

統合モビリティサービスの概念と 体系的分析手法の提案

藤垣 洋平¹・Giancarlo TRONCOSO PARADY²・高見 淳史³・原田 昇⁴

¹学生会員 東京大学大学院博士課程 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail: fujigaki@ut.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学大学院助教 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail: gtroncoso@ut.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学大学院准教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail: takami@ut.t.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail: nhara@ut.t.u-tokyo.ac.jp

本論文では、鉄道、バス、タクシー、DRTやカーシェアリング等の交通サービスを、一つのアカウントや窓口で一体的に決済できる料金体系と単一の検索・予約システムを通して利用者に提供する「統合モビリティサービス」(IMS)の概念を整理し、その分析のための枠組みを提案する。IMSの一種と位置付けられる“Mobility as a Service (MaaS)”は、既にフィンランドでサービスが開始されており、今後世界の多くの都市へ導入が進む可能性がある。IMSは、自家用車保有に代わる包括的な移動サービスとなり、交通行動や各交通手段の利用状況に大きな影響を与えるが、サービス供給者と利用者の相互作用を体系的に分析する手法については十分に議論がなされていない。そこで本論文では、IMSの分析の枠組みとしてMulti-Cycle Modelを提案し、計算例を提示する。

Key Words : *Integrated Mobility Service, Mobility as a Service (MaaS), public transportation, DRT, transportation system analysis*

1. はじめに

人々に移動手段を提供するモビリティサービスは、技術革新により近年急速な変化を遂げており、旧来の枠組みを超えた新しいサービスが次々に登場している。公共交通サービスとしては、ドア・ツー・ドア輸送と乗合を両立させるDRT (Demand Responsive Transport)型のサービスを、公共交通不便地域だけでなく都市部にも導入する動きが先進国の諸都市で進んでおり、既存の道路上の公共交通の関係性に影響を与えている。フィンランドでは都市型DRTであるKutsuplus¹⁾の暫定運用が2012年から2015年まで実施され、Uber Pool²⁾は北米の複数の都市で乗合のドア・ツー・ドア輸送サービスを提供している。カーシェアリングサービスも国内外で急速に普及しており³⁾、自家用車を保有せず使いたい時に借りるという選択肢を提供している。

一方で利用者側でも、自家用車の保有と運転に頼らないライフスタイルのニーズは高まっている。日本をはじめ

多くの国で高齢化が進んでおり、自家用車の運転が困難になる高齢者が増加することが予想される。また、運転免許証や自家用車を保有しない若年層も増加してきている⁴⁾。DRTやカーシェアリング等のサービスが安価に提供されるようになれば、自家用車に代わる中長期的な移動手段確保の方法として、それらのサービスが利用される可能性も考えられる。

自家用車や二輪車等の私有手段に頼らずに移動する場合には、何らかのモビリティサービスを利用者自身で選択し、必要に応じて手配や支払いを行う必要がある。鉄道、定時定路線バス、タクシー、DRTやカーシェアリング等の各モビリティサービスを対象に、特定の時刻、発着地での利用可能性の確認や予約・手配等を行うには、通常は個別のウェブページやアプリケーション、電話窓口等に問い合わせる必要がある。また、各サービスを使用した際の料金や所要時間、待ち時間等は、利用するサービスによって、また発着地や時間帯によって大きく異なるため、移動する際にそれらの全条件を精査して望ま

しい選択をすることは容易ではない。各サービスが適している時空間的な条件は異なるため、組み合わせることにより効率的に移動できる可能性があるが、各サービスが独立している場合、組み合わせ方は全て個人で考える必要がある。

以上の背景のもとで、個別に提供されていた交通サービスを、一体的に提供するサービスが近年注目を集めている。一例としては、バスやタクシー等の道路上の公共交通を融合した新しい交通サービスの提供を目指して開発されている SAVS⁹⁾やFMOD⁹⁾などの配車システムが挙げられる。これらのシステムは、バス・タクシー・乗合タクシーとして個別に運用されてきたサービスの予約や配車を統合し、車両の一元管理により車両運用を効率化するとともに、利用者のニーズや混雑状況に応じて適切なサービスを提供することを目指している。また、Mobility as a Service (略称MaaS) と呼ばれる、複数の交通手段を一体的な月額料金体系で提供し、一つのスマートフォンアプリケーションで予約・検索・支払管理ができるようなサービスの概念が欧州を中心に注目を集めており、実際にフィンランドのヘルシンキでは2016年からサービスが開始されている。ヘルシンキでは2017年2月現在、公共交通に加えてカーシェアリングやタクシーも含めた月額制のパッケージが提供されている。

このような統合的なサービスは、自家用車保有に代わる移動手段確保の形態として認知され、交通行動や個別サービスの状態に大きな影響を与える可能性がある。そのため、サービス設計次第では、自家用車の過度な利用の抑制や公共交通の効率化を通して、駐車需要の抑制や渋滞緩和に繋がり得ると考えられ、交通環境の改善や交通まちづくりに積極的に活用できる可能性がある。

統合的なサービスの導入に当たっては、採算性や影響評価のための十分な分析を踏まえて、料金等のサービス変数を設定することが望まれる。複数の交通サービスを対象にした、短期的なサービスの状態と利用者行動に関する分析としては、FMODを対象にした池田ら⁹⁾や、オンデマンドバスやLRTを含む選択を対象とした坪内ら⁷⁾の研究が挙げられる。しかしながら、統合的なサービスは「自家用車保有に代わる移動手段」として中長期的な選択である自家用車保有や居住地選択に影響をもたらす可能性があるため、その評価のためには中長期的な利用者の選択とパフォーマンス評価のモデルを組み合わせた分析が望まれるが、そのような分析手法に関しては、体系的な議論が十分になされてきているとは言えない状況にある。

そこで本論文では、このような統合的なサービスを「統合モビリティサービス(Integrated Mobility Service, 略称IMS)」として定義した上で、以下の4点の実施を目的とする。

[1] IMSの概念の提案と、近年登場したITを活用する

形の各種IMSサービス事例の整理

[2] 分析の枠組みとしてのMulti-Cycle Modelの提案

[3] Multi-Cycle Modelに照らした既往研究の位置付けの整理

[4] Multi-Cycle Modelの適用例の提示と、今後の課題の整理

構成としては、まず2章でIMS概念の提案と、実際にサービスが開始または検討されている事例の整理を行う(目的[1])。続いて3章では、IMSの分析の枠組みとして“Multi-Cycle Model”を提案し(目的[2])、さらに“Multi-Cycle Model”の中での既往研究の位置付けを述べる(目的[3])。その上で4章においてその計算例を示し、最後に5章において、今後の課題を整理する(目的[4])。

2. 統合モビリティサービスの概念

(1) 統合モビリティサービスの定義

本論文における「統合モビリティサービス(IMS)」とは、「鉄道、バス、タクシー、DRTやカーシェアリング等の個別に提供されていた交通サービスを、一つのアカウントや窓口で一体的に決済できる料金体系のもとで、単一の時刻・経路検索及び予約手配システムを通して利用者に提供するサービス」を指すものとする。料金については、一つのアカウントや窓口で決済と管理が可能であれば、完全定額制のサービスだけでなく、定額制と従量課金を組み合わせたハイブリッド型、完全従量課金(1乗車単位の課金)のサービスも含むものとする。時刻・経路検索と予約手配の方式については、全て一つのアプリケーションや窓口で実行できることを定義上の要件とする。

