を検証するため、貪欲法と比較し評価することとした。本検討では、1 つのステーションネットワークに対して適用することとする。

7-3 探索手法

OWCS に利用される EV は、充電キャパシティが小さいことと、短いトリップを繰り返すことから LowSoC にならないように充電することが必要である。充電器を追加するステーション候補を評価する指標として「機会損失時間割合」を用いることとする。この指標は、ある一定期間における全ての車両の Low SoC 時間の割合を測るものである。Low SoC によって生じる機会損失が減ることは、ユーザ需要とのマッチング機会が増加することを意味する。目的関数は、機会損失時間割合を最小限とし、予算内での充電器追加ステーション数を制約条件とする。

今回実施する探索手法を図 7-3 に示す。今回採用した探索手法は OWCS 事業者が利用可能なシンプルかつ実用的な手法である。既存ステーションネットワークに対して充電器を追加するステーションを決定するために、状態遷移シミュレータを用いたシミュレーションを行う。しかし、シミュレーションケースが莫大になると解をすべて算出することは非現実的であるためシミュレーションケース数には注意が必要である。採用した探索手法では、

段階的に候補ステーションを削減していく。Ⅰ 対象ステーション絞り込みでは、現実的なシナリオの元で候補ステーションを絞り込む。現実的なシナリオとしては、ステークホルダの協力が得られることができそうなステーションに絞り込むなどである。Ⅱ シミュレーションを用いた評価では、2段階に分けたシミュレーションを実施し、段階的に候補を絞り込み、機会損失時間割合を用いて最終的な候補の組み合わせを抽出する。

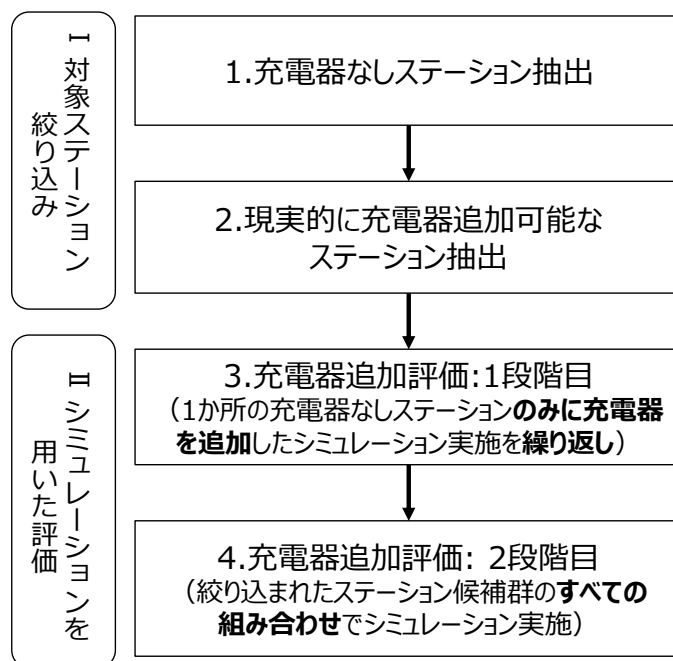


図 7-3 探索手法全体像

7-3-1 Ⅰ 対象ステーション絞り込み方法

充電器なしステーションが既存のステーションネットワークから抽出し、現実的な制約条件によって候補数を削減する。例えば、いくつかの候補ステーションは地方自治体から補助金を得る可能性がある、またいくつかの候補は私的な所有者からのサポートを得る可能性があるなどの場合は、挙げた候補以外を対象外とすることなどが考えられる。

OWCS を先んじて導入しているヨーロッパにおいては、公共オンストリートパーキングの活用が一般的である。しかし、日本では私企業が保有するオフストリートパーキングを活用することが中心になるため、調整が可能かなどの実現可能な候補ステーションに絞り込むことは、導入結果を活用しステークホルダと調整していくためには大変重要である。

7-3-2 II シミュレーションを用いた評価方法

シミュレーションには、需要情報、車両/充電器ありなしステーションなどのリソース情報や配回送ルールなどがインプットされ、シミュレーション結果を様々な指標で評価する。毎日の利用傾向は OWCS として先行的にサービスを展開してきている CAR2GO[®]では、1日の時間帯別平均トリップパターン数で分析されている。図 7-4 は、1日の時間帯別平均トリップパターンの例を示したものである。毎日の利用は、平均パターンよりもばらつきがあることがわかっているため、ポアソン分布に従って平均トリップパターンからユーザ 1 人 1 人の需要情報を作成する。

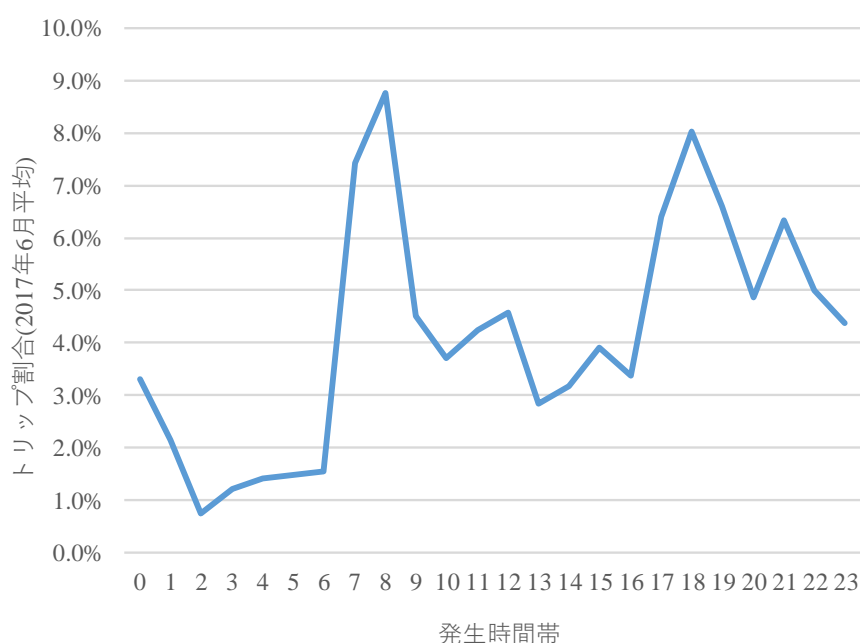


図 7-4 月平均トリップパターン例 (2017 年 7 月 : TCPH)

