

# 多様な交通手段の乗り継ぎを考慮した経路最適化の試み

An attempt to optimize routes that consider connections between various modes of transportation

戸塚蒼生<sup>1)</sup>, 小幡快世<sup>1)</sup>, 鈴木隆介<sup>1)</sup>, 長谷川浩志<sup>1)</sup>  
Aoi TOTSUKA, Kaisei OBATA, Ryusuke SUZUKI, Hiroshi HASEGAWA

<sup>1</sup> 芝浦工業大学 大学院理工学研究科 システム理工学専攻 (〒337-0003 埼玉県さいたま市見沼区深作 307)

This study proposes a Level 4 Mobility as a Service (MaaS) system that integrates five transportation modes—bus, taxi, bicycle, on-demand bus, and transit using cooperative optimization of multiple algorithms. By combining user and operator perspectives, the system offers optimal route and mode selections, enhancing service adaptability and integration. It also incorporates a “Tabimae mind search system” to suggest tourist destinations based on users’ potential interests, aiming to create new value.

**Key Words:** Level 4 MaaS, On-demand bus, transit, Tabimae mind search system.

## 1. はじめに

近年、複数の公共交通機関やその他の移動サービスを統合し、検索・予約・決済を一括で行える「Mobility as a Service (MaaS)」が注目を集めている。日本においては、すでに、一定レベルの移動水準が整っているため、単なる移動手段の提供だけでなく、「移動+α」の付加価値を加えることが重要である。つまり、新たな価値創生と組み合わせなければ、MaaS 単体での持続的な運営は難しい。このような背景から、本田らは画像から物体や色彩を抽出し、それに基づく感情解析によって観光地の最適提案を行う「タビマエマインド探索システム」を開発した[1]。また、小幡らは、管理・運営側と顧客側の双方を考慮した「複合領域最適化」を、協調的最適化手法を用いて観光ルートの提案を行った[2]。

本研究では、「タビマエマインド探索システム」を新たな価値創出とし、複合領域最適化に統合し、多様な交通手段の乗り継ぎを考慮した経路最適化を試みた。この試みにより、新たな価値創出と「三方良し」(社会的便益、顧客便益、経済的便益)を実現し、レベル 4 MaaS の実装に向けたシミュレーション環境の構築を目指す。なお、観光地や発着地点の選定には、有名な観光地である栃木県那須町・那須高原エリアを対象とした。

## 2. システム構成

ここでは、鈴木らの協調的最適化フレームワーク[3]に、平井らの乗り継ぎルート最適化システム[4]を加え、「移動+α」の価値創生を目指しタビマエマインド探索システム[1]を統合したシミュレーション環境を構築する。このシミュレーション環境のシステムフローを図1に示す。

図1では、初めにタビマエマインド探索システムを用いて、観光地の提案を行う。次に、提案された観光地を用いてオンデマンドバスのルート最適化を行う。また、乗り継ぎルート最適化システムより、複数の交通手段を乗り継いだ移動ルートを取得する。得られたそれぞれの移動時間と料金を連成変数とし、協調的最適化のフレームワークに受け渡す。連成変数値を用いて協調的最適化を行い、最終的な観光ルートと移動手段を決定する。

### 2. 1 オンデマンドバス最適化システム[4]

事前予約情報を基に顧客をクラスタリングし、各クラスに対して貪欲法と近傍探索法を用いて最適なルート

を構築する。さらに、条件を満たした時には、リアルタイム予約と、既存交通との乗り継ぎを考慮することで、利用者の利便性と地域全体の交通効率向上を実現する。また、料金設定は、5 kmまで 450 円とし、それ以降は 1 kmごとに 200 円とする。

