

運行ログデータによる オンデマンド交通導入方針の達成度評価

稗方 和夫¹・本多 建²・松尾 康平³

¹非会員 東京大学大学院准教授 新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5)
E-mail: hiekata@edu.k.u-tokyo.ac.jp

²非会員 東京大学大学院研究員 新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5)
E-mail: honda@is.k.u-tokyo.ac.jp

³非会員 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5)
E-mail: kmatsuo@s.h.k.u-tokyo.ac.jp

本論文では、システムズアプローチに基づき、自治体のオンデマンド交通導入方針を明示的に定義し、運行ログデータから算出できる評価指標と比較して導入方針に対する達成度を評価する手法を提案する。

本手法では、まずオンデマンド交通における利害関係者分析を行い、交通サービスへの住民の期待をイリティの概念で整理し、その期待を満たすための評価指標と目標値を導入方針として記述する。記述された導入方針に対して、交通サービスの運行ログデータにより、現在の交通サービスがどの水準で満たしているかを評価することで、実運用と導入方針の整合性を評価する。三重県玉城町と神奈川県茅ヶ崎市の運行ログデータを用いたケーススタディで提案手法について基本的な分析ができることを確認した。

Key Words: *Systems approach, On-demand bus, Log data, Itities, Evaluation*

1. 緒言

(1) 目的

日本では近年、自家用車の普及に伴う公共交通の衰退と同時に進行してきた少子高齢化により、高齢者など交通弱者の移動手段の確保が重要課題となってきた。これに対し各地でコミュニティバス、乗り合いタクシー、デマンド交通などの様々な交通手段が導入されてきた。最近では、情報通信技術を活用したオンデマンド交通が、縮小した公共交通サービスを補償する公共交通として導入が進んでいる。一方で、オンデマンド交通を、福祉の観点で最小限の交通手段を提供するものと位置づける地域も出てきている。オンデマンド交通の導入と評価は、その位置づけに応じて異なる方法で行われるべきである。

本論文は、例えば交通サービスと福祉サービスのいずれかをオンデマンド交通導入の基本方針とした場合、基本方針に対して実運用がどのような水準で整合し、目標を達成しているかを評価する手法を提案することを目的とする。ケーススタディとして、これまでに約40の地域に導入されてきたオンデマンド交通「コンビニクル」の運行ログデータを用いて、三重県玉城町および神奈川県茅ヶ崎市を対象に、提案手法による基本的な分析を行い、その結果を確認する。

(2) 背景

日本では近年、高齢化が急速に進展している。内閣府が公表した高齢社会白書¹⁾によると、総人口に占める65歳以上の高齢者の割合は、2013年時点で過去最高の25.1%、2035年には33.4%、2060年には39.9%に到達すると推計されており、高齢者の交通手段の確保は重要な問題となっている。特に高齢化が進む地方部では、路線バスが住民の多様な移動を支えてきたが、利用者は年々減少傾向にある。事業の経営悪化によりサービス水準が低下し、さらに利用者が減少する悪循環により、経営が成り立たず事業者が撤退し、交通不便地域となっている事例も少なくない。

a) 公共交通の課題

公共交通、中でも路線バスの衰退の原因は自家用車の普及による公共交通離れと言われている。しかし、路線バスの衰退とほぼ時期を同じく進んできた少子高齢化も衰退要因として考える必要がある。少子高齢化により大きく変わってきたのが公共交通利用者の移動特性である。公共交通最盛期は、高齢化率も7%程度で、利用の大半が朝夕に顕著なピークがありかつ移動方向がそろった通勤通学需要であった。一方、少子高齢化が進み高齢化率が27%を超えて増加する高齢者の移動は、公共交通利用頻度が月に1回程度と少なく、高齢者人口が増えても移

動の発生はあまり増加しない(図-1)。さらにその移動方向が多様で昼間の時間帯に広く分散しているため(図-2)、通勤通学需要に対応してきた路線定期運行では、少利用者に対し多様な路線を一定の運行間隔を保った運行サービスを維持しようとすれば収支の悪化は避けられない。

これまで、路線バスが衰退した地域で、車両規模を小さくしたコミュニティバスや乗り合いタクシーを路線定期運行している地域は少なくない。しかしこれらの多くが、利用者が減少して結局廃止になるといった状況にあるのは、このような理由が主な要因と考えられる。

b) オンデマンド交通とは

需要が少なく分散した移動が多くなっている地域では、あらかじめ利用者の移動を把握し、その移動に対応したした運行のみを行うことが有効である。利用者の移動を把握する方法として、利用者に移動の予約をしてもらいその予約に応じて運行ルートを決めるのがデマンド交通である。しかし、初期のデマンド交通は、ルートの決定を人手に頼っていたため、正確な運行計画を作成することが難しく、1時間に1運行といった大まかな運行計画が組まれていた。このような運行では、1日中車両を確保しておく必要があり、また、利用者にとっても乗降時刻が1時間単位でしかわからないという不便が生じていた。この問題に対応するため、運行ルートの決定をすべて自動化し、利用者に対しては予約の時点で乗降時刻を明示し、他の予約によりその時刻が変わらないように運行ルートを生産するのが、東京大学で開発されたオンデマンド交通「コンビニクル」である(図-3)。時間に正確な運行計画を自動生成することで、タクシー事業など