以上の定義は、著者らが本論文において独自に定義したものであり、本論文では「統合モビリティサービス」または「IMS」という名称を、上記の定義に当てはまる既存のサービスや今後登場するサービスを総称するために用いる。

次節以降では、近年登場したITを活用する形のIMSの概念およびシステムとして、Smart Access Vehicle System (SAVS)とFlexible Mobility On Demand (FMOD)、Mobility as a Service (MaaS)の三つの事例について紹介する。なお、本論文で示す各事例の情報は、2017年2月時点で筆者らが入手した情報に基づいており、各サービスの技術的な発展可能性の限界を示すものではなく、今後の発展により変化する可能性があることに留意されたい。またSAVSとFMODは、決済方法とは独立した概念およびシステムであり、料金収受を伴うサービスが2017年2月現在では開始されていないため、両者とも「一つのアカウントや窓口で一体的に決済できる料金体系」に限定されたサー

ビスではないが、一方で両者ともスマートフォンアプリケーションからの検索・予約手配を伴うシステムのため、アプリケーションで登録したクレジットカード等での一括決済が容易に実現できると考えられる。そのため、ここでは先述の要件を満たすものとして議論を進める。

(2) Smart Access Vehicle System (SAVS)

Smart Access Vehicle System (略称はSAVS、個々の車両を示す場合はSAV、SAVの運行を意味する場合はSAVサービスと呼ばれる)は、中島ら⁹⁾が提案し、開発および実運用の開始に向けて取り組みが進められている交通システムである。SAVSはドア・ツー・ドアの移動サービスを利用者に提供しつつ、乗合を可能にする配車ルート計算できるシステムであり、完全に自動で制御できる点が特徴である。また、人口の多い都市での高密度な需要にも対応可能である。

SAVSは既に函館市で複数回の運行実験を実施している。2015年の運行実験時には利用者アンケートを実施しており、その結果をもとにした藤垣ら⁹⁾の発表において、自家用車保有に代わるような移動サービスとなる可能性が既に示されている。また運行実験により、オペレータを介すことなく完全に自動で予約を受け付けて運転手の端末に指示を出せることが確認できている。

なお、SAVSは都市の市街地内を対象としたサービスであり、SAVSが導入された段階でも都市間は鉄道や航空機など他の交通手段で結ばれることが想定されている。

(3) Flexible Mobility On Demand (FMOD)

Flexible Mobility On Demand (FMOD)は、単独乗車のタクシー、乗合タクシー、ミニバスの3種類のサービスの検索・予約と料金調整、および車両管理を統合し、収益が最大になるよう提示する選択肢を調整できるシステムである。利用者が希望の発着地と到着時刻を入力することで、単独乗車のタクシー、乗合タクシー、ミニバスのそれぞれについて、料金と出発時刻が提示され、利用者が選択することで予約が確定する。利用者に複数の選択肢が提示される点、およびその選択肢が事業者側の利益の期待値が最大になるよう生成される点がFMODの特徴である。

なお、利益最大化の計算は個別トリップでの手段選択モデルを用いて計算しており、中長期的な経験の積み重ねによる自家用車保有状況の変化などは考慮されていない。また、料金も定額制ではなく1乗車毎に徴収する形のサービスになっている。

(4) Mobility as a Service (MaaS)

Mobility as a Service (MaaS)は、欧州で実導入に向けた取り組みが急速に進んでいるサービスの概念である。表-1

にHietanen⁹⁾が示しているMaaSのパッケージの例を示す。MaaSの利用者は、MaaSのサービスを一体的に提供する主体である”Mobility Operator”が用意したサービスパッケージから任意のものを選択し、そのパッケージに含まれる範囲内でのサービスを受けることができる。利用者は一つのスマートフォンアプリケーションで、移動手段の選択肢の検索、予約手配、料金管理を実施できる。鉄道や定時定路線バスなどの公共交通と、カーシェアリング等の交通具共有サービスも対象に含まれ、また定額制部分を含む月額のパッケージ料金設定が想定されている。供給側の組織体制としては、Heikkilä¹⁰⁾によると、Mobility Operatorは民間企業として運営されることが想定されている。また、Mobility Operatorは直接各サービスを運行するのではなく、複数の個別サービスの運営事業者”Service Producer”と契約してサービス利用権を買い取り、独自の判断で組み合わせて利用者に販売する役割を担うことになる。MaaSは、以上の技術面・組織面からの工夫により多様な交通サービスを統合して利用者に提供することで、利用者の移動ニーズの大半をカバーすることを目指している点が特徴であり、自家用車の代替になり得るサービスの提供可能性が強調されることもある⁹⁾。

MaaSの概念に則ったMobility Operatorとして設立されたMaaS Global社は、2016年にフィンランドのヘルシンキで実際のサービスを開始しており、2017年2月時点では、図-1に示すような月額料金体系でサービスを提供している。さらに、英国のウェストミッドランドでも、2017年よりサービスが試験的に開始される見込みである。

表-1 MaaSパッケージとして想定される内容例 (Hietanen⁹⁾より引用、日本語訳：著者)

都市部通勤者向けパッケージ (95€/月)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地元の市内公共交通が無料 ・ 100kmまでのタクシー使用 ・ 500kmまでのレンタカー ・ 1500kmまでの国内公共交通
15分パッケージ (135€/月)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 待ち時間15分以内の乗合タクシー ・ EU内は0.5€/kmで乗合タクシー利用可能 ・ 地元の市内公共交通が無料 ・ 1500kmまでの国内公共交通

ライト	ミディアム	プレミアム
89€/月	249€/月	389€/月
HSLヘルシンキの公共交通乗り放題 + 1,000 Whimポイント <small>例えは以下のような利用が可能</small>	HSLヘルシンキの公共交通乗り放題 + 5,500 Whimポイント <small>例えは以下のような利用が可能</small>	HSLヘルシンキの公共交通乗り放題 + 10,000 Whimポイント <small>例えは以下のような利用が可能</small>
タクシー ~10km×2回 + 公共交通 無制限	タクシー ~10km×8回 + 公共交通 無制限	タクシー ~10km×10回 + 公共交通 無制限
	レンタカー 2日	レンタカー 5日

※MaaS Global社作成のWhim紹介サイト¹⁰⁾をもとに、日本語版の価格表を筆者が作成したものである

図-1 フィンランドでMaaS Global社が提供しているサービスの料金体系 (2017年2月時点)

(5) IMSの類型化

近年登場したITを活用する形のIMSは、統合されるサービスの範囲により、道路上を走る自動車を使用した公共交通サービスの統合を目指す「旅客自動車運送型」と、道路上の公共交通だけでなく、鉄道やカーシェアリング、自転車シェアリングをも含む「総合型」の2類型に分類できる。2類型の統合範囲は、図-2のように整理される。

以下に、2つの類型の特徴について述べる。

「旅客自動車運送型」は、「バス」と「タクシー」として分離されてきた、道路上で自動車を使って提供される公共交通サービスの統一を試みるものである。SAVSとFMODがこの類型の代表例である。これらのサービスは、ドア・ツー・ドア輸送と乗合を両立させるような都市型DRTの配車システムを基盤としている。