結果を評価するため 6-2-2 のサービス計画段階と同様に、シミュレーション結果を評価するためには、時系列に連続に存在する数日間の需要データ (例えば 100 日など) を用いることが望ましい。OWCS は片道利用が可能であるため、車両は明日同じ場所にあることは保証されていない等、供給側の状態は常に異なる。そのため、ある 1 日の状態だけで事業性や連携性を評価しては、確度の高い評価結果にはならないためである。

シミュレーションで全数を探索するためには、I 対象ステーション絞り込みで選択された候補ステーションを用いて、合計 2ⁿ ケースのシミュレーションを実施する必要がある。”2”はそのステーションに充電器が設置されているか否かの 2 ケースを示し、”n”はステーション

ンの組み合わせ数を示している。これらの組み合わせ数のシミュレーションを実施し、OWCS における充電器追加の効果について評価を行う。

シミュレーションを実施する組み合わせ数が莫大にならないように、“n”の数の範囲に特に注意を払う必要がある。効率的に評価を実施するために、今回段階的に徐々に組み合わせ数を減らしてゆく、シミュレーションを2段階に分けて実施する手法を実施する。

シミュレーションケースを減らすため、充電器を追加するステーションを1つずつ変化させ、効果の大きいいくつかのステーションを選択する。その後、選択されたステーションの組み合わせの効果を確認するアプローチを採用する。

具体的には、シミュレータ上にそれぞれのステーション候補に対して充電器を追加し、シミュレーションする。1つのステーションに充電器を追加することによって全体の機会損失時間割合に対する影響を評価し、評価結果に対して降順にステーション候補を選択していく。次に、1段階目のシミュレーションで選択された候補ステーション群のすべての組み合わせに対する2段階目のシミュレーションとして実施し、大きな効果が見込まれるステーションの組み合わせを探索する。

7-4 東京でのケーススタディ

図 1-4 における東京でのステーションネットワークに対して、図 7-4 に示す需要を用いて提案した手法を用いたケーススタディを実施する。

ケーススタディでは、充電器の配置によって需要量や需要パターンは変わらないものとする。ユーザは OWCS のステーションに充電器の有無によって短期的には行動を変えないと想定したためである。当時 85 の充電器なしステーション（全体で 136 ステーション）と 100 台の車両が貸し出されていた。ケーススタディにおいては、事業者は予算に限りがあり、最大 10 のステーションに対して充電器を追加できることとした。もし、効率的に導入できる場合は計画された予算より少ない充電器追加ステーション数であってもよいこととする。

7-4-1 対象ステーション絞り込み結果

I 対象ステーション絞り込みでは、現実的な視点で候補ステーション数を削減する。候補ステーション削減を検討するために必要な条件の1つとして、OWCS と公共交通とを組み合わせた利用によりインターモーダルトリップ環境を改善することができるか否かがある。もし改善できる可能性があるのであれば、充電器建設に対して補助金のようなサポートを得ることができる可能性があるためである。インターモーダルトリップが期待されてい

る場合、OWCS 事業者は公共交通駅の近くだけではなく、他の公共交通機関へのアクセス/イグレス手段における利用を促進するために公共交通駅から離れた場所においても建設が必要である。

そこで、3章で説明した既存公共交通との連携視点で候補ステーションを評価する手法を用いて、ステーションタイプ OWCS の想定されるユースケース（図 1-6）に適したステーションを探索し、候補を絞り込むこととした。絞り込まれた 35 のステーション候補を図 7-5 に示す。選択されたステーション候補群は、公共交通駅から遠いものだけではなく、公共交通駅や既存 OWCS ステーションネットワークとの共起性の高いステーションが選択されていることを確認した。

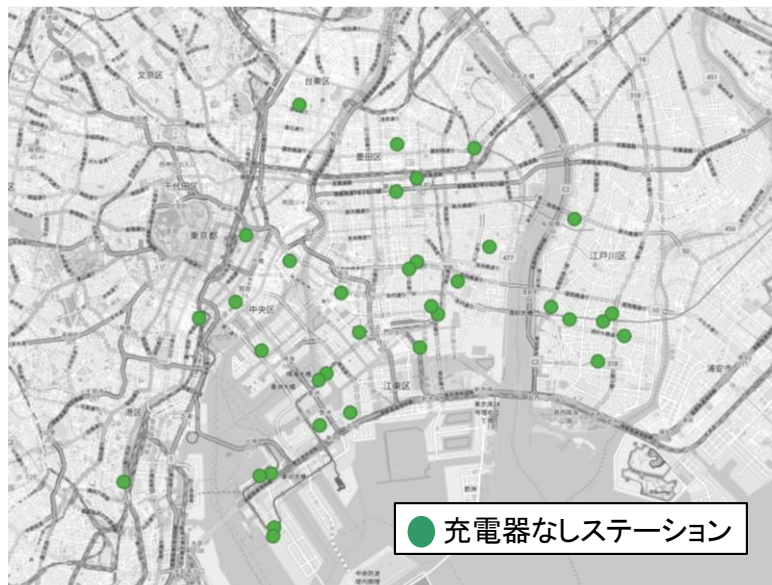


図 7-5 候補ステーション数削減結果（85→35）

7-4-2 II シミュレーションを用いた評価でのシミュレーション条件

車両を貸し出す下限値である車両貸出 SoC は 70%とし、その他 SoC に関する値は表 7-1 にて示す。サービス車両は 60km/h で走ることができ、充電器ありステーションにおいて 1 時間当たり全体の 20.0%が充電可能である。もし充電器なしステーションにおいて車両が停車し続ける場合、1 時間当たり 0.2%が放電する。