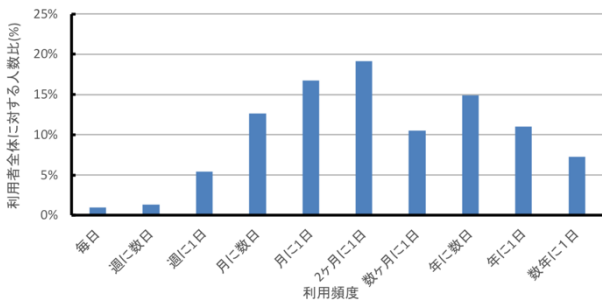


図-1 利用発生頻度(香芝市の運行ログデータより集計)

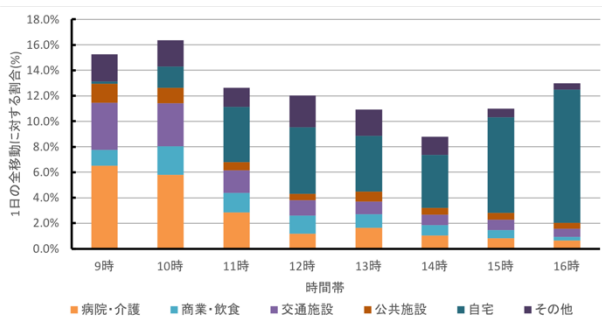


図-2 時間帯別移動量と移動目的地(香芝市の運行ログデータより集計)

の既存事業との連携も可能となり、運行コストの大幅な削減の可能性も出てくる。また、予約も電話による対応以外にスマートフォンやタブレットなども利用でき、ICT技術による観光や福祉との事業連携も容易となる。

c) オンデマンド交通の導入と利用状況

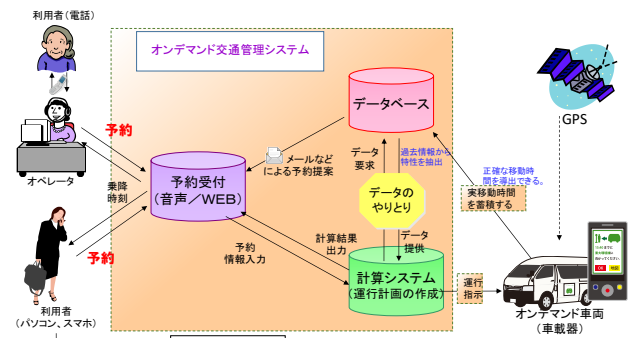
公共交通としてオンデマンド交通を導入する場合、公共交通網形成計画の中のフィーダー系交通の一つの運行サービスとして位置づけられることが多い。

公共交通網形成計画については、国土交通省から策定の手引き²⁾が公開されており、その中に具体的な策定手順や調査の方法、検討での留意点などが示されている。

本論文では、この中で想定された需要についてオンデマンド交通が適しているか、運用にはどのくらいの車両が必要かを簡易に判断する方法を紹介する。この方法は、公共交通網形成計画策定におけるオンデマンド交通の利用可能性の評価³⁾だけでなく、福祉目的などでオンデマンド交通を用いる場合などでも利用できるため、著者らのグループにこれまで問い合わせのあった自治体について実施してきたものである。

コンビニクルの既存の導入地域のログデータを調べると、導入当初の平均日利用者数は当該地域の高齢者人口の1%程度の利用者数となっている地域が多い。このため、国勢調査結果などから対象地域の高齢者人口の分布を調べ、1日の発生需要を想定することができる。また移動の内容も、午前中を中心に医療機関への移動が多く、午後は商業施設への移動が増える傾向があり、平均滞在時間2時間程度を仮定して帰りの移動を想定すれば、対象地域の移動需要を仮定することができる。この仮定をもとにランダムに予約を行い、運行車両数を変更しながら予約シミュレーションを行い、一定以上の予約成立が得られるために必要な車両数を求めることができる⁴⁾。

この必要車両数などをもとに地域の運行事業者と収支の可能性などを協議して実証運行を実施し、想定した利用状況との違いなどから運行内容の改善を行い、次の運行につなげている地域もある。



- 予約受付～配車まで行う自動システム
- ・ICTを活用した使い易いインターフェイスをもった予約機器
 - ・クラウドコンピューティングシステムで様々なデータを蓄積・活用
 - ・セミデマンドなど多様な運行方式に対応できる自動運行計画作成

図-3 オンデマンド交通「コンビニクル」の概要

導入後の状況を見ると、当初は想定した利用者数を下回るが数か月かけて目標を達成し、さらに利用者を増やしている地域が多い。しかし、運行事業者と日単位で車両の借上げ契約を行っている場合などは、一人当たりの運行費用が高くなるといった結果も出ている。これらの実績をどう評価するかは導入の目的により異なる。一般的に収支率は高い方がよいが、高齢者などの移動支援を目的とする場合、多少コストが高くても、高齢者の活動量を示す移動頻度の増加で評価される場合もある。今後、導入目的に応じてオンデマンド交通をどのような指標で評価すべきかを明らかにしていくことが重要である。

d) 本研究の手順

本論文では、システムエンジニアリングの観点から、オンデマンド交通をシステムズアプローチに基づいて分析し、分析を通して明らかとなった評価指標にしたがって、オンデマンド交通の実運用評価を行う。