「総合型」は、「旅客自動車運送型」が対象としていた範囲に加え、鉄道や船などの道路上以外の空間を走行する公共交通や、カーシェアリングや自転車シェアリング等の交通具共有サービスも含めた統合を目指すものである。検索と予約の窓口として、専用のスマートフォンアプリケーションが使われる。先述のサービス事例の中では、MaaSが総合型にあたる。

車両管理の考え方には、両者の間に大きな差がある。

「旅客自動車運送型」は、統合対象が路上を走行する自動車を使ったサービスであるため、規制や登録の面で問題がなければ、同じ自動車を統合対象の全サービスに充てることが可能である。そのため、需要に応じて車両が担当するサービスが変わり得ること、そしてそのような一元管理による効率化に重点が置かれ得ることが特徴である。一方で「総合型」は、自動車を使ったサービス以外も対象であるため、「旅客自動車運送型」のような車両運用の一元化を全体で実施することはできず、一元化できる範囲は限定的である。そのため、車両の一元管理には重点が置かれず、利用者から見た料金体系や予約・検索の面での統合に重点が置かれるという特徴がある。

なお、上記の2類型に当てはまらないが先述のIMSの定義に合致する、という形態のサービスも存在しうる。



図-2 IMSの類型化

しかし本稿では、近年登場したITを活用する形のIMSの概念およびシステムとして、この2類型のいずれかに当てはまるものに着目し、3章以降ではそれらを主な対象とした分析の枠組みについて述べる。

3. 分析の枠組みMulti-Cycle Modelの提案

(1) 枠組みを提案する目的

IMSのサービス設計や、規制・誘導等の政策検討にあたっては、そのサービスが市民の交通行動や日常の活動に与える影響や、個別サービスの混雑や事業者収支等に与える影響に関する分析結果が有益な参考情報となり得る。特に導入に当たっては、料金体系や個別サービスのサービス水準（待ち時間や所要時間等）に影響する車両数や運行方法などに関する意思決定をする必要があり、政策や事業の目的に適うように意思決定を行うために、それらの変数と生じ得る状態との関係を整理できる手法が望まれる。分析としては、利用意向調査や実際のサービス利用データを用いたIMS利用者の短期・長期の行動モデル構築や、個別サービスのパフォーマンス評価シミュレーションと組み合わせたサービス全体の挙動の分析などが想定される。

IMSの分析においては、サービス設計が個別の活動・移動時の選択に影響を与えるだけでなく、長期的な自家用車の保有選択やサービスパッケージ選択にも影響を与えることや、特性の異なる多様な事業者が参画することを考慮する必要がある。今後は実際の導入に向けた実務において、分析対象とするサービスや、調整対象のサービス変数に応じた、多様な分析がなされると考えられ、それらがIMSの特性に関する理解を深めることや、サービスの可能性を評価することに繋がると思われる。しかし、多様な分析が独立して存在するだけでは、IMSの分析の体系を構築することはできず、個々の分析の間の相互関係を記述するために煩雑な作業が必要になる恐れがある。

そこで、IMSの新規分析者の分析方針構築を手助けするとともに、各分析の位置づけを議論する際の参考情報として活用できる枠組みとなることを目的として、本論文ではMulti-Cycle Modelという枠組みを提案する。この枠組みでは、個人や事業者の個別の意思決定モデルと、個別サービスごとのパフォーマンス評価モデルを組み合わせる方法を示すものであり、分析の特徴や利用可能データなどに応じて、個別の意思決定モデルおよびパフォーマンス評価モデルとして採用する具体的なモデルは分析者が判断することを想定している。

また、この枠組みは利用者及び供給者の意思決定の相互作用として想定されうる関係性を整理した仮説の体系

であり、その関係性の有無や強弱を本論文で証明するものではない点に留意されたい。そのような関係性の実証は、実際のサービス提供時に得られる実測データを用いて実施する必要がある。ただし、サービス開始前の状態であっても、「もし〇〇円以下ならば利用したい」「もし〇〇円以上の粗利が出るならば運営できる」といった各主体の意思の整合性を確認するための体系として活用することは十分可能だと考えられる。

(2) Multi-Cycle Modelの全体像

Multi-Cycle Modelの全体像を図-3に示す。この枠組みは、以下に示す複数の循環からなる（本論文での「循環」という表記は、枠組みの説明で用いる“Cycle”という表記と同義として用いている）。

なおMulti-Cycle Modelは、例えば個々の循環が均衡した状態を仮定して特定の意思決定に着目することで需要均衡下での最適化問題の定式化に用いることができ、また各循環の均衡を一切仮定せずにマルチエージェントシミュレーションとして実装する際の枠組みとして用いることもできる。Multi-Cycle Modelはそれらの多様な実装方法全体を包含する概念として提案している。実装方法の分類については(5)で、既存研究との関係性については(6)で詳述する。

各循環の位置づけは以下の通りである。

- Cycle 1：利用者の短期的な活動・交通に関する意思決定が発端となり、それが各個別サービスの利用・運行状況に影響を与え、利用者が経験するサービス水準として利用者の次の選択に影響を与える循環
- Cycle 2-a：利用者のサービスパッケージ選択に関する意思決定が発端となり、それが利用者の短期的な活動・交通選択に影響を与え、利用者の経験の蓄積や、供給側が公表するサービスの利便性の変化として、利用者の次の選択に影響を与える循環

- Cycle 2-b：利用者の居住地・主要活動施設の選択や自家用車保有選択、サービスパッケージ選択が発端となり、それが利用者の短期的な活動・交通選択に影響を与え、利用者の経験の蓄積や、供給側が公表するサービスの利便性の変化として、利用者の次の選択に影響を与える循環
- Cycle 3：供給側の個別サービス供給に関する意思決定が発端となり、それが個別サービスの利用状況に影響を与え、経費や収入の変化となって次の供給者の意思決定に影響を与える循環
- Cycle 4：供給側のサービスパッケージ内容および料金調整に関する意思決定が発端となり、サービスパッケージ市場に影響を与え、収入の変化等として次の供給者の意思決定に影響を与える循環

なお、Cycle 1, 2は利用者側の行動が発端となって生じる循環であり、Cycle 3, 4は供給者側の行動や意思決定が発端となって生じるものである。そのため、各循環が一巡する速度は個人や事業者ごとに本来は異なるが、分析上は、その速度を集団ごとに固定値になるよう仮定した上で分析を行うことも可能である。ただし、各循環の間での速度差に関する仮定により、循環同士の相互作用の計算方法が大きく異なる可能性がある。

以下では、利用者側の行動が発端となるCycle 1, 2と、供給者側が発端となるCycle 3, 4に分けて、それぞれの詳細について述べる。

(3) 利用者側の循環

Cycle 1は、各サービスの利用を含む利用者の1日の活動に関する意思決定が発端となり、各利用者の意思決定が各サービスのパフォーマンスに影響を与え、利用者の選択にフィードバックされる循環である。IMSの統合範囲全体を対象とするため、鉄道や定時定路線バスだけでなく、タクシー、DRT、カーシェアリング等の複数のモビリティサービスの待ち時間や所要時間等のパフォーマンスが分析対象となりうる。これらのサービスのパフォーマンスは、面的なサービス対象区域全域での需要が相互にパフォーマンスに影響しあうという点が特徴であり、詳細な時空間情報を持つ需要を入力とし、各サービスの車両と人の移動をシミュレーションして計測する方法が、一つの手法として考えられる。ただし、Cycle 1は最も短期的な循環であるため、他の循環を含めた一体的な分析のためには、Cycle 1の計算回数が非常に多くなる可能性がある。シミュレーションを随時実行する場合の計算時間が許容できない場合には、分析上許容できる範囲で時間帯と空間を区分して集計した合計利用者数と、待ち時間や乗車時間等のパフォーマンス変数の関係式を、シミュレーション結果や実運用状況から推定し、その式をパ