表 7-1 SoC に関する変数




パラメータ	SoC 消費	SoC 充電	SoC 放電
			
値	1.6% / km	20.0% / h	0.2% / h

図 7-6 において配回送ルールを示す。実観測データを元にステーション毎に設定された適切な配車数から逸脱した場合に配回送は実行される。それゆえ、ステーションに存在する車両の数が設定した適切数を上回る場合には、車両はそのステーションから他のステーションに配回送されることになる。同様に、もし車両の数が設定した適切数を下回る場合には、車両は他のステーションから対象ステーションへと配回送されてくる。配回送を実施するリソースは 2 名 1 組のスタッフが 2 ペアで構成されている。この配回送ルールは SoC 状態を考慮した移動はなされない。

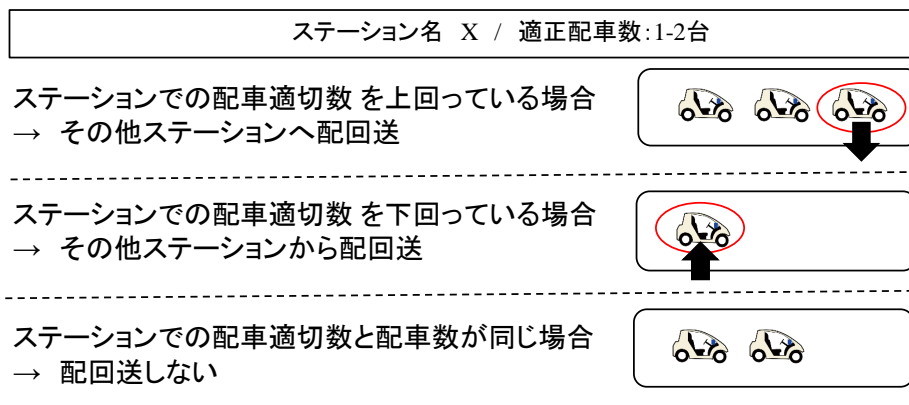


図 7-6 配回送ルール

7-4-3 1 段階目のシミュレーション結果

35 の充電器なしステーションに対して 1 つのステーションにのみ充電器を追加してシミュレーションすることを繰り返し、全体の機会損失時間割合が低くなるステーションを抽出する。本ケーススタディでは予算制約のため最大 10 のステーションに充電器を追加できるとして全体の機会損失時間割合が低くなる 10 のステーション候補を抽出する。表 7-2 は 1 段階目のシミュレーション結果を示す。また図 7-7 には上位 15 ステーションの位置関係を示す。

表 7-2 1段階目のシミュレーション結果

順位	ステーション名	機会損失時間 割合[%]	実トリップ 実績順位	駐車枠数
1	東京駅前	29.18	3	4
2	西葛西南口	29.48	11	3
3	江東橋第 2 1	29.49	23	2
4	まねきの湯第 3	29.83	18	3
5	ポート千石	30.11	15	3
6	新砂 1 丁目	30.21	20	4
7	品川プリンスホテル	30.24	2	5
8	東劇	30.26	9	1
9	横川 2 丁目	30.43	5	3
10	東葛西第 1 1	30.52	19	2
11	台場フロンティア	30.58	1	5
12	南砂第 7	30.72	13	2
13	塩浜 1 丁目	30.80	8	3
14	東陽第 1 0	31.39	21	2
15	西葛西	31.52	12	1
		⋮		
		⋮		
		⋮		
充電器追加なし		32.36		-



図 7-7 1段階目のシミュレーション結果上位 15 ステーションの場所

評価指標である機会損失時間割合は、充電器を東京駅前ステーションに追加した場合が最も低い値を示している。この場合、機会損失時間割合は、充電器を追加しない場合と比較した約 2%が改善していることがわかる。本シミュレーションでは、100 台の車両が導入され 100 日間のシミュレーションを実施しているため、1%の改善は、100 日間の内 Low SoC

のため 1 台の車両が 1 日中貸し出せない状態から、貸し出せる状態に改善されたことを意味する。東京駅前ステーションは実際のトリップ量が最も多いわけでもなく、駐車場枠数が最も多いわけでもないことが特筆すべきことである。実トリップ実績順位はそれぞれのステーションに対する発生トリップの順位を示しており、最も実績順位が高いステーションは台場フロンティアであり、機会損失時間割合でみると 11 番目の結果になっていることがわかる。この観測結果から、全体の機会損失時間割合は単に実トリップ数の多さや駐車枠数の多さとの関係性がないことがわかる。表 7-2 から上位 10 のステーション候補を選択し、2 段階目のシミュレーションに利用する候補ステーションとする。

7-4-4 2 段階目のシミュレーション結果

1 段階目のシミュレーションで選択した上位 10 のステーション候補を用いて、合計 1024 (2^{10}) ケースのシミュレーションを実施した。図 7-8 において充電器追加ステーション数に対する機会損失時間割合分布を示す。

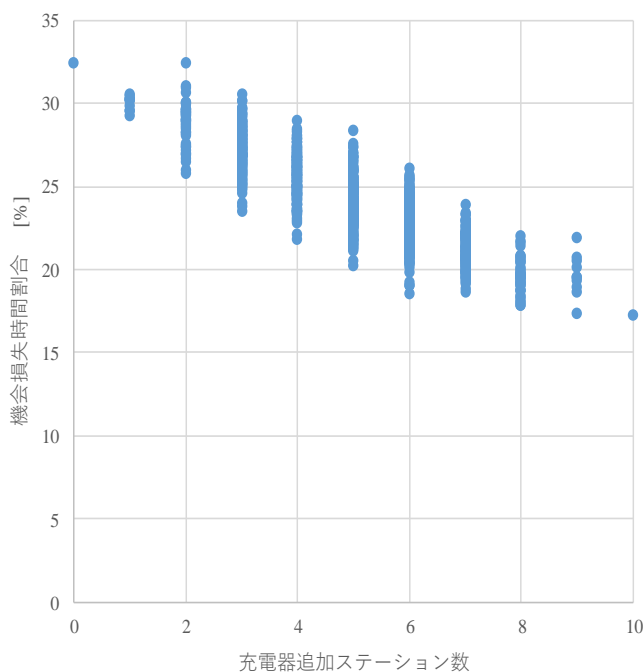


図 7-8 充電器追加ステーション数に対する機会損失時間割合分布

追加ステーション数を増加させていくと基本的には減少していく傾向であることがわかる。また、各追加ステーション数において機会損失時間割合は 2~9%の幅を持っていることがわかる。30%以上の機会損失時間割合から見ると、追加ステーション数が 1~3 つの場合に