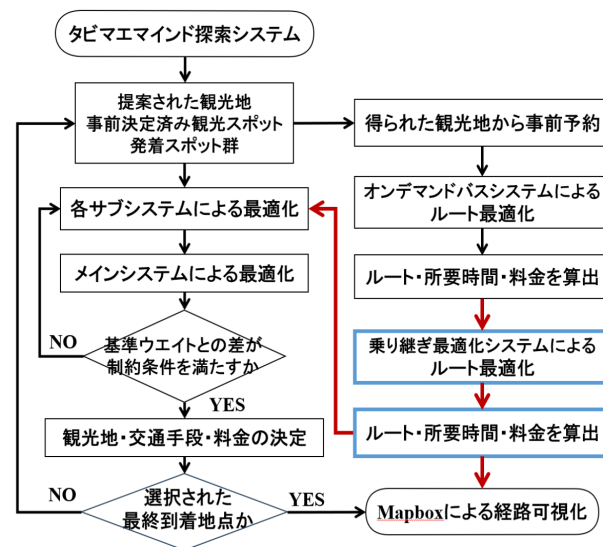


図1 システムのフローチャート

### 2. 2 乗り継ぎルート最適化システム

顧客からの予約情報を基に、複数の交通手段を乗り継いだ移動ルートの提案を行う。乗り継ぎの条件を満たす場合に、バスやレンタサイクルを用いた乗り継ぎルートを取得する。また、レンタサイクルの仮想ステーションは、惣野らの自動運転を考慮した最適配置シミュレーションの結果を用いた[5]。

### 2. 3 協調的最適化

ここでは、図2の協調的最適化により複合領域最適化を実施する。サブシステム A~C にて、定量的データや定性的データからウエイト  $W_{S,i}$ ,  $W_{N,i}$ ,  $W_{Q,i}$  を算出する。次に、観光地  $i$  の基準ウエイトの初期値  $A_i$  を設定し、各サブシステムに送る。各サブシステムの目的関数は以下の式(1)、

(2), (3)であり, 得られたウエイトと基準ウエイトの二乗誤差 $D_{S,i}, D_{N,i}, D_{Q,i}$ の最小化を各サブシステムで求め, 得られた最適ウエイトをメインシステムに返す.

Minimize  $D_{S,i} = \sum (W_{S,i} - A_i)^2$  (1)

Minimize  $D_{N,i} = \sum (W_{N,i} - A_i)^2$  (2)

Minimize  $D_{Q,i} = \sum (W_{Q,i} - A_i)^2$  (3)

またメインシステムでは, 3つのサブシステムから受け取ったウエイトが制約条件を満たした上で最大化するように最適化する. メインシステムの目的関数を式(4), 制約条件を式(5)に示す.

Maximize  $F(A) = W_{S,i} + W_{N,i} + W_{Q,i}$  (4)

$R = \sum (W_{S,i} - A_i)^2 + \sum (W_{N,i} - A_i)^2 + \sum (W_{Q,i} - A_i)^2 \leq 0.01$  (5)

制約条件を満たさない場合には基準ウエイト $A_i$ を更新し, 最適化を続行する. 以上の処理を繰り返し行うことで移動ルートと用いる移動手段が決定する.

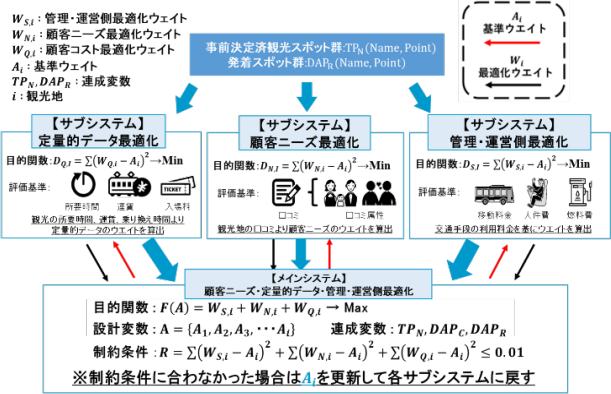


図2 協調的最適化による複合領域最適化

サブシステム A : 顧客ニーズ把握システム

入力された観光地から口コミを抽出し, テキストマイニングにより評価点を算出する. 評価は, 口コミデータの形態素解析と, 点数化された単語を用いて行う.

サブシステム B : 定量的データ最適化システム

連成変数値から入場料, 移動にかかる運賃, 移動時間を用いて定量的データのウエイトを算出する.