システムズアプローチとは、システムシンキングとそれに基づく手法群である。システムシンキングとは対象、問題、課題を明示的にシステムとして捉える考え方である。手法の例として、利害関係者を整理するSVN (Stakeholder Value Network : 利害関係者バリューネットワーク) , システムの機能を記述するためのOPM(Object Process Methodology) , 設計空間を明示的に示すことで意思決定項目を明らかにするMM(Morphological Matrix) , システムの複雑性を低減するDSM(Design Structure Matrix) , システムの安全性を向上させるための手法であるSTPA(System Theoretic Process Analysis)などがあげられる。

本研究では、システムズアプローチの手法であるSVNとOPMを用いて、オンデマンド交通の利害関係者の分

析、要求分析、要求に応じた評価指標の考察を行う手順を提案する。その後、運行ログデータを用いて、三重県玉城町および神奈川県茅ヶ崎市を対象に、評価指標についての基本的な分析ができることを確認する。

2. ログデータ

オンデマンド交通協議会では、「コンビニクル」を導入している運営主体から許可が得られた地域について1ヵ月ごとに一定期間の予約記録データと関連ユーザデータ、乗降所データ及び運行条件データを研究機関向けに提供している。本論文の分析はこのデータを利用している。以下にデータが含むフィールド等について述べる。

(1) 予約記録データ

予約記録データには、予約を行った日時、ユーザの希望した日時と、予約処理の結果（成立、不成立、キャンセル等）に対応して確定した乗降日時等が記録されている。予約記録データは表4に示す34項目からなり、乗車者1人につき1件の予約記録が作成される。

(2) ユーザデータ

ユーザデータには、性別や年齢などユーザの属性が記録されている。ユーザデータは表5に示す18項目からなり、利用者一人につき1件のユーザデータが作成される。

(3) 乗降所データ

乗降所データには、乗降所の位置や対象施設の分類などの乗降所の属性が記録されている。乗降所データは表6に示す8項目からなり、乗降所1か所につき1件の乗降所データが作成される。

表4 予約記録データ項目

No	項目名	No	項目名
1)	乗車日	18)	確定操作
2)	操作日	19)	確定号車
3)	操作種別	20)	約束発時刻
4)	上位利用者識別番号	21)	約束着時刻
5)	利用者識別番号	22)	運行乗時刻
6)	元予約番号	23)	運行降時刻
7)	確定予約番号	24)	直行時間
8)	検索操作	25)	調節時間 (未提供)
9)	乗車場所	26)	確定候補順位
10)	降車場所	27)	端末種別
11)	発着条件	28)	操作者 ID
12)	時刻条件	29)	端末番号
13)	時刻指定	30)	取消操作日
14)	号車指定	31)	取消操作時刻
15)	人数	32)	端末種別
16)	発滞留	33)	操作者 ID
17)	着滞留	34)	端末番号

表5 ユーザデータ項目

No	項目名	No	項目名
1)	外部識別番号	8)	分析用記号
2)	性別	9)	属性
3)	年齢	10)	登録日
4)	生年月日	11)	更新日
5)	住所	12)	削除日
6)	自宅乗降場番号	13)	利用回数
7)	世帯番号		

表6 乗降所データ項目

No	項目名	No	項目名
1)	番号	5)	経度
2)	名称	6)	カテゴリ
3)	サブエリア	7)	自宅/共通
4)	緯度	8)	分析用記号

表-7 運行条件データ項目

No	項目名	No	項目名
1)	運行開始日	4)	運行形態
2)	運行台数	5)	運行日
3)	サブエリア		

(4) 運行条件データ

運行条件データは表-7に示す5項目からなるが、地域差があるため、詳細は個別に提供される。

3. 提案手法

本章では、本論文で提案するオンデマンド交通導入の基本方針に対して、実運用がどの水準で整合し、目標を達成しているかを評価する手法について説明する。手法は以下の5つの段階からなる。

- 1) 利害関係者分析
- 2) 利害関係者の要求分析
- 3) システムアーキテクチャ分析
- 4) 評価指標に応じたログデータ分析
- 5) 実運用の評価

それぞれについて、以下の節で順に詳細を述べる。

(1) 利害関係者分析

a) システムにおける利害関係者

利害関係者とは、意思決定を行う状況において利害関係をもつ主体である。システム全体を考えた設計をする上で、例えばFreemanは利害関係者を“any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the organization’s objectives”と定義している⁹⁾。利害関係者には、利害関係者と受益者、あるいはその両方を備えるものが存在する⁶⁾。利害関係者の分析に当たってはこのカテゴリも重要となる。

b) Stakeholder Value Networkによる利害関係者分析

SVN (Stakeholder Value Network : 利害関係者バリューネットワーク)は、利害関係者とそれらの関係性をマッピングし、図-8のような形で表現したものである。ここで、サービスプロバイダーとその受益者の関係性が作成したマップ中に示される。SVNを作成することで、システム内の利害関係者の間接的な関係も考慮できる。また、利害関係者の各関係性を定量化した上で、ネットワーク中の「バリューループ」を探索し、数値的な分析をすることで、重要なループや利害関係者や関係性を特定できる。さらにはそれらの情報を使うことで、システム全体の複雑性を解消することも可能になる。