において実現されていることがわかり、これらの結果は、ステーションの組み合わせによって結果が異なることを示している。

しかし、充電器追加ステーション数を増加しても機会損失時間が下がっていない場合がいくつか見られる。例えば、追加ステーション数が2の場合で最も機会損失時間の値が大きなケースは充電器を追加するステーションが0の場合よりも悪化していることがわかる。この2つのケースを比較すると、Low SoC による失敗割合が充電器を追加しない場合よりも1.3%程度高くなっていることがわかった。この理由として本研究で用いている配回送は、充電状態を考慮はせず、ステーション毎に設定した適正配車数範囲を元を実施を行っている。そのことより、もしLowSoCの状態で充電器無ステーションに車両があった場合、充電器無ステーションで適正台数の範囲であれば配回送は実行されないため、LowSoCの状態の時間が長く存在していたためだと考えられる。

図7-8において、それぞれの充電器追加ステーション数で、機会損失時間割合が最も小さなケースでのステーションの組み合わせを表7-3に示す。

表 7-3 充電器追加ステーション数に対する機会損失時間割合

		充電器追加ステーション数										選択回数
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
ステーション名 (駐車数)	東京駅前(4)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
	台場フロンティア(5)	X	X	X	X	X	X	X	X			8
	まねきの湯第3(5)	X	X	X	X	X	X	X				7
	東劇ビル(1)	X	X	X	X		X			X		6
	西葛西(1)	X	X	X	X	X	X					5
	東葛西第1 1(2)	X	X	X	X			X				5
	横川2丁目(3)	X	X	X		X						4
	南砂第7(2)	X	X			X			X			4
	ポート千石(3)	X	X		X							3
	中葛西5丁目(1)	X		X								2

”X”はそれぞれのケースで選択されたステーションであることを示している。東京駅前ステーションはすべてのケースにおいて選択され、II シミュレーションを用いた評価における1段階目と2段階目のシミュレーションの双方で、最も重要なステーションであることが分かった。東京駅前ステーションは、今回抽出されているステーションとの行き来が多いと想定され、そのため重要なステーションとして抽出されたものと思われる。また、2段階目のシミュレーションにおいて選択されたステーションの組み合わせは、充電器が追加されたステーションの数に依存して変化していることがわかる。例えば、2つのステーションに対して充電器を追加する場合、東京駅前ステーションと東劇ステーションが選択されて

いる。しかし、3つのステーションに充電器を追加する場合、機会損失時間割合が最も小さなケースでは、東劇ステーションは選択されていない。その代わりに新砂1丁目とまねきの湯3ステーションが、新たに充電器を追加するステーションとして選択されている。ステーション選択の違いは、充電器を持っているステーション間の相互作用によって引き起こされているものと思われる。

図 7-9 に、機会損失時間割合と充電器が追加されたステーションの数に合わせて累積改善度がどのように変化しているかを示している。累積改善度は充電器を全く追加していない場合と10のステーションに充電器を追加した場合との差を100%としたものである。新たに追加できる充電器に対する予算の限界が与えられ、累積改善度が90%を目標とした場合、6又は7つのステーションに充電器を追加することをシミュレーション結果が指し示している。また、もし改善度が80%を目標とするなら、5つのステーションに対して充電器を追加することを示している。

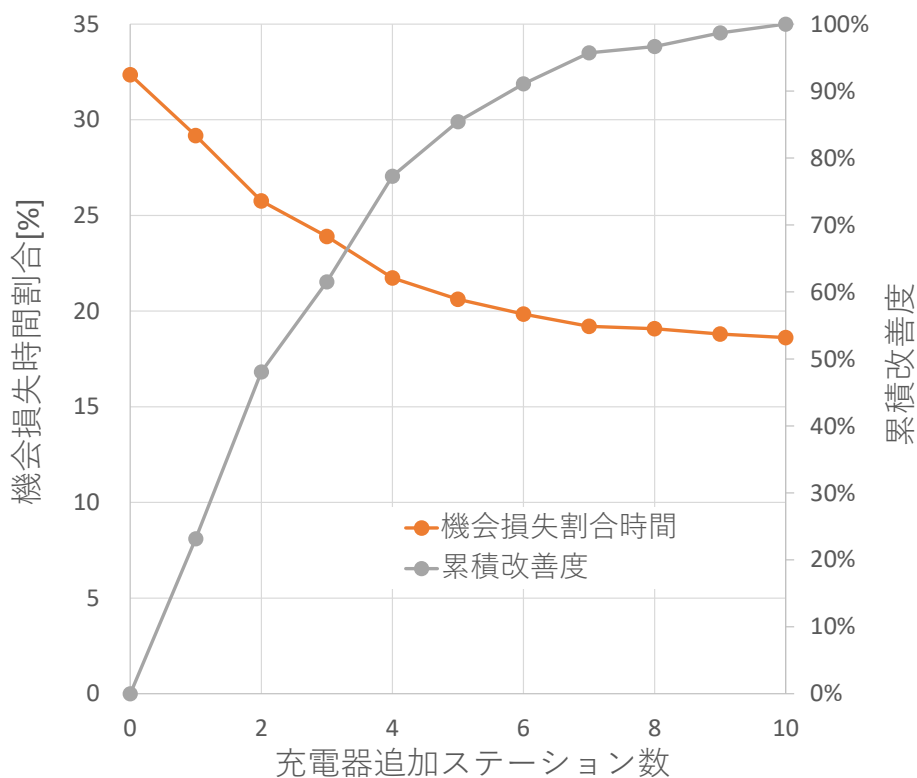


図 7-9 機会損失時間割合と累積改善度

加えて、提案した手法を用いた結果の妥当性を検証するため、直感的な手法と比較することとする。ここでの直感的な手法というのは、表 7-2 に示した実トリップ実績順位で上位10ステーションを候補ステーションとして抽出する、いわゆる貪欲法で、台場フロンティア、品川プリンスホテルなどが選択されている。