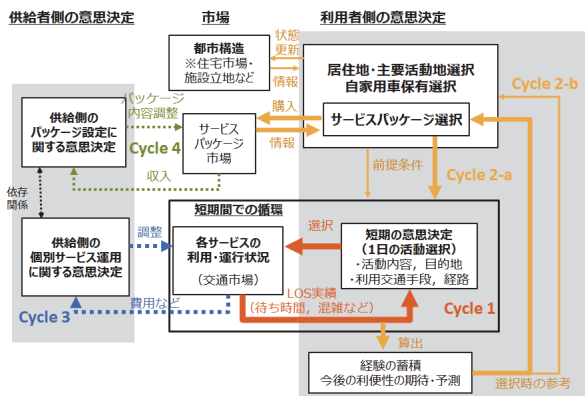


図-3 Multi-Cycle Modelの全体像

パフォーマンス関数として用いるという手法が代替策として想定される。なお、この循環の速度は、1周当たり数時間～1日単位だと考えられる。

Cycle 2は、IMSの会員になるか否か、なる場合はどのサービスパッケージを選ぶかという意思決定と、居住地・主要活動施設の選択や自家用車保有選択等の長期的な意思決定が発端となり、その意思決定が短期的な選択の前提条件となった短期的な経験の蓄積としてフィードバックされる循環である。なお、Cycle 2の発端となる意思決定は、経験の蓄積だけではなく、将来の経験の予想や、供給側からの情報提供などに基づいて実行する場合も考えられる。中長期的な選択の結果に基づいたCycle 1での経験やそれらを踏まえた将来のサービスへの期待をもとにして、再び中長期的な意思決定の見直し等の選択を実施するために、この部分が循環になっている。循環の時間的なスケールの違いから、サービスパッケージの購入選択を行うCycle 2-aと、さらに周期の長い自動車保有選択や居住地選択を伴うCycle 2-bに分けている。またCycle 2-bの長期的な選択は、Cycle 2-aでも考慮しているサービスパッケージの購入選択を伴うものである。Cycle 2-aの循環の速度はサービスパッケージの契約期間と個人がパッケージを見直す時間間隔に依存するが、一般的には概ね1周当たり1週間～数か月単位だと考えられる。Cycle 2-bの循環の速度は、概ね1周当たり数か月～数年単位だと考えられる。

(4) 供給側の循環

Cycle 3は、需要に応じて車両増減を実施するなどの、供給側の個別サービス運用に関する意思決定が発端となるものである。そのような操作によりパフォーマンスが変化し、その結果として必要経費などが変化することで再度供給側の意思決定モデルの変数が変化するという循環である。なお、一定範囲の交通サービスが定額制で利用できるサービスであれば、Cycle 3は費用のみがフィードバックされるが、利用毎の料金収受やポイント収受を伴う場合には、収入の変化もフィードバックに含まれる。個別サービスのこの循環は、あくまで供給側が必要と判断して実行する場合にのみ生じるもので、循環速度も供給側に依存する。この循環速度はパフォーマンス調整の容易さにより大きく異なると考えられる。特に実運用上は車両や運転者との契約形態が調整の容易さに大きく影響を与えうる。車両を保有し、運転者も専属の社員として雇用している場合には、それらの増減は容易ではなく、1年から数年に1回の循環になると考えられる。一方で、自家用車を利用したライドシェアのマッチングサービスのように、車両の保有と雇用契約を伴わない形態の場合には、需要に合わせて柔軟に車両数を管理することも可能になる。この場合は、Cycle 1と同様の数時間～1日単

位での循環になることも考えられる。

Cycle 4は、IMSの供給側が、サービスパッケージの構成や料金を変化させるという意思決定が発端となるものである。そのような操作により市場で販売されているサービスパッケージの構成が変化するために利用者の選択が変化し、その結果として収入を中心とした供給側の状況が変化することで、再び供給側の意思決定モデルの変数が変化するという循環である。

なお、供給側のサービスパッケージ設定に関する意思決定と、個別サービスの運用に関する意思決定は、双方の意思決定を同一事業者が実施する場合と、別事業者がそれぞれの意思決定を担当する場合があると考えられる。Heikkilä¹⁰⁾が提唱したMaaSの供給側の枠組みでは、サービスパッケージに関する意思決定をMobility Operatorが担い、個別サービスの運用に関する意思決定をService Producerが担当する形態となっている。いずれの場合でも、供給側の2種類の意思決定には相互依存関係が生じる場合が多いと考えられる。

(5) Multi-Cycle Modelの実装方法の比較

Multi-Cycle Modelの枠組みの主要な実装方法としては、「一体型シミュレーション方式」と、「独立モデル連結方式」の2つが考えられる。一体的シミュレーション方式は、全体を一体的なマルチエージェントシミュレーションとして実装するものであり、全ての主体の意思決定モデルをシミュレータに含んだうえで、車両の運行と人の意思決定を全てシミュレートするものである。一方、「独立モデル連結方式」は、各主体の選択モデルや相互作用を記述するためのパフォーマンス関数などを、個別のデータやシミュレーションから推定し、個別の数式を連結させる形で分析を実施する方法である。特に各サービスのパフォーマンス評価において、(3)でも述べたように、「分析上許容できる範囲で時間帯と空間を区分して集計した合計利用者数と、待ち時間や乗車時間等のパフォーマンス変数の関係式を、シミュレーション結果や実運用状況から推定し、その式をパフォーマンス関数として用いる」ものを、ここでは指すものとする。独立モデル連結方式を個別のモビリティサービスに適用した例としては、乗合タクシーのパフォーマンス関数をシミュレーションから導出して分析に用いている、藤垣ら¹²⁾が挙げられる。

分析においては、両手法のメリット、デメリットを考慮し、分析の目的に合わせて選択することが望ましい。表2に、両手法のメリットとデメリットを示す。

まず、時間的・空間的な詳細さを保った分析ができることが一体型シミュレーション方式の大きなメリットである。独立モデル連結方式の場合には、サービスパフォーマンスを関数化する部分において、時間的・空間的な

表2 一体型シミュレーション方式と独立モデル連結方式のメリットとデメリット

	一体型シミュレーション方式	独立モデル連結方式
利点	・時空間的に詳細に分析可能	・計算負荷が小さい ・多主体での連携が容易
欠点	・計算負荷が大きい ・多主体での連携に労力を要する(権利調整等)	・時空間的な集計が必要で、精度に注意する必要がある

集計を行う必要が生じてしまう。独立モデル連結方式の場合でも、複数の時間帯やゾーン区分等を用いることで、時空間的な多様性を考慮することは可能ではあるものの、何らかの単位での集計を施す場合には、その集計による精度の変化に十分注意する必要がある。