SVNの作成に当たっては、インターネットや文献を通じた調査、利害関係者へのインタビューなどを実施する。

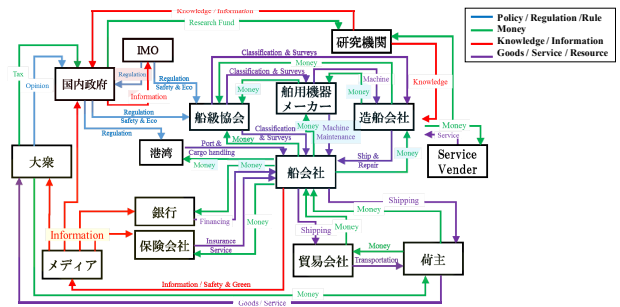


図-8 船会社を中心とした海事産業のSVNの例⁷⁾

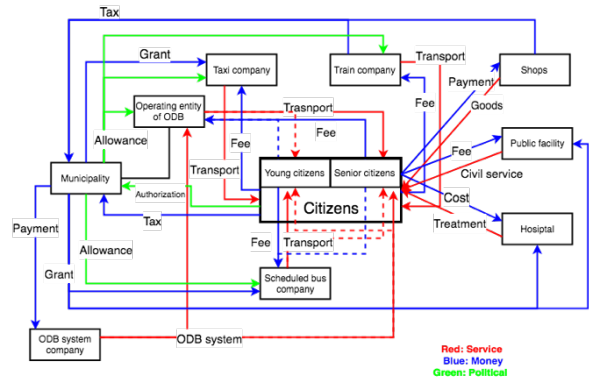


図-9 住民を中心としたオンデマンド交通周辺のSVN

これらから得られた情報に基づき、SVNを作成する。作成に当たっては、まず注目する対象である利害関係者のリストを作成し、次に利害関係者間の関係性を特定する。

注目する対象の決定では、重要な利害関係者を見落とすことはシステム全体に影響を与えてしまうため、SVN分析において非常に大切なステップである。しかし一般に、利害関係者という単語の定義が曖昧なため、利害関係者の特定は簡単ではない。利害関係者の定義は単純な言葉によるものや、プロジェクトマネジメントの観点からのものや、個々の属性に着目したものなどいくつか提唱されている。これらを参照しながら利害関係者を特定するのが現実的な方法である⁹⁾。

なおCrawleyはSVNの作成の3大原則として、以下を挙げている⁹⁾。

- 1) 価値の移動に着目する
- 2) 優れた設計のため包括的な探索を実行する
- 3) 必要最小限で、共通性があり、拡張性のあるやり方で考える

全ての利害関係者を特定した後は、関係性の特定を行う。関係性を特定する際には、図-8のように意志、金、知識など、いくつかの性質に分けて検討するのが良いとされている¹⁰⁾。

c) オンデマンド交通の利害関係者分析

オンデマンド交通について、自治体の住民を中心として、前述の方法に従い実際にSVNを作成した一例を図-9に示す。自治体(Municipality)の一部であるオンデマンド

交通の運営主体(Operating entity of ODB)が、住民に輸送(Transport)という価値を提供する対価として運賃(Fee)を受け取る、という構図がオンデマンド交通サービスの中心である。一方で、住民はタクシー会社(Taxi company)や路線バス会社(Scheduled bus company)といった他の公共交通運営主体による輸送サービスの受益者となっているが、特に高齢者(Senior citizens)に対しては、十分に価値を提供しきれておらず、オンデマンド交通が求められているという構図が見えてくる。ここに、オンデマンド交通に対して高齢者がより期待を寄せる、輸送に対し強いニーズを持つ構図が見て取れる。

(2) 利害関係者の要求分析

a) システムに対する利害関係者の要求

システムに関する利害関係者は、必ずそのシステムに対する要求を持っている。ここで、要求を要求と要求達成時のイリティの要求値により記述するとする。要求は、利害関係者が達成しようとする事業や目的である。詳細を後述するイリティは、要求が達成された際に付帯する性能評価軸に相当する。例えば海上物流の企業であれば、要求は「荷物を出発地から目的地に移動すること」であり、重要なイリティは例えば「安全性」「確実性」「環境性」となる。

b) システムのイリティ

イリティは、ソフトウェアエンジニアリングの分野では非機能要件とも呼ばれる。イリティは、システムが第一に達成すべき目的である機能要件に対する属性として定義され、機能要件が達成された際に受益者の期待と比較して評価する様々な属性のことをさす。イリティはシステムやサービスの性能に関連づけられ、より直接的かつ定量的な評価を行うためには単一、または複数の評価指標が想定される。例えば安全性というイリティを考える際に、事故の発生頻度と損害額の期待値は依存関係があっても同一の指標ではない。安全性というイリティを評価するにあたって、どのように評価指標を定めるかは利害関係者の要求に依存する。利害関係者の要求に基づいた評価軸として採用すべきイリティを選定し、利害関係者の要求は第一の目的と評価軸として選定されたイリティにより表現できる。

通常、同コストではイリティ間はトレードオフ関係となり、特定のイリティのみを向上するには、新たな技術や設計コンセプトを導入するか、追加コストが必要である。また、イリティとしては、技術的な評価軸だけでなく、社会的な評価軸も想定される。品質や定時性、安全性等の性能は技術システムにより支配されるが、まったく新しいサービスシステムの導入には、制度設計の不確実性や既存権益との摩擦といった、社会システムによる

評価軸も加えた多面的な評価が重要となる。評価軸選定にあたり、システムの直接的な第一受益者だけでなく、SVNを援用して利害関係や価値の流れを詳細に分析する必要がある。

