

# 公共交通機関利用時の混雑回避を目的とした 移動ルート推薦システムの構築

坂原 龍輝<sup>†</sup>  
公立はこだて未来大学<sup>†</sup>

奥野 拓<sup>‡</sup>  
公立はこだて未来大学<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

近年、新型コロナウイルス (COVID-19) 感染拡大防止のため、三密を避けた行動が求められている。公共交通機関利用者が混雑を避けてルートを選択する際、事前に混雑度を知ることのできるサービスは少なく、また、混雑度を知ることができても混雑区間まで考える場合、路線一つひとつ調べ比較しなければならず負担が大きい。そこで本研究では、混雑回避を目的とした移動ルート推薦システムを構築する。

混雑回避のためのルートを紹介するにあたり、過去の公共交通機関の乗降実績データを使用し未来の乗客人数を予測する。予測した混雑度と移動時間や交通費などのルート選択における複数の条件を考慮したルート推薦アルゴリズムによりルートを紹介する。

本稿では、函館市内路線バスを対象とした乗客予測モデルおよび混雑回避ルート推薦システムの構築とその評価実験について報告する。

## 2 関連研究

公共交通機関の混雑状況を予測する手法として、青地らは路線バスの混雑状況を交通系 IC カードから得られた過去の乗降データから予測する手法を構築している [1]。これは、過去の乗客人数や時間帯、天候などを学習データとし、機械学習アルゴリズムであるランダムフォレストを用いて予測する手法である。

複数の条件下におけるルート推薦手法として、平野らは観光客の時間やお金、体力といった複数のリソース消費を目的変数とした、多目的最適化によりユーザの要求に沿ったルートを紹介する手法を構築している [2]。この手法では、多目的最適化の目的変数として、観光における最大消費金額や目的地到達までの目標時間、消費時間など 8 変数を使用する。ルート推薦には、多目的最適化手法の中でも複数の組み合わせにおいて短時間で組み合わせパターンを導く多目的遺伝的アルゴリズムである NSGA-II を使用している。

## 3 乗客人数予測モデル

本システムでは、交通系 IC カードの乗降実績を過去の乗客人数データとして用いる。乗客人数を予測するにあたり、青地らの評価実験において高い精度が得られている機械学習アルゴリズムのランダムフォレストを用いて予測モデルを構築する。本システムで使用する学習データを図 1 に示す。天候データは、気象庁が公開しているデータを用い、「晴れ」や「雨」「雪」などの天候情報を使用する。また、出発時間帯の天候に加え、その日の朝の天候情報を使用する。時間帯は、朝の通勤・通学や夜の帰宅などのように時間帯と乗客人数が連動するため使用する。

## 4 ルート推薦アルゴリズム

路線バスにおける混雑回避策として、「混雑度の低い便に乗車する」「混雑区間に乗車しない」という方法がある。そこで、混雑度の低い便を推薦するほか、混雑度の低い区間だけ乗車し、それ以外を歩行するルートも推薦する。本システムでは、ユーザが入力した「出発地」「目的地」「出発日」「出発または到着目標時刻」をもとに、「乗車停留所」「降車停留所」「バス系統」「バス出発時間」を推薦する。

ユーザがルート選択する際、混雑度のほかに移動時間や交通費など様々な条件を比較して行う。そこで、平野らの手法と同様に多目的最適化手法を用いてルートを紹介する。本システムでは、目的変数の数が多い場合でも高い収束性が期待される NSGA-III を用いる。

### 4.1 目的変数の選定

本研究では、平野らが選定した目的変数を参考に、混雑度と移動に関する以下のデータを使用しルートを紹介する。

- 歩行時間（バスに乗らずに歩く区間に要する時間）
- 総移動時間（出発地から到着地までの総移動時間）
- 目標時刻との差（出発目標時刻とバスの出発時刻の差、または到着目標時刻とバスの到着時刻の差）

表 1 予測に使用するデータ

| 使用データ | データの内容   |
|-------|--|
| 乗客人数  | バスの乗客人数  |
| 停留所番号 | 停留所を特定するための番号  |
| 日時    | バスが運行された日の日付と 1 時間ごとの時間帯                                 |
| 曜日    | バスが運行された日の曜日   |
| 天候    | 運行日の出発時間帯とその朝の天候   |
| 時間帯   | 朝 (0:00~10:59)、昼 (11:00~16:59)、夜 (17:00~23:59) の 3 つの時間帯 |

Construction of a Route Recommendation System for Avoiding Crowded in Public Transportation

<sup>†</sup> Ryuki Sakahara, Future University Hakodate

<sup>‡</sup> Taku Okuno, Future University Hakodate

- 交通費
- 混雑度（路線バスの乗降実績データを使用し予測したもの）

歩行時間は、OpenStreetMapの最短経路を算出することができるOSRM [3]により算出する。総移動時間は、歩行時間と路線バスの定刻の出発時刻、到着時刻を用いて算出する。混雑度は、3章で構築した乗客人数予測モデルより予測された停留所ごとの乗客人数を、国土交通省が定めたガイドライン [4]に沿って区分する。ガイドラインでは座席・立ち席の利用率を判定条件としているが、本システムにおいては着席状況にかかわらず乗車人数より混雑度を区分する。使用されるバスによって座席数が異なり、また、どのバスが使用されるかは当日まで特定できない。そのため、本システムでは、主に使用されている車種（座席数16席、つり革・手すり14ヶ所）に限定して混雑度を区分する。具体的な判定条件を表2に示す。乗車区間全体の混雑度の最大値と平均値をアルゴリズムの目的変数として使用する。