一方で、計算負荷が低い点、技術的にも社会的にも構築が容易である点が、独立モデル連結の場合のメリットである。構築の容易さについては、シミュレータ構築の技術的な難易度だけでなく、シミュレータ構築に際して生じる社会的な組織間連携の課題にも留意する必要がある。特に、DRTのシミュレータは配車システムそのもののアルゴリズムを用いるため、システム開発主体が個別に作成することが一般的である。そのため、多様な個別サービスを含むIMSの分析では、DRT単体のシミュレータの移植や連結が必要になる。移植の実施には、技術的な問題だけでなく、知的財産等に関連した社会的な問題が生じ得る。また、協力関係にある機関同士が協力してシミュレーションを構築することも可能ではあるものの、そのパーツとなるモデルを取り換えての計算や再現実験をシミュレータ保持者しかできないため、全てのコードを公開しない限り、再現性確認が難しくなるという課題もある。

(6) 既存研究のMulti-Cycle Model内での位置づけ

個別サービスを対象とした既往研究の多くは、Multi-Cycle Modelの枠組みの一部として捉えることができる。Cycle 1に相当するサービスのパフォーマンスと利用者行動の相互作用に関する分析としては、FMODを対象にした池田ら⁹⁾や、オンデマンドバスやLRTを含む選択を対象とした坪内ら⁷⁾が挙げられる。これらは複数のサービスの存在を考慮してCycle 1を分析しているが、Cycle 2にあたる中長期の選択を考慮していない。また、Cycle 2にあたる定額制サービスへの加入選択を対象とした研究としては、乗合タクシーを対象に均衡時の収益を最大化する料金・車両数を求める手法を提案している藤垣ら¹²⁾があるが、あくまで乗合タクシーのみを対象とした研究である。Cycle 3, Cycle 4にあたる事業者行動を含む分析として、Bar-Yosefら¹³⁾やZhangら¹⁴⁾は、Cycle 4で最適化をする事業者だけではなく、近視眼的に一定の利益を保てるよう料金を調整する事業者を仮定し、均衡下で利益を一

定に保つ戦略の末に到達する平衡点を求めている。Cycle 1だけでなくCycle 3, Cycle 4を含めた分析であると捉えることができるが、単一の公共交通サービスを対象としたものになっており、また定額制・自家用車保有有無などに関わる中長期の選択を行うCycle 2の部分は含まれていない。また、Ben-Akivaら¹⁵⁾は、世帯の選択行動と、都市開発、交通システムパフォーマンスの相互作用を整理し、各選択行動に対応したモデルを構築・推定している。世帯の選択としては、居住地や自動車保有等の中長期の選択と、毎日の活動・移動の選択の双方を考慮しており、パフォーマンスモデルの構成によっては、「複数サービスの存在」「中長期の選択と短期的な選択の連動」の2点を同時に考慮することができる。しかしながら、供給者側の車両数等のパフォーマンスに関する変数の調整や、料金体系の調整に関する供給側の意思決定を含めた枠組みにはなっていない。

以上のように、上記の各研究は、Multi-Cycle Modelの中で仮定されている図-3の中の矢印の一部(概ね1~2か所程度)を対象としているものと捉えることができる。しかしながら、IMSのサービス設計においては、2章で述べたようなサービスの特性のために、「複数サービスの存在」「中長期の選択と短期的な選択の連動」「事業者行動の調整行動」の3点を同時に考慮することが望ましいと考えられる。本論文で提案するMulti-Cycle Modelは、既存研究の分析内容を内包しつつ、統合モビリティサービスの特徴を適切に把握するために、これら3要素を同時に考慮することを提案している点が特徴である。

4. Multi-Cycle Modelの計算例

Multi-Cycle Modelの流れに沿った分析の例を、簡易的な空間構成及びサービスパフォーマンスと利用者行動の仮定を用いて例示する。

(1) 空間の仮定

計算例で対象とする仮想空間の構成を図-4に示す。都心から延びる幹線道路の終端に、団地が3か所存在している。各団地内では、一本の主要道路沿いに人口が均一に分布している。3か所の団地の総人口は P とし、団地以外の人口は考えないものとする。

なお、この設定は特定の地域を模したものではないが、以下のような現実に国内の郊外団地でも生じ得るような仮想的な状況を想定した、空間およびサービスの設定である。

「丘陵地に作られた急勾配の多い郊外ニュータウンで、バスが団地の入口まで走っていたが、バス停から遠く離れた住民からはバス停まで歩くのも大変だという声が上が

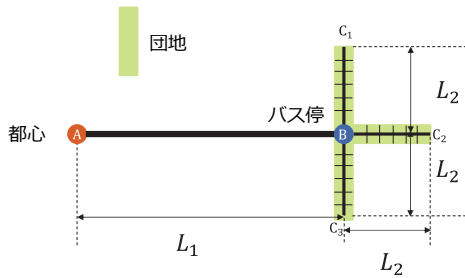


図4 計算例における空間の仮定

がっていた。そのような中で、バスが廃止になった。行政の支援のもとで定時定路線のバスを復活させるか、乗合タクシーに刷新すべきという議論の中で、バスと乗合タクシーの双方を走らせ、どちらも乗車できる定期券を既存バス定期券と同程度で販売する完全定額制のIMSサービスが提案された。」

(2) 利用者行動の仮定

短期的な行動と、長期的な行動をそれぞれ以下のように仮定する。

Cycle 1にあたる短期的な行動としては、ここでは自宅のある団地から出発して都心に向かう1種類のトリップの利便性のみを考慮する。IMS会員の手段選択では、バスと乗合タクシー以外の手段（自家用車や自転車など）は選択肢として考えず、「バスと乗合タクシーのうち待ち時間も含めた所要時間が短い方を利用する」という基準で選択をすると仮定する。また、バスと乗合タクシーの利用者はIMS会員のみとし、それ以外の人には他の交通手段（自家用車など）を使用すると仮定する。

Cycle 2-aに当たるサービスパッケージ選択行動としては、全利用者が定期的に完全定額制IMSの会員になるか否かの選択を行うものとする。会員・非会員ともに、平均的なタクシーの待ち時間および料金に関する正確な情報を持ったうえで選択を行うものとする。この選択行動は、藤垣ら¹²⁾が実施した定額制乗合タクシーの利用意向調査を基にして推定した、乗合タクシー待ち時間と料金を変数とした定額制サービス加入有無を説明する2項ロジットモデルで説明されるものとし、そのパラメータを、料金を月当たりに換算して使用する。また、Cycle 2-bに関しては、IMSの存在の有無を考慮した居住地選択を説明する選択モデルについて、その構造やパラメータに関する妥当な仮定を置くためのデータが現時点では得られていないことから、本計算例では取り扱わない。ただし、計算量などの技術的な面では十分に計算可能と考えている。

(3) サービスパフォーマンスの仮定

バスおよび乗合タクシーの運行区間は、バスと乗合タクシーで異なるものとする。バスは幹線道路を走行でき

るが団地内街路は走行できず、図-4のAB間を往復するものとする。乗合タクシーは団地内街路・幹線道路の双方を走行でき、図-4のAC₁間、AC₂間、AC₃間を往復する3系統で運行されるものとする。また、乗合タクシーの台数は3の倍数とし、各団地の担当車両数は等しいものとする。この仮定のような状況は、団地が丘陵部であり、道路幅や勾配の関係でバスの運行が難しくなっている場合などに、現実には生じ得る状況だと考えられる。