提案手法と貪欲法による機会損失時間割合の比較した結果を図 7-10 に示す。提案手法によって算出された機会損失時間割合は、貪欲法と比較して最大で 3%低い結果となっていることが確認できる。図 7-11 に示すように、Low SoC による失敗率とサービス成功率も、提案手法の方がよい値を示していることがわかる。貪欲法と比較して、Low SoC による失敗率で 2 つのステーションに充電器を追加する場合で 3%程度、サービス成功率においても 4%程度の改善度があることがわかる。これらの 3 つの評価指標による比較により、提案手法が実用可能性のある手法であることを示した。

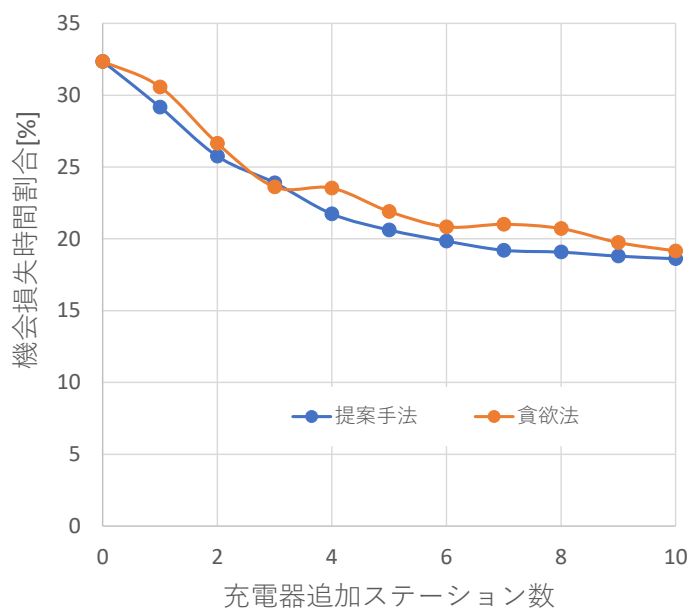


図 7-10 提案手法と貪欲法による機会損失時間割合の比較

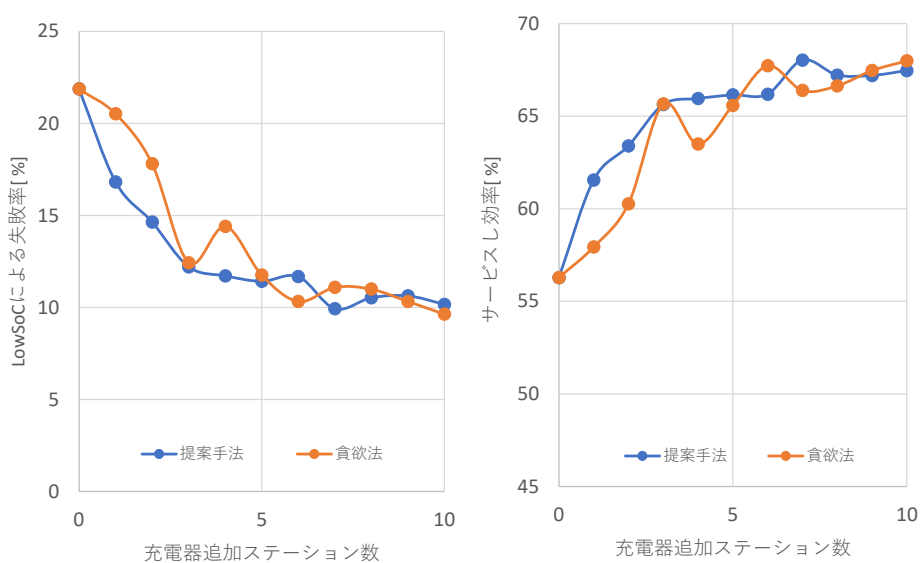


図 7-11 Low SoC による失敗率とサービス成功率

加えて、4つのステーションに充電器を追加する場合において、実施すべき全数シミュレーション結果と提案した手法でのシミュレーション結果のばらつきを確認し、その結果を図7-12に示す。全シミュレーション結果とはこの場合35のステーション候補から4つを選択してすべての組み合わせである52,360ケースについてシミュレーションした結果を示すものである。全シミュレーション結果は、最大12%の幅を持ち、提案した手法においては約8%の幅を持っていることがわかる。提案手法での平均値は全シミュレーション結果の平均値よりも低い値を示している。双方のケースの最小値はとても似通っている。これらの結果は、提案した手法が効果的にステーション候補数を削減できていることを支援するものである。