サブシステム C : 管理・運営側最適化システム

連成変数値から各交通手段を用いた際の移動料金や利益を計算し, 人件費や燃料費と併せてウエイトを算出する.

3. シミュレーション結果

タビマエマインド探索システムに動物の画像を入力し, 訪れたい地域を「栃木県那須町」, 目的を「観光」とした. その条件から得られた結果, 「カシュカシュの森」という観光地が提案された. 次に, 出発地点を「道の駅友愛の森」とし, オンデマンドバスの事前予約を行う. 予約情報を基にオンデマンドバス最適化を行い, 設定した5人の顧客のうち顧客1, 4(顧客2, 3, 5は別ルート)が同じバスに乗るルートが得られた.

また, 乗り継ぎルート最適化システムの結果の詳細を図3に示す. ここでは, 「道の駅友愛の森」から観光周遊バスに乗り, その後レンタサイクルで移動するというルートが得られた. これらの連成変数値から協調的最適化を行い, 得られた各観光ルートの結果を表1, 表2に示す. ただし, 表1は4人グループの場合で, 表2は1人で目的地に向かった場合の結果である. なお, 想定した交通手段は, バス, タクシー, レンタルサイクル, オンデマ

ンドバスの5つの乗り継ぎである.

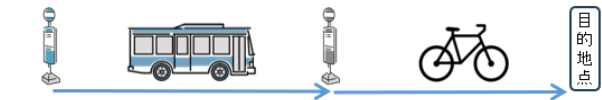


図3 乗り継ぎルート最適化システムの結果

表1 4人グループの協調的最適化の結果

管理・運営側	顧客側	複合領域最適化
乗り継ぎ	タクシー	乗り継ぎ
¥965 14 m	¥400 7 m	¥965 14 m

表2 1人の協調的最適化の結果

管理・運営側	顧客側	複合領域最適化
タクシー	レンタサイクル	レンタサイクル
¥1,600 7分	¥130 16分	¥130 16分

つぎに, 東北新幹線の最寄駅である那須塩原駅を出発地点に設定した場合の結果を表3, 表4に示す.

表3 4人グループの協調的最適化の結果

管理・運営側	顧客側	複合領域最適化
オンデマンドバス	レンタサイクル	オンデマンドバス
¥2,250 26分	¥530 77分	¥2,250 26分

表4 1人の協調的最適化の結果

管理・運営側	顧客側	複合領域最適化
タクシー	レンタサイクル	乗り継ぎ
¥7,280 23分	¥530 77分	¥1,030 55分

4. まとめ

表1, 表4の結果より, 利用者側と管理運営側の双方を考慮した複合領域最適化で, 「乗り継ぎ」が選ばれていることがわかる. このことから, 「乗り継ぎ」の利便性・必要性が分かる. また, 人数を4人グループから1人に変更して複合領域最適化を実施すると, 交通手段が異なるルートが提案された. 人数に応じて, 最適な交通手段を提供していることも確認できた. 今後は, 那須地区の観光客や外国人に対するアンケートを実施することで, 本システムの妥当性確認を行う.

参考文献

[1] T. Honda, K. Yamamoto, H. Hasegawa, TABIMAE Mind Search System: Exploring Best Tourist Sightseeing Spots Match Mental Values before Travel, Procedia Computer Science, Vol. 225, pp4493-4501. 2023.

[2] 小幡快世, 鈴木隆介, 長谷川浩志, レベル4のMaaS実現に向けた複合領域最適化の一試行, 日本計算工学講演会論文集, Vol. 28, 2023.

[3] 鈴木隆介, 鈴木啓太, 長谷川浩志, MaaSに向けた口コミ情報とステークホルダーを考慮した観光ルートの最適化, 計算工学講演会論文集 Vol26, 2021.

[4] 平井恵悟, 平岡優希, 鈴木隆介, 長谷川浩志, MaaSを考慮したオンデマンドバスのルート最適化, 日本計算工学講演会論文集 Vol. 26, 2021.

[5] 惣野源也, 長谷川浩志, 自動運転を考慮したワンウェイ型カーシェアリングの最適配置と可視化シミュレーション, 計算工学講演会論文集 Vol. 28, 2023.