バスの乗車後の所要時間・待ち時間は、利用者数に依存しないものとする。乗合タクシーは利用者数の多寡に関わらず、都心から団地の先端までを往復する経路で運行するものとし、さらに乗合タクシーの乗車後の所要時間・待ち時間は、利用者数に依存するものと仮定する。ここでは単純化のため、1つの団地内向け路線の全利用者が一人増えるごとに、都心から団地の先端までを単純に往復する場合（乗降客が存在しない場合）に比べて所要時間が α_1 、待ち時間が α_2 増加し、利用者は等しくこの増加を経験すると仮定する。また、バスと乗合タクシーは運行区間を平均速度に従って運行するものとする。また、道路混雑の影響は考えないものとする。また、ここでは単純化のためバスおよび乗合タクシーの平均速度は等しいものとする。

なお、ここではバスおよび乗合タクシーの運行とサービスパッケージの販売は、全て一つの事業者が行うものとする。以下で収益について論じる場合は、全てこの単独の事業者の収益を考えるものとする。

乗合タクシーおよびバスの速度は、停車時間を含めた平均速度であるため、待ち時間は、表-3にて示している表記を用いて以下の式(1),(2)で表すことができる。

$$W_t = \frac{3(L_1 + L_2)}{N_t V_t} + \alpha_2 U_t \quad (1)$$

$$W_b = \frac{L_1}{N_b V_b} \quad (2)$$

表-3 計算例で用いる文字

W_t	乗合タクシー平均待ち時間
W_b	バス平均待ち時間
N_t	乗合タクシー台数
N_b	バス台数
V_t	乗合タクシー速度 (= V_b) ※
V_b	バス速度 (= V_t) ※
V_w	徒歩速度
L_1	幹線道路距離 (図-4参照)
L_2	団地内主要道路距離 (図-4参照)
U_t	1団地あたり乗合タクシー利用者数
M	会員数
P	総人口

※速度は乗降時や信号停止等の停車時間も含む表定速度とする（乗合タクシーは団地内乗降客が居ない場合）

(4) Cycle 1の分析

利用者は、乗合タクシー、バスの双方が利用できる場合には、先述の通り待ち時間と乗車時間を合わせた所要時間が短い方の手段を利用する。この場合、幹線道路の近くに住む利用者ほどバス停まで歩く距離が短くなり、バスが有利になりやすく、遠い箇所ほどタクシーの方が有利になりやすいために、バスとタクシーの双方が1人以上の利用者に利用される状況では、バス利用とタクシー利用の閾値になる距離 (L_E とおく) が存在する。

団地の入口にあるバス停からの距離が L_E の地点の利用者が都心まで乗合タクシー、バスで到達するための時間 T_t, T_b は、それぞれ式(3)、(4)で表せる。

$$T_t = W_t + \frac{L_1 + L_E}{V_t} + \alpha_1 U_t \quad (3)$$

$$T_b = W_b + \frac{L_E}{V_w} + \frac{L_1}{V_b} \quad (4)$$

この所要時間 T_t, T_b が等しくなることから、式(5)が成立する。また、1団地あたり乗合タクシー利用者 U_t は L_E を用いて式(6)のように表現できる。さらに、待ち時間は式(1)、(2)で表せることから、式(5)に式(1)、(2)、(6)を代入して L_E について解くことにより、Cycle 1の均衡点となるような距離の閾値は、式(7)で表すことができる。

$$W_t - W_b = \frac{L_E}{V_w} - \frac{L_E}{V_t} - \alpha_1 U_t \quad (5)$$

$$U_t = \frac{M(L_2 - L_E)}{3L_2} \quad (6)$$

$$L_E = \frac{\frac{3(L_1 + L_2)}{N_t V_t} - \frac{L_1}{N_b V_b} + \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)M}{3}}{\frac{1}{V_w} - \frac{1}{V_t} + \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)M}{3L_2}} \quad (7)$$

(5) Cycle 2-aの分析

ここでは、Cycle 3とCycle 4はCycle 2-aよりも十分に遅く、Cycle 3, 4の1循環の間に（つまりサービスパフォーマンスの特性と料金が固定されている状態で）Cycle 2-aは均衡に達すると仮定する。Cycle 2-aで用いる利用者の選択モデルの変数は、先述の通り平均待ち時間と料金の二つであるが、料金はCycle 4が動かない限りCycle 2-aの中では固定値であるため、Cycle 2-aは平均待ち時間のみを介した循環となる。そのため、Cycle 4が動かない、つまり料金を f に固定した場合のCycle 2-aの均衡会員数は、以下の式(8)、(9)と先述の式(6)、(7)を同時に満たす会員数となる。ただし、 $C(W_t, f)$ は先述の定額制サービス加入選択モデルにより算出される加入割合を示す。

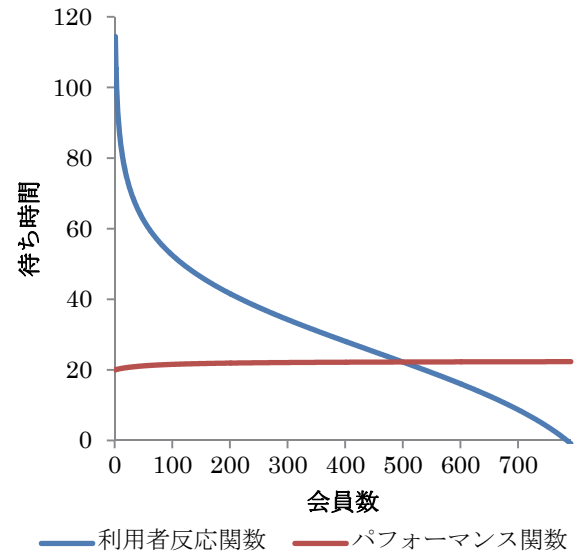


図-5 Cycle 2の均衡点導出に用いるパフォーマンス関数および利用者反応関数の例

表-4 計算例で用いる数値

	計算例で用いる値
P (総人口)	900人
V_t (タクシー速度)	12km/h
V_b (バス速度)	12km/h
V_w (徒歩速度)	4km/h
α_1, α_2 (待ち時間・所要時間増加率)	15 second/person
L_1	3km
L_2	1km

$$M = P * C(W_t, f) \quad (8)$$

$$W_t = \frac{3(L_1 + L_2)}{N_t V_t} + \alpha_2 U_t \quad (9)$$

この条件を満たす会員数は以下のようにして求めることができる。まず、「ある待ち時間の時に得られる会員数」を表した利用者反応関数と、「ある会員数の時に達成可能な待ち時間」を表したパフォーマンス関数を求め、それらを会員数—待ち時間平面に引く。その両者の交点が均衡会員数となる。このとき、利用者関数は式(8)、パフォーマンス関数は、式(9)に式(6)、(7)を代入したものである。図-5に、バス1台、乗合タクシー3台の場合の例を示す。また、これ以降は表-4に示す数値を代入した場合の計算結果を、分析例として示す。

以上のようにしてサービスパフォーマンスの特性と料金を固定した際の均衡会員数を導出できるが、料金ごとに均衡時の会員数は異なる。供給側の立場として分析をする場合、料金を変更した場合の利益の動きが興味の対象の1つとなる。料金ごとの利益は、料金ごとの均衡時の会員数に料金を乗じた収入から経費を差し引くことにより、算出することができる。図-6に、料金ごとおよび