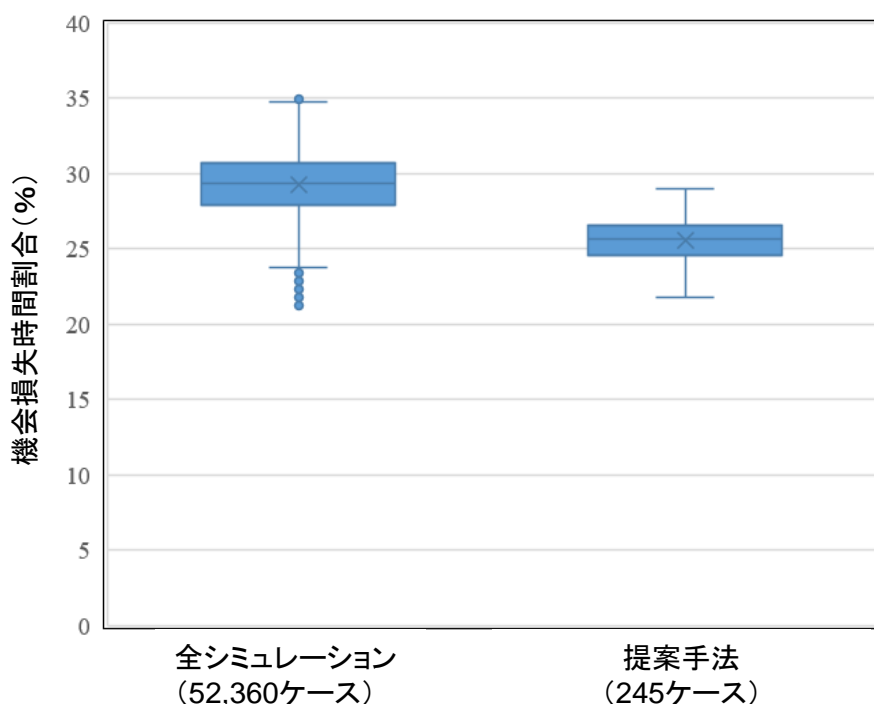


図7-12 4つのステーションに充電器を追加した場合の機会損失時間割合比較

7-5 結論と今後の予定

本章では提案した評価フレームワークを用いた運用段階でのケーススタディを行った。ケーススタディは、東京湾岸部でOWCSが提供されているエリアを対象とし評価フレームワークの妥当性を検証することを目的とした。

ケーススタディとして、東京での観測データを用いて充電器が追加されるべき候補ステ

ーションを探索した。導入できる充電器に対する予算制約に対して、もし10すべてのステーションに充電器を導入することで得られる削減効果を100%とした場合、90%に目標を変えた場合、10ではなく6-7程度のステーションに充電器を追加することで実現できることをシミュレーション結果で示すことができた。同様に80%に目標を変えた場合は、5つのステーションに充電器を追加することで実現できることも示した。

また採用した手法による結果の妥当性を確認するため、実トリップ実績順位で上位10ステーションを候補ステーションとして抽出する貪欲法とも比較を行った。比較結果より、機会損失時間割合、LowSoCによる失敗率とサービス成功率は、提案手法の方が比較的良い値を示すことを確認した。

以上より、評価フレームワークを用いてOWCS事業者がどの充電器なしステーションに充電器を導入すべきかを効率的に探索でき、また選択できることを示し、実用可能性を示せた。

本ケーススタディではステーションネットワークは固定されていたが、見積もられた推定需要があるならばネットワークが変化したとしても本手法を適用することは可能である。

加えて、4つのステーションに充電器を加えた場合の組み合わせを考慮した全シミュレーションと提案手法によるシミュレーション結果のばらつきを確認し、平均値は全シミュレーションの場合よりも低い値を示し、最小値は双方のケースはほぼ同じ値を示していることを確認した。これらの結果は、提案した手法が効果的にシミュレーションケースを削減できていることを支援している。

今後本研究の拡張の方向性として、提案した手法のように充電器を追加することで機会損失時間割合を減らすだけでなく、LowSoCを防ぐための配回送ルールとの組み合わせを考慮した手法を検討することが考えられる。

第7章の参考文献

- 1) Stefan, S, ed., “Empirical Data Analysis of Free-Floating Carsharing Systems”, in proceedings of TRB Annual Meeting (Washington DC, 2014)

第 8 章 結論

8-1 本研究の結論

本研究は、ステーションタイプ OWCS を対象として、事業性/公共交通連携性を考慮した総合的かつ実用的なワンウェイカーシェアリング評価手法について提案し、ケーススタディを通じて妥当性検証を実施してきた。ステーションタイプ OWCS は、サービスの持つ特性により既存公共交通との連携が期待されていること、今までのインフラヘビーなサービスとは異なりサービス導入・改善が比較的容易であり、PDCA サイクルが短く実行可能な改善解を即座に出すことが求められることが特徴である。OWCS を活用したインターモーダル交通環境の実現とマルチモーダル交通環境成熟のためには、地方自治体などを含むステークホルダと議論でき合意できるような定量的かつ即時性のある実用的な手法が必要である。既往研究を整理しても実用的な視点で OWCS のサービス計画・運用段階で総合的な評価手法が見当たらないため、本研究では事業性や既存公共交通との連携性も踏まえた実用的かつ総合的な評価手法を提案・開発を行うことを目的とする。本研究の新規性は、**図 8-1** で示す、事業性や既存公共交通との連携性も踏まえて、実用的かつ総合的に評価できる評価フレームワークと、評価フレームワークに不可欠な 3 つの手法を開発したことである。加えて、ケーススタディを通じて、実サービスの観測データを用いた評価手法の適用を通して、OWCS がマルチモーダル交通環境の更なる成熟に寄与できる可能性を示していることより、大変意義のある研究である。