オンデマンド交通における要求分析の一例については、本章第3節b項でまとめて提示する。

(3) システムアーキテクチャ分析

a) システムにおけるフォームと機能

システムは一般にフォームと機能という2つの特性によりその振る舞いを記述でき、本論文では交通サービスシステムをフォームと機能により記述する。フォームとはシステムそのものであり、本論文における公共交通の分析では路線バスやオンデマンド交通サービスを想定している。機能は、システムが行うことであり、同じく公共交通の分析では移動させることを指す。機能がフォームにより実現されて要求が達成される際に非機能要件や性能とも呼ばれるイリティが確定する。要求やイリティにはそれぞれ性能評価のための重要な属性を設定する必要がある。例えば、移動という要求については、対象(乗客)の位置が重要な属性および評価指標であり、イリティについては安全性を代表する単位時間当たりの事故率などが重要な属性として想定される。機能とは要求の達成やイリティの向上に寄与するものである。

b) OPMを用いたオンデマンド交通の要求分析とシステムアーキテクチャ分析

システムのフォームと機能を同時に表現するためのモデリング記号の1つとして、OPM(Object Process Methodology)がある。OPMはISOにも登録されている、システム設計のための概念的モデル言語の1つであり、モノとしてのオブジェクトとその変換としてのプロセスに注目し、システムの機能や構造を明示的に表す手法である。

OPMを用いて記述した、オンデマンド交通について、図-9に示されたSVNを元に行った要求分析とシステムアーキテクチャ分析の一例を図-10に示す。

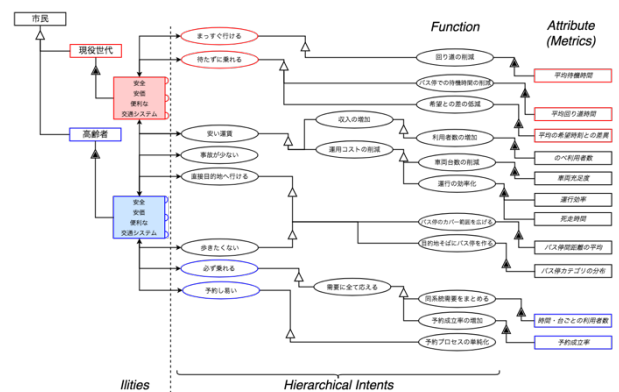


図-10 OPMによるオンデマンド交通の要求分析およびシステムアーキテクチャ分析の記述

オンデマンド交通システムに対し、現役世代の住民と高齢者という複数の利害関係者のニーズが存在している。そのうちいくつかの属性改善のための意図については重複するところもあるが、現役世代の住民と高齢者では異なる部分も存在している。これらの意図のうち現役世代のみの部分を赤色、高齢者のみの部分を青色で示した。この利害関係者における意図の差異が、オンデマンド交通が福祉サービス(高齢者のニーズ中心)となるか、交通サービス(現役世代も考慮する)のどちらかとなるかを左右することが明示的に表現されている。OPMでは、これらの意図を達成するために必要と思われるオンデマンド交通システムの機能を明示的に記述し、その機能を測定するための属性を示した。各機能に対する属性が、システムを評価するための評価指標となる。

この分析に基づく、福祉サービスにおける受益者と要求は、交通弱者である高齢者が安全、確実、便利に目的的に移動できることであり、そこでは徒歩が不要、確実に乗れる、予約し易いなどの意図が存在している。そこから分析される評価指標としては、交通弱者のカバー率としての予約成立率、および1時間、1車両あたりののべ利用者数が考えられる。一方で、重要度が低い評価指標は、利便性(乗車希望時間との差異の平均、回り道の時間、バス停での待機時間など)となる。

一方で、交通サービスにおける受益者と要求は、一般ユーザーが目的的に移動できることであり、利便性、経済効率性、アクセス性が、スケーラビリティ、運行エリアの競合する交通手段やユーザーの行動様式に基づいて期待される性能レベルにこたえる形で達成される必要がある。特に、評価指標としては利便性(乗車希望時間との差異の平均、回り道の時間、バス停での待機時間など)が重視されるものとなる。

本論文では、福祉サービス目的では予約成立率と1時間、1車両あたりののべ利用者数、交通サービス目的では乗車希望時間との差異の平均、回り道時間の平均(平均迂回時間)、バス停での平均待機時間(平均顧客待機時間)を重要な評価指標として用いることとする。

(4) 評価指標に応じたログデータの分析

(3)までの分析で決定した評価指標に従い、オンデマンド交通運営主体から提供されたログデータの分析を行う。ここでは、コンビニクルより提供されたログデータを基に、以下の5つの評価指標の計算方法を述べる。

- 1) 1車両1時間あたりののべ利用者数
- 2) 予約成立率
- 3) 平均迂回時間
- 4) 平均顧客待機時間
- 5) 平均希望予約誤差

本論文では、それぞれ月別のデータを用いることとする。計算方法は既存研究¹⁾を参考とした。それぞれについて、以下の節で詳細を述べる。

a) 1車両1時間あたりののべ利用者数

ログの予約記録データ中の乗車日と操作種別に従って、予約記録を分類、カウントすることで、一定期間中におけるのべ利用者数、予約数、検索数を計算することができる。のべ予約数、のべ検索数は以降の分析中で用いる。1車両1時間あたりののべ利用者数は、一定期間中におけるのべ利用者数と、のべ稼働時間から以下の式により算出される。

$$(1 \text{ 車両 } 1 \text{ 時間あたりののべ利用者数}) = \frac{(\text{期間中ののべ利用者数})}{(\text{期間中ののべ稼働時間})}$$