車両投入パターンごとの利益の数値計算結果を示す。なお、ここでは簡易的に乗合タクシーの運行経費は50万円/月・台、バスは150万円/月・台とし、IMSの場合は、バスとタクシーの双方が使用される、 $0 < L_w < 1$ となるような場合のみを対象として計算している。また図中の凡例では、バス n 台、乗合タクシー m 台数の場合の結果を $BnTm$ と表記している。バスが0台で全ての会員が乗合タクシーを利用する場合についても算出している。

一般的にこの計算方法では、料金がゼロに近い場合は、利用者が多くても収入がゼロに近い値になり、料金を無限大に近づけた場合も利用者がゼロに近づくため同様に収入がゼロに近い値となり、いずれの場合も経費に応じた赤字が発生すると考えられる。また、ある特定の料金で、料金を微小量増加させると利用者減少による減収効果が料金増加による増収効果よりも上回り、また料金を微小量減少させると利用者増加による増収効果が料金減少による減収効果を下回るような、収益を極大化する料金が存在する可能性がある。図-6に示した数値計算例は、0円や3万円程度では各サービスの経費相当の赤字（3万円はそれに近い値）になっており、1万円前後で利益が最大となっている。これは、上記の性質を満たすものとなっており、妥当な結果が得られていると言える。

なお、この結果は対象地域の人口、選択モデルのパラメータ、車両費用等の設定に大きく依存する。例えば、サービスパッケージ選択行動のモデルは、平均待ち時間が10分であっても週当たり5,000円（月額20,000円相当）以上だと乗合タクシーの利用意向が数%程度にまで低下するという調査データ¹²⁾に基づいており、そのためどの車両パターンであっても利益が正となる範囲は高々15,000円程度に限られる結果になっている。また、車両

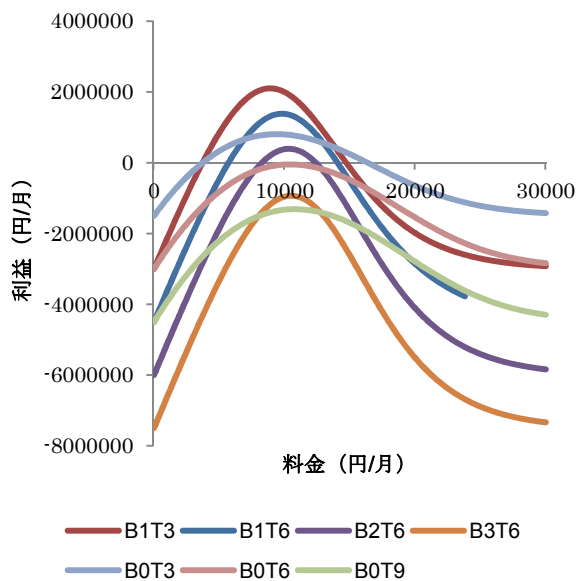


図-6 料金および車両パターンごとの利益

1台当たり費用が増減すると、図-6のグラフが垂直方向に平行移動し、利益が正となる範囲も増減する。完全自動運転車を使ったバスや乗合タクシーの登場などにより費用が大幅に低減すれば、採算が取れる料金の範囲も大幅に増えると考えられる。

(6) Cycle 3および4の分析

本節ではまず、Cycle 4において近視眼的な行動を取る事業者を仮定した分析例を紹介する。ここでは、 t 期末の会員数で運行経費の総額を割った額を、 $t+1$ 期の料金として料金改定する事業者を仮定する。この時、 t 期末の会員数 $X(t)$ と、 $t+1$ 期末の会員数 $X(t+1)$ は、料金 f の時の均衡利用者数を $E(f)$ とし、対象サービスの経費の合計額を TC とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$X(t+1) = E\left(\frac{TC}{X(t)}\right) \quad (10)$$

t 期末の会員数 $X(t)$ と、 $t+1$ 期末の会員数 $X(t+1)$ の関係を数値計算した結果を図-7に示す。なお、ここでの表記方法としては、Granovetter¹⁶⁾が提唱した社会的相互作用の表現方法で、藤垣ら¹⁷⁾でも乗合タクシーの好循環・悪循環分析手法として用いられている手法である。グラフ上にある45度線（直線 $X(t+1) = X(t)$ ）よりも上にある区間では $X(t)$ が増加する循環となり、下にある区間では減少する循環となる。ほとんどの条件で、その値より利用者数が少ない場合に悪循環、多い場合に好循環となるような閾値が存在することが分かる。

続いて、Cycle 3と4を連動させる方策検討への適用可能性について述べる。今回の例では、乗合タクシーのみの方が少ない人数で好循環に入ることが分かる。これは、タクシーのみの方が経費が安いいため、少人数でも割安な金額で採算が取れるためだと考えられる。そのため、もしリスクを取ることを極力避けたい事業者がこの分析結果を用いてサービスを設計する場合、まず乗合タクシーだけで開始し、需要が喚起されてきたらバスを投入するという段階的なサービス向上策を取ることが可能になる。まずは100人程度の利用者を想定した価格設定で乗合タクシーのみでのサービスを開始し、サービスの浸透とともに徐々に値下げを行うことで、値下げと利用者増加の好循環に入ることができる。これは、分析の枠組みの中ではCycle 4による料金調整とCycle 3による台数調整の連動と捉えることもできる。値下げを複数回繰り返した後に、300人程度の利用者数になった際にバスを投入することにより、乗合タクシーのみでのサービスを続けた場合よりもさらに人数の多い均衡点まで好循環で進むことができる。

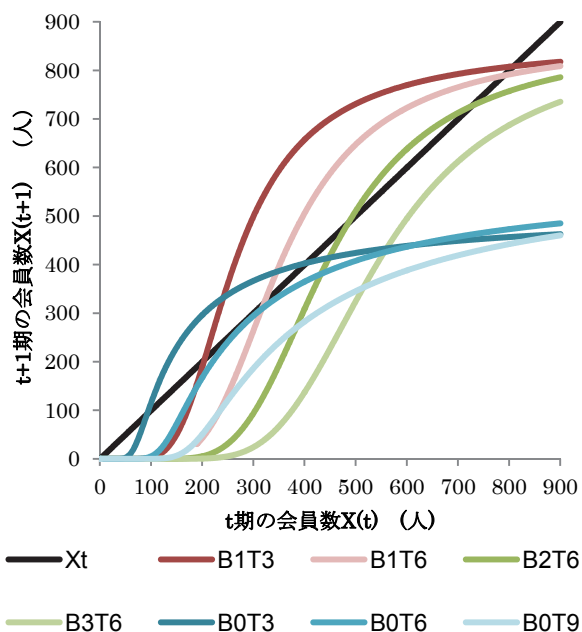


図-7 近視眼的事業者を仮定したCycle4の構造

(7) 計算例における留意点の整理

今回の計算例においては、実際の分析では重要な影響をもたらす以下のような点を考慮していないことに留意する必要がある。

まず需要側は、移動時間帯の分布と多様性、移動先や活動目的の多様性、各種選択における個人差、サービスパッケージ選択に待ち時間・料金以外の要素が与える影響を考慮していない。また、長期的な選択であるCycle 2-bを考慮していない。これらの影響は、Cycle 1, 2に用いるモデルに変数を追加することで評価可能になるが、適切な評価を行うには、実際にサービスを提供する社会実験や、詳細な情報提供を伴うSP調査を通じた利用意向データをもとにした、モデル構造やパラメータの推定が必要である。また、車内混雑などの供給上の問題と関わる変数を考慮する場合には、Cycle 3にあたる供給側の意思決定との相互作用も考慮する必要がある。