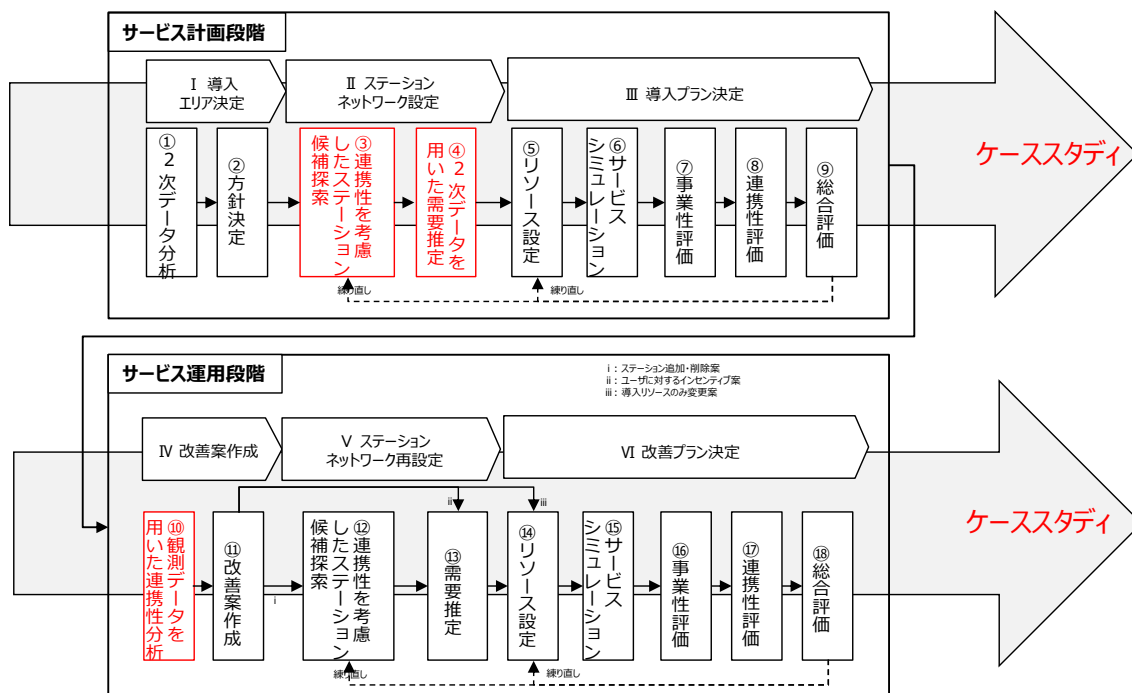


図 8-1 本研究の新規性

以下では章別に、本研究の結論を述べる。

第2章では、サービス事業者視点で、実用的かつ総合的な評価手法とするために4つの機能要件を整理した。1つ目は、OWCSと既存公共交通とが連携した利用を目指した計画作成・評価が可能であること、2つ目は、実運用を想定し評価結果は最適解を1つ提示するのではなく、複数提示しサービス事業者が選択できることである。3つ目は、既存公共交通との連携性評価を実施するため、ステーションネットワーク評価手法といった1つの機能だけでなく、評価手法全体を総合的に評価できることである。最後は、本提案手法がOWCSを未導入地域での計画段階だけでなく、導入後の運用段階でも同様に適応できることである。整理した4要件を踏まえた評価フレームワークを実現するための、構成要素と評価フローを開発した。サービス計画段階においては、導入エリア決定/ステーションネットワーク設定/導入プラン決定から構成され、サービス運用段階も同様に改善案作成/ステーションネットワーク再設定改良/改善プラン決定の3つのフェーズから構成される。サービス計画・運用段階で活用可能な総合的な評価手法を構成するため、下記の3つの手法を新たに開発した。OWCS向けステーション評価手法の開発、2次データを利用したOWCSの時空間的需要偏在推計手法の開発、及びOWCS観測データ向け公共交通連携利用判別モデルの開発である。

第3章では、OWCSを導入することにより既存公共交通との連携性が向上するかを踏まえた、OWCS向けステーション探索手法の開発と検証を行った。本提案手法は、マルチモーダル検索結果を用いて、ステーション候補の抽出において活用する。具体的には、既存公共交通を用いた場合と比べて、OWCSを活用した場合、移動時間が明らかに小さい等の場所をステーション候補から評価して抽出する。東京エリアで適用し、観測データと比較し想定ユースケースにあったステーション候補が抽出されていることを確認した。また、本手法はサービス計画段階だけでなく運用段階にも適用できる手法である。

第4章では、2次データを利用したOWCSの時空間的需要偏在推定手法の開発と検証を行った。実用的な手法とするためには、2次データで算出可能、合意形成が容易、短時間で算出可能であること、及び時間的空間的な需要の偏在が獲得できることが必要である。PT情報と選好意識調査によって収集されたサンプルデータから作成された選択モデルを用いたモデルベースのアプローチが一般的であるが、算出までの期間が長いこと、PT調査で用いられているゾーンとOWCSで潜在需要が存在していると想定しているゾーン規模が揃っていないことが想定されるため、2次データを用いて即座に実行できるデータオリエンティッドな手法を新たに開発した。開発した手法を東京で適用し、観測データを用いて時間帯別トリップ比率は比較的一致していること、加えてエリア毎に少し傾向が異なることを確認し、妥当性を検証した。

第5章では、OWCS観測データ向け公共交通連携利用判別モデルの開発を行った。公共

交通駅、OWCS ステーション、及び登録住所の関係を踏まえた OWCS 観測データ向けトリップ種別を定義し、公共交通連携利用判別モデルを提案した。豊田市の観測データを用いて、アクセス・イグレス利用による利用増大を期待して新規に住宅街近くのステーションを導入したが、公共交通補完に多く利用されていることが本手法を活用することで明らかにした。また東京湾岸部での観測データを用いて同様に分析し、想定利用シーンとして期待していたアクセス/イグレスではなくダイレクトが多いことが分かった。その理由の1つとして、OWCS と公共交通の双方を利用することで支払い費用が高くなることが考えられ、パークアンドライドで用いられているような割引制度などの導入を提案した。マルチモーダル環境を成熟させていくために、OWCS 事業者だけではなく、交通システムや街づくりにかかわる市民と行政とで議論していく必要があり、公共交通連携利用判別モデルと観測データを用いて人の行動をどのように変えていくのかの議論の素材として本手法を活用できると考えられる。

第6章、第7章では、本論文で提案した実用的かつ総合的な評価手法を用いてサービス計画・運用段階におけるケーススタディを実施した。

第6章では、サービス計画段階におけるケーススタディを実施した。サービス計画段階において、既存公共交通と連携した OWCS 利用が期待される複数のステーションネットワーク案と駐車枠数等の複数リソース案の組み合わせの中から候補を抽出することを題材としてケーススタディを実施した。豊田市中心部を対象とし、事業性指標とアクセシビリティ改善度を算出し、パレート最適の考え方を導入してシミュレーション結果を整理した。その後、OWCS 事業者視点で閾値を設けることで候補を絞ることができ、抽出された候補の中から事業者が複数案を選択できることを示した。

第7章では、サービス運用段階において、提案した評価手法を用いたケーススタディを実施した。運用段階において、EV の航続距離の長さによる機会損失が生じていることを確認し、充電状態の低下による機会損失を防ぐため現状の充電器なしステーションに対してコスト制約の中、効率的な追加充電器探索を題材としてケーススタディを実施した。調査結果を反映してすぐに代替案を作成できるように状態遷移シミュレータを活用した探索を実施し、複数案が提示されることを確認した。

以上より、事業性だけではなく OWCS がインターモーダル交通環境の実現やマルチモーダル交通社会の更なる発展に向けた既存公共交通との連携性を加え、サービス事業者が実用的に利用可能な総合的な評価手法を提案した。また、ケーススタディを通じてサービス事業者がアクションをする際に優先度を決めて選択できる手法であることを確認し実用可能性について確認した。