### 5 評価結果

4章のアルゴリズムの有効性を検証するため、目的変数として混雑度を使用した場合と使用しなかった場合の比較実験を行った。入力データは、出発地を公立はこだて未来大学、目的地を五稜郭タワー。出発日を2021年6月24日、出発目標時刻を17時00分とした。なお、今回の実験に用いたシステムでは交通費は未実装である。

推薦されたルートの評価を表3、表4に示す。また、各ルートと停留所ごとの混雑度を図1に示す。混雑度を使用しなかった場合はルートAのみが推薦され、混雑度を使用した場合はルートAを含む3ルートが推薦された。ルートAとルートBは乗降停留所が一致し、便が異なる。ルートAとルートCは便が一致し、降車停留所が異なる。

ルートAとルートBはそれぞれ「目標時刻との差」「混雑度」を重視した場合のトレードオフの関係にある妥当なルートである。しかしながらルートCでは、ルートBより1つ後の停留所が降車停留所として選ばれ、必要以上バスに乗車し混雑回避の目的を満たしていない。また、歩行時間、移動時間ともにルートAよりも劣る。これは乗車区間が伸びたことで平均混雑度が低下し、結果としてルートの評価値が上がったことが原因であると推測できる。そのため、目的変数として使用する混雑度の評価方法を改善する必要がある。

表2 混雑度

| 混雑度レベル | 混雑度判定条件          |
|--------|------------------|
| 1      | 乗車人数が8人以下        |
| 2      | 乗車人数が9人以上、16人以下  |
| 3      | 乗車人数が17人以上、23人以下 |
| 4      | 乗車人数が24人以上、30人以下 |
| 5      | 乗車人数が31人以上       |

表3 混雑度を使用しない場合の推薦ルートの評価

| ルート  | 歩行時間 | 総移動時間 | 目標時刻との差 | 最大混雑度 | 平均混雑度 |
|------|------|-------|---------|-------|-------|
| ルートB | 13.4 | 33.4  | -3      | 4     | 2.93  |

表4 混雑度を使用した場合の推薦ルートの評価

| ルート  | 歩行時間 | 総移動時間 | 目標時刻との差 | 最大混雑度 | 平均混雑度 |
|------|------|-------|---------|-------|-------|
| ルートA | 13.4 | 33.4  | -13     | 2     | 1.53  |
| ルートB | 13.4 | 33.4  | -3      | 4     | 2.93  |
| ルートC | 14.2 | 35.2  | -3      | 4     | 2.81  |

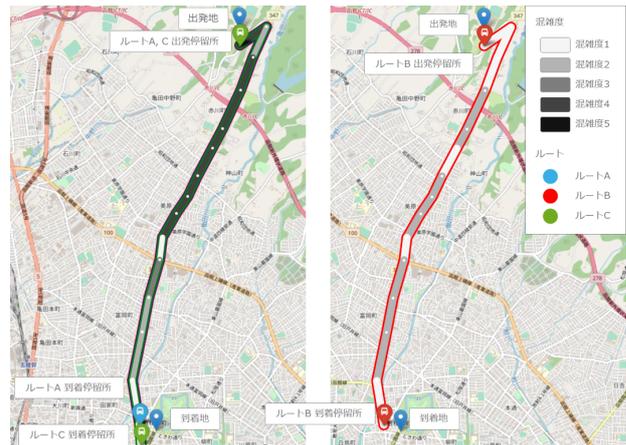


図1 各ルートの乗降車位置と各地点の混雑度

### 6 おわりに

本研究では、路線バスの乗客予測モデルと混雑回避のためのルート推薦アルゴリズムを構築した。乗客予測モデルは、交通系ICカードの乗降実績を用いて構築した。ルート推薦アルゴリズムは、予測した混雑度を用いた多目的最適化手法を使用し構築した。今後は、本システムと既存のルート推薦サービスとの比較実験を行うほか、ルート推薦アルゴリズムの目的変数を改善する。

**謝辞** 交通系ICカードデータおよび運行実績データを提供いただいた函館バス株式会社に深く感謝の意を表す。

### 参考文献

- [1] 青地美桜, 白石陽, 交通系ICカードの乗降データを用いた路線バスの乗客人数予測手法の提案, 情報処理学会, 第82回全国大会講演論文集, pp. 353-354, 2020.
- [2] 平野陽大, 諏訪博彦, 安本慶一, ユーザのリソースの消費を考慮した意思決定支援のための複数経路提示手法の検討, 情報処理学会, DICOMO 2019 論文集, pp. 830-839, 2019.
- [3] Project OSRM, Open Source Routing Machine, <http://project-osrm.org>. (参照 2021-12-24)
- [4] 国土交通省, 公共交通機関のリアルタイム混雑情報提供システムの導入・普及に向けたガイドライン(バス編), <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001367445.pdf>. (参照 2021-12-24)