一定期間中ののべ稼働時間は、正確に行うならば、提供される運行条件データの運行台数、運行形態および運行日だけでなく、車両の借上形態や現場での休憩時間など、現場の運用上の要素を考慮して算出される必要がある。しかし、本論文では簡単のため以下の式で定義した。

$$(\text{期間中ののべ稼働時間}) = (\text{期間中の総運行日数}) \times (\text{日毎の運行時間}) \times (\text{日毎の運行台数})$$

b) 予約成立率

予約成立率は以下の式のように定義した。のべ予約数、のべ検索数は、前項の手順で計算されたものをを用いる。

$$(\text{予約成立率}) = \frac{(\text{期間中ののべ予約数})}{(\text{期間中ののべ検索数})}$$

c) 平均迂回時間

ある一定期間における平均迂回時間は、ログの予約記録データ中の運行乗時刻、運行降時刻、直行時間を用いて以下の式のように定義した。

$$(\text{平均迂回時間}) = \frac{\sum_{\text{期間中の全予約}} \{(\text{運行降時刻}) - (\text{運行乗時刻}) - (\text{直行時間})\}}{(\text{期間中ののべ予約数})}$$

これは、乗客が希望した乗車場所から降車場所まで、乗合無しで直行した場合の所要時間と、実際の所要時間の差を示す。乗合無しで予約通りに走行した場合には、この時間は0分となり、経路中で多数の乗合が生じた場合には、この時間は長くなる。

d) 平均顧客待機時間

ある一定期間における平均顧客時間は、ログの予約記録データ中の運行乗時刻、約束発時刻を用いて以下の式のように定義した。

$$(\text{平均顧客待機時間}) = \frac{\sum_{\text{期間中の全予約}} \{(\text{運行乗時刻}) - (\text{約束発時刻})\}}{(\text{期間中ののべ予約数})}$$

これは、乗客が乗車バス停で待機していた時間を示す。

約束時間通りにバスが到着して乗車した場合には0分となる。一方で、約束時間より遅い時間にバスが到着する場合には、この時間は長くなる。

e) 平均希望予約誤差

ある一定期間における平均希望予約誤差は、ログの予約記録データ中の発着条件、時刻指定、約束乗時刻、約束降時刻を用いて以下の式のように定義した。

$$(\text{平均希望予約誤差}) = \frac{\sum_{\text{期間中の全予約}} |(\text{時刻指定}) - (\text{参照時刻})|}{(\text{期間中ののべ予約数})}$$

$$(\text{参照時刻}) = \begin{cases} (\text{約束乗時刻}) & (\text{if 発着条件} = \text{乗}) \\ (\text{約束降時刻}) & (\text{if 発着条件} = \text{降}) \end{cases}$$

これは、希望した時間と実際に成立した予約での乗降時間のずれを示す。時刻指定が、発着どちらのものであるかの判定に発着条件を用いている。

(5) 実運用の評価

(4)でのログデータ分析により実績値を算出した後、実績値の変動の様子、実績値と各評価指標における目標値の比較、および目標値を基準とした達成割合の計算により、実運用の評価を行う。

4. ケーススタディ

ケーススタディでは、本論文の提案手法の機能的な確認を行う。具体的には、コンビニクルのシステムを利用している、玉城町の元気バス、茅ヶ崎市小出地区の予約乗合バスを対象として、本提案手法に基づいて福祉面と交通面の両方の評価指標を算出することで、基本的な分析が可能であり、市町村ごとの運用状況の比較ができるか確認する。

(1) 分析結果

ログデータの分析は、搭乗日が2016年10月～2017年10

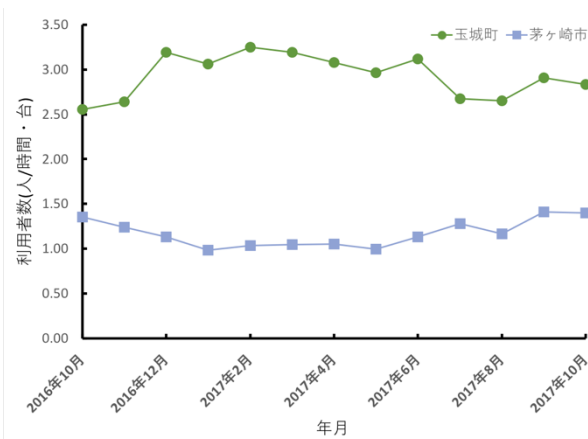


図-11 1車両1時間あたりの利用者数推移

月のデータについて行った。本論文3章4節に述べた手順に従い、5つの評価指標を計算した。

それぞれの評価指標の分析結果を、以下に示す。

a) 1車両1時間あたりののべ利用者数

のべ稼働時間の計算において、運行日数は予約ログデータが存在する日をカウントして求めた。日ごとの運行時間については、運行条件データを参考に、玉城町は8時間、茅ヶ崎市は13時間と設定した。また、日毎の運行台数は、予約ログデータ中の確定号車から、玉城町は3台、茅ヶ崎市は1台と設定した。