8-2 今後の課題

本研究を通じて更なるマルチモーダル環境の成熟に向け、MaaS (Mobility as a Service) や自動運転技術が進展している中、今後のな研究方向性について検討し、下記4つの内容を今後の課題として整理する。

① 提案した手法が実用に耐えうる評価手法であるか否かの検証

本研究では OWCS 評価フレームワークに必要な新たな評価手法の開発と、提案手法を用いたケーススタディを通して実用可能性について検証を行った。今後サービス事業者として提案手法が実用に耐えうる評価手法か、ステークホルダとも議論ができ合意形成をする場合に利用可能か否かの検証が必要である。

具体的には実際に導入検討しているエリアにおいて、計画・運用段階で提案した評価フレームワークを活用し検証する。運用開始後も継続的に観測データを用いて検証を進めることである。加えて、評価指標として追加すべきものがないかなどを検証していく必要があると考えている。

② 真の目的地を踏まえた公共交通連携利用判別モデルの改良

現サービスは OWCS の利用開始から利用完了までのデータは記録されているが、それ以外のトリップチェーンに関する情報については記録されていない。そのため、本研究では真の目的地を把握できないため到着地側ステーションの近くに目的地がある、又は公共交通駅近くなれば公共交通を使って最終目的地まで移動するという仮定でモデルを構築している。もし、マルチモーダル検索アプリのようなその他のアプリケーションと連携し、ユーザのトリップチェーンの情報を得ることができれば、精度よく判別することができるようになる。現在 MaaS の実証が様々な都市で行われてきていることより、そのような場所において現実的に今後取り組みができる可能性を秘めている。

③ 提案手法の他モビリティサービスへの拡張・適用

本提案手法はステーションタイプ OWCS に対して提案した手法であるが、評価するフレームワークはオンデマンドバスのような他モビリティサービスにおいても適用可能であると考えられる。なぜなら IT を活用したモビリティサービスは基幹公共交通ではなく、ステーションタイプ OWCS と同様に基幹公共交通との連携性を高めることが期待されているサービスであるためである。例えば、ステーション探索手法は、タクシーに応用するのであれば本研究で扱ったステーション候補をタクシースタンド候補としたり、潜在顧客を探索する場合の地点情報としても活用したりすることが考えられる。また、オンデマンドバスであ

れば、バス停や臨時バス停場所作成に活用することが可能になると考えられる。

適用していくためには、それぞれのモビリティサービスの特徴を反映していく必要があることに注意する必要がある。例えば、オンデマンドバスであればキャパシティ、複数 OD を迂回することや、供給側が移動しながら需要と供給のマッチングをリアルタイムに実施することなどがあり、それらに合わせた改良が必要になる。

④ 既存公共交通と複数の新たなモビリティサービスを統合的に評価できる手法の検討

OWCS サービスと既存公共交通（電車・バス）との連携性について焦点を当てた研究を実施したが、MaaS が更に普及してくるとバイクシェア、DRT など新たなモビリティサービスなども踏まえた統合的に連携した評価手法について検討が必要である。上記③においては、既存の公共交通とその他の新たなモビリティサービスとの評価手法についての可能性を検討しているのみであり、本来であれば既存公共交通と複数のモビリティサービスを統合的に評価し、マルチモーダル交通環境の更なる充実に向けた評価手法として拡張していく必要がある。従来であれば、各サービス事業者が各サービス個別最適視点で評価をしてきている。しかし、今後交通手段全体を管理・評価しようとしてきている MaaS の世界観が広がってくると、各社のデータ流通等が実現されることが想定され、先んじた研究が必要であると思われる。また、その先にはモビリティサービスに活用する車両に、自動運転技術が導入されてくるとサービス間の垣根がなくなってくる。また、交通サービスだけではなく町全体でデータを管理・活用する流れもあり更に統合的に連携した評価手法について検討が必要になってくるであろう。その際には、複数事業者が関係してくるため、個人情報保護なども考慮したデータの流通の手法・分析手法なども重要になってくると思われる。

謝 辞

本研究を遂行することができたのは、数多くの方々からのご指導ならびにご支援をいただいたことに尽きます。その全ての方々に深く感謝の意を表します。本論文を書き上げるにあたって、多くの貴重な縁に恵まれた中で博士課程後期を過ごすことができたのは貴重な経験となりました。

京都大学大学院工学研究科宇野伸宏教授には、所属していたトヨタ IT 開発センターとの共同研究にて様々なご指摘をいただき、博士課程後期に入学し、学位論文に着手する時点より、指導教官として、広い心と幅広い見識に基づき、ご指導を賜りました。大変お忙しい中貴重なお時間を割いて面倒をみていただき、心から感謝いたします。誠にありがとうございます。ありがとうございました。

京都大学大学院工学研究科山田忠史教授、須崎 純一准教授にはお忙しい中、お時間をさいて論文の審査をお引き受け頂き、鋭い助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

本研究は、旧株式会社トヨタ IT 開発センターやトヨタ自動車株式会社の多くの方々に支えられ、実現・完成しました。吉岡顕主査には、業務を通じてこのようなすばらしい機会を与えていただいたこと感謝するとともに、その内容についても東京大学において教鞭をとっておられた知見や経験をもとに有益な助言をいただきました。京都大学大学院工学研究科 Jan Dirk SCHMOECKER 准教授、名古屋大学未来社会創造機構中村俊之特任准教授には、本研究の発展につながる議論や助言をいただきました。学位論文をとりまとめる機会を与えてくださった今井孝志コネクティッド技術統括部長をはじめとする旧トヨタ IT 開発センター、トヨタ自動車の皆様に心より感謝いたします。

また、多くの方々のご指導、ご支援のお蔭で本論文を取りまとめることができました。紙面の制約により、ここに記すことが出来なかった方々に深くお詫び申し上げるとともに、感謝の意を表します。

最後に、著者が博士課程後期で学ぶことを心から応援してくれた家族、両親に心から感謝します。これからも益々精進し、社会に貢献していく所存です。

桑原 昌広