供給側では、詳細な運行ルートの設定方法、車両キャパシティの多様性、乗務員の雇用形態、労働可能時間帯や、運行方式とコストの関係を考慮していない。また、本章での議論は全て個別の行動モデルおよびパフォーマンスモデルの信頼性の限界を無視して進めており、実際の導入に当たってはその信頼性や不確実性に対する対応策が重要になると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本論文では、IMSの概念を整理するとともに、その分

析の枠組みを提案した。本論文ではIMSを、「鉄道、バス、タクシー、DRTやカーシェアリング等の個別に提供されていた交通サービスを、一つのアカウントや窓口で一体的に決済できる料金体系のもとで、単一の時刻・経路検索及び予約手配システムを通して利用者に提供するサービス」を指すものと定義した上で、その代表的な事例として、SAVS、FMODおよびMaaSの3事例を紹介した。さらに、それらの統合範囲に着目し、「旅客自動車運送型」と「総合型」に分類できることを示した。また、IMSを対象とした分析の枠組みとしてMulti-Cycle Modelを提案し、既存研究のMulti-Cycle Modelの中での位置づけを整理した。さらに、Multi-Cycle Modelを用いた分析の例を、簡易的な空間構成及びサービスパフォーマンスと利用者行動の仮定を用いて示した。

今後の課題としては、実データを利用した分析、実サービスの国内での導入検討、および法や規制誘導策のあり方の検討と、都市構造との関係の分析が挙げられる。特に国内への導入にあたっては、民間事業者を含む交通事業者が連携してサービスを提供するための、収益配分やサービス水準維持に関する契約形態の検討が、今後の重要な課題だと考えられる。

また、分析の枠組みそのものにおいても、個人の中長期的な選択構造や、供給側の関係性整理において、更なる発展の余地があると考えられる。特に供給側の体制の在り方については、海外でのMaaSサービス運用時の状況なども踏まえつつ、より詳細化して考える必要があると思われる。さらに、実際の分析にあたっては、3章(5)で論じたMulti-Cycle Modelの実装方法についても、独立モデル選択方式と一体型シミュレーション方式の比較などを通じた適用可能性の確認が必要である。

またMulti-Cycle Modelは、航空やホテルの分野において古くから活用されているイールドマネジメント手法¹⁸⁾の、地上交通サービス分野への適用可能性評価にも応用できる可能性がある。Cycle 4における事業者の戦略として、本論文では単純な近視眼的な戦略を取る事業者の場合の計算例のみを示したが、この部分の戦略にイールドマネジメント手法を取り入れることで、その手法の統合モビリティサービスに対する有効性を評価できる可能性がある。他業界で用いられているイールドマネジメント等の手法を援用したサービス設計手法の適用可能性の評価や、共通して使用できる手法の開発も、今後の分析手法の発展に向けた重要な課題である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費16K06531の助成を受けて実施したものです。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Helsinki Regional Transportation Authority: Kutsuplus – Final Report, HSL Publications, 2016.
- 2) Uber Technologies Inc.: Uber Pool, <https://www.uber.com/ja-JP/ride/uberpool/> (2017年2月18日閲覧)
- 3) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団：わが国のカーシェアリング車両台数と会員数の推移, http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare_graph2013.2.html (2017年2月18日閲覧)
- 4) 国土交通省：平成24年度国土交通白書 第2章第3節「動き方の変化」, pp. 769-774, 2013.
- 5) 中島秀之, 野田五十樹, 松原仁, 平田圭二, 田柳恵美子, 白石陽, 佐野渉二, 小柴等, 金森亮：バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 71, No. 5, 2015.
- 6) 池田拓郎, 藤田卓志, Moshe E. Ben-Akiva : Flexibility On Demand—複数の交通サービスへの動的な車両割り当てを特徴とするオンデマンド交通システムの設計と評価, 第49回土木計画学研究・講演集(CD-ROM), 2014.
- 7) 坪内孝太, 大和裕幸, 穂方和夫：オンデマンドバスのログデータを用いた交通分担シミュレータの開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67, No. 1, 2011.
- 8) 藤垣洋平, 金森亮, 野田五十樹, 中島秀之：SAVS 運行実験時の調査データを用いた都市部での DRT サービス利用意向の分析, 第52回土木計画学研究・講演集(CD-ROM), 2015.
- 9) Hietanen, S. : ‘Mobility as a Service’ – the new transport model?, *Eurotransport*, Vol. 12, Issue 2, 2014. (2017. 2. 24 受付)
- 10) Heikkilä, S. : Mobility as a Service - A proposal for action for the public administration, Case Helsinki, Master Thesis in Aalto University, 2014.
- 11) MaaS Global Ltd: Whim travel by MaaS Global, <http://whimapp.com/fi-en/> (2017年2月18日閲覧)
- 12) 藤垣洋平, 高見淳史, 大森宣暁, 原田昇：高利便性乗合タクシーサービスの均衡分析と収益最大化手法, 交通工学論文集 (特集号), Vol. 1, No. 2, pp.A_133-A_141, 2015.
- 13) Bar-Yosef, A., Martens K. and Benenson, I. : A model of the vicious cycle of a bus line, *Transportation Research Part B*, Vol. 54, pp. 37-50, 2013.
- 14) Zhang, F., Yang, H. and Liu, W. : The Downs-Thomson Paradox with responsive transit service, *Transportation Research Part A*, Vol. 70, pp. 244-263, 2014.
- 15) Ben-Akiva, M., Bowman, J. L. and Gopinath, D. : Travel demand model system for the information era, *Transportation*, Vol. 23, pp. 241-266, 1996.
- 16) Granovetter, M. : Threshold models of collective behavior, *The American Journal of Sociology*, Vol. 83, No. 6, pp. 1420-1443, 1978.
- 17) 藤垣洋平, 高見淳史, 大森宣暁, 原田昇：柔軟な公共交通を対象とした利用者数とサービス水準の循環構造モデル, 第50回土木計画学研究・講演集(CD-ROM), 2014.
- 18) Donaghy, K., McMahon, U. and McDowell, D. : Yield management: An overview. *International Journal of Hospitality Management*, Vol. 14, No. 2, pp. 139-150, 1995.

A CONCEPTUAL PROPOSAL FOR INTEGRATED MOBILITY SERVICES AND ITS SYSTEMATIC ANALYSIS METHODOLOGY

Yohei FUJIGAKI, Giancarlos TRONCOSO PARADY, Kiyoshi TAKAMI
and Noboru HARATA

Integrated Mobility Services (IMS) provide route search, booking, and payment services of different travel modes such as train, bus, taxi, Demand Responsive Transport (DRT), and car-sharing in one application and under one pricing system. Pioneer among IMS, Mobility as a Service (MaaS) was launched in Finland in 2016, and is expected to be expanded to cities around the world. IMS provide a comprehensive service that can covers all trips of individuals in the target area; as such, it can be an alternative to owning and driving a car. As a result, travel behavior, performance and business condition of independent modes can be affected by the existence of such service. However, adequate methodologies to analyze interactions between users and service producers under IMS schemes have not been substantially discussed. Based on this background, an analysis methodology for IMS named “Multi-Cycle Model” is proposed in this paper, and the calculation of a simplified example is presented.