図-11に、玉城町と茅ヶ崎市における1車両1時間あたりののべ利用者数推移を示す。2017年10月の実績値は、玉城町の場合は2.83(人/台*時間)、茅ヶ崎市の場合は1.40(人/台*時間)となった。

b) 予約成立率

図-12に、玉城町と茅ヶ崎市における予約成立率推移を示す。2017年10月の実績値は、玉城町の場合は78.1%、茅ヶ崎市の場合は69.2%となった。

c) 平均迂回時間

図-13に、玉城町と茅ヶ崎市における平均迂回時間の推移を示す。2017年10月の実績値は、玉城町の場合は5分31秒、茅ヶ崎市の場合は4分16秒となった。

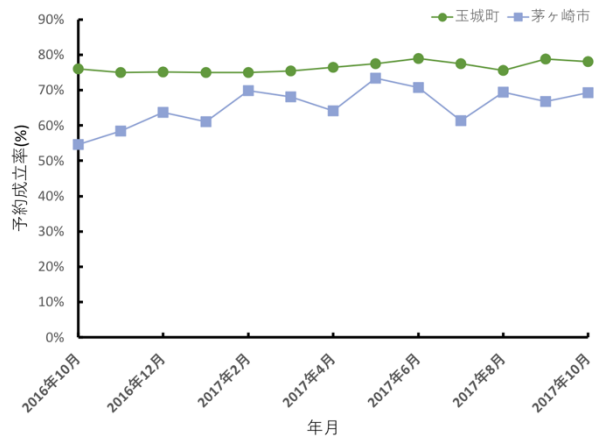


図-12 平均予約成立率の推移

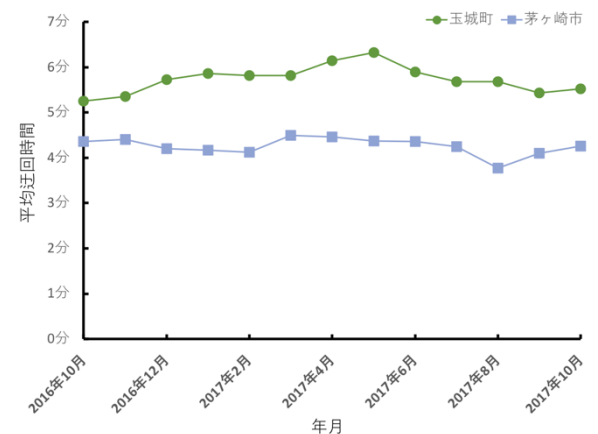


図-13 平均迂回時間の推移

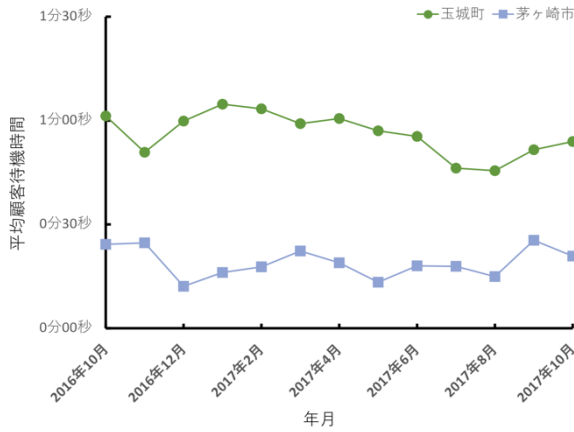


図-14 平均顧客待機時間の推移

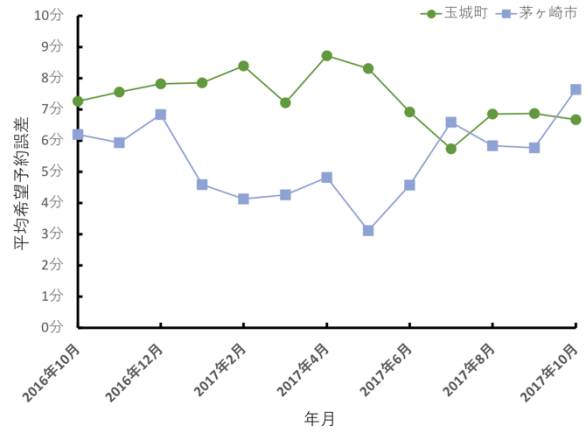


図-15 平均希望予約誤差の推移

d) 平均顧客待機時間

図-14に、玉城町と茅ヶ崎市における平均顧客待機時間の推移を示す。2017年10月の実績値は、玉城町の場合は54秒、茅ヶ崎市の場合は21秒となった。

e) 平均希望予約誤差

図-15に、玉城町と茅ヶ崎市における平均希望予約誤差の推移を示す。2017年10月の実績値は、玉城町の場合は6分40秒、茅ヶ崎市の場合は7分38秒となった。

(2) 分析に基づく評価

玉城町では、オンデマンド交通は福祉課の管轄であり、高齢者を対象とした基本運賃無料の運用がなされているため、玉城町のオンデマンド交通の第一機能は福祉目的であると想定した。一方で、茅ヶ崎市では路線バスが欠如した小出地区に限った予約乗合バスとして運用されているため、茅ヶ崎市のオンデマンド交通の第一機能は交通目的であると想定した。

前節の分析結果によれば、玉城町と茅ヶ崎市では、玉城町の方が1車両1時間あたりののべ利用者数推移および予約成立率が高くなっている。一方で、平均迂回時間と平均顧客待機時間は茅ヶ崎市の方が玉城町に対し低くなっている。このことは、前章3節c項の分析に基づけば、実運用では玉城町は茅ヶ崎市に比べ福祉目的が重視されている一方で、茅ヶ崎市では玉城町に比べ交通目的が重視されていることを示しており、両自治体のオンデマンド交通の第一機能に整合すると考えられる。

(3) 結果と考察

玉城町と茅ヶ崎市について、5つの評価指標それぞれについてコンビニクルのログデータから分析できることが確認された。また、提案手法で取り上げた評価指標により、両自治体の福祉目的、交通目的というオンデマンド交通に対する導入方針の違いを表現し、実運用がそれと整合していることを確認できた。

今回のケーススタディについての考察を述べる。茅ヶ崎市では玉城町に比べ交通目的が重視されているはずであるが、平均希望予約誤差が玉城町に比べ大きくなっている。これは、茅ヶ崎市ではのべ利用者数が増加している一方で予約成立率が増加しており、希望時間とは差があっても予約する顧客が増えたことに起因すると想定される。

また、本論文の提案手法に従って、実運用を評価するにあたって、導入方針に対する定量的な基準値をどのように定めれば良いか、という問題が存在する。評価指標は、各町の利害関係者といった社会的背景、各市町村の運営方針（交通か福祉か）、地形といった地理的背景に影響を受けると考えられる。運営方針や社会的背景によっては、本論文で取り上げた以外の評価指標を用いる必要があると想定される。また、オンデマンド交通協議会が貸与しているコンビニクルログは19市町村に及び、多くの市町村ではオンデマンド交通は福祉目的での運用となっている。それゆえ、福祉目的での基準値は、現在の実績値の市町村平均から推測することができると考えられる。一方で、交通目的の場合については、競合交通機関(主に路線バス)の場合の評価指標に相当する値をベースに決定することで、民間企業の参入を防止することなく運用が可能になると考えられる。

5. 結論

本論文では、オンデマンド交通の基本方針に対して実運用がどの水準で整合し、目標を達成しているかを評価する手法を提案した。また、三重県玉城町および神奈川県茅ヶ崎市の運行ログデータを用いて、提案手法について基本的な分析ができることを確認した。

謝辞：本研究はBrightline Initiativeとの国際共同研究の一環として実施したものである。また、データの分析にあたって支援いただいた順風路株式会社の皆様、学術発展のためのデータ公開をご理解、ご支援いただいている関係各位に対し、ここに深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 内閣府：高齢社会白書，2018.
- 2) 国土交通省：地域公共交通網形成計画及び地域公共交通再編実施計画作成のための手引き，2016.
- 3) 国土交通省：地域公共交通の「サービスのアクセシビリティ指標」評価手法，2016.
- 4) 坪内孝太，大和裕幸，稗方和夫：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），67 巻，1 号，p. 84-94. 2011.
- 5) Freeman, R. E. : Strategic Management: A Stakeholder Approach, Boston: Pitman, 1984.
- 6) Bruce G. Cameron, Edward F. Crawley, Geilson Loureiro, Eric S. Rebentisch, : Value flow mapping: Using networks to inform stakeholder analysis, *Acta Astronautica*, Vol. 62, 4-5, pp.324-333, 2007.
- 7) 稗方和夫, 満行泰河, 上野隆治, 和田良太, Bryan Moser : 海事産業における IoT 技術導入の意思決定支援に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 25 号, pp.175-182, 2017.
- 8) Sutherland T. A. : Stakeholder Value Network Analysis for Space-Based Earth Observation, Master's Thesis, Department of Aeronautics and Astronautics & Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- 9) Crawley E. F. : Lunar Architecture Analysis, USCC Programmatic Workshop on NASA LSS Concepts, 2009.
- 10) Foa U. G. and E. B. Foa : Resource Theory: Interpersonal Behaviors as Exchange, *Social Exchange: Advance in Theory and Research*, New York, Plenum, pp.77-94, 1980.
- 11) 柳澤龍：地域特性を考慮したオンデマンドバスの運行実績の評価，修士論文，東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻，2012.

(2018.7.31 受付)

EVALUATION METHOD FOR THE CONSISTENCY BETWEEN INTENT AND OPERATION OF ON-DEMAND TRANSPORTATION SERVICE DEPLOYMENT

Kazuo HIEKATA, Ken Honda and Kohei MATSUO

Systems approach is a set of methods to consider society and industry as a system and to fulfill the expectations of stakeholders throughout its life cycle. In this paper, we propose a method to evaluate the on-demand transportation service referring to the intent and policy of the municipality. The method explicitly articulates the intent of transportation planning of a municipality for the deployment of on-demand transportation service, then evaluates the operational performances with the log data. In the proposed method, we first analyze the stakeholders by considering the operational situation of the on-demand transportation service as a system. Next, we describe the residents' expectation for transportation services by the concept "ilities." Ilities are called as nonfunctional requirement in the field of soft-ware engineering. Ilities will be transformed into evaluation metrics to measure the level of service qualities in regard to the expectation and intent of the deployment of the services.

We evaluate the quality of operation of the current transportation service based on the evaluation metrics that can be calculated from the operation log data that are available at the on-demand transportation council. We evaluate the consistency between actual operation and implementation policy of the services.