

社会コスト要素を追加したライドシェアリングシステムの運行最適化モデル

(株) 建設技術研究所 正会員 ○伊藤 祥汰
大阪市立大学 正会員 内田 敬

1. 研究背景・目的

近年、シェアリングの浸透と自動運転技術の発達により、自動運転ライドシェアリングが新たな交通サービスとして注目されている。このサービスの導入には、利用者の移動需要を与件として、最適な運行計画や車庫配置計画などを決定するモデルを構築する必要がある。

本研究では既往研究^{1),2)}で提案されている最適化モデルの社会コストを拡充する。数値計算では重みパラメータの感度分析と最適車庫配置決定問題の例を示す。

2. モデルの概要

(1) 定式化

本研究の最適化モデル式は次のように記述される。

目的関数

$$\begin{aligned}
 f = & \alpha_1 \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ij} y_{ijtt'}^r \\
 & + \alpha_2 \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \sum_{t' \in T} \sum_{i \in N} \gamma_1 c_{ii} y_{iitt'}^r \\
 & + \sum_{r \in R} \left\{ \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ii} \{ \alpha_{31} \max(t_{d,des}^r - t_{d,act}^r, 0) + \alpha_{32} \max(t_{d,act}^r - t_{d,des}^r, 0) \} \right. \\
 & \left. + \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ij} \{ \alpha_{33} \max(t_{d,des}^r - t_{d,act}^r, 0) + \alpha_{34} \max(t_{d,act}^r - t_{d,des}^r, 0) \} \right\} \\
 & + \beta_1 \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_2 c_{ij} \delta_{ijtt'}^a + \beta_2 \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_2 c_{ij} \delta_{ijtt'}^e \\
 & + \beta_{30} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \gamma_2 c_{ik} x_{iitt'}^k + \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \gamma_3 c_{ii} x_{iitt'}^k \left(\beta_{31} \sum_{p \in P_1} z_k^p + \beta_{32} \sum_{p \in P_2} z_k^p + \beta_{33} \sum_{p \in P_3} z_k^p \right) \\
 & + \beta_4 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \gamma_4 x_{pjt}^k z_k^p \rightarrow \min \quad (1)
 \end{aligned}$$

where

$$\delta_{ijtt'}^a = \left[\sum_{r \in R} y_{ijtt'}^r \div S \right] \quad (2)$$

$$\delta_{ijtt'}^e = \sum_{k \in K} x_{ijtt'}^k - \delta_{ijtt'}^a \quad (3)$$

$$P_1 \cap P_2 = \emptyset, P_2 \cap P_3 = \emptyset, P_3 \cap P_1 = \emptyset, \bigcup_{i=1}^3 P_i = P \quad (4)$$

$$t_{d,act}^r = \min \left(\arg(y_{ijtt'}^r = 1) \right) \quad (5)$$

$$t_{d,des}^r = \max \left(\arg(y_{ijtt'}^r = 1) \right) \quad (6)$$

$x_{ijtt'}^k$: 車両 k が時刻 t , ノード $i \rightarrow j$ 移動のとき 1,

$y_{ijtt'}^r$: 利用者 r が時刻 t , ノード $i \rightarrow j$ 移動のとき 1,

z_k^p : 候補地 p に車両 k を配置するとき 1.

c_{ij} : リンク ij の所要時間

α, β : 優先度パラメータ

γ : 費用換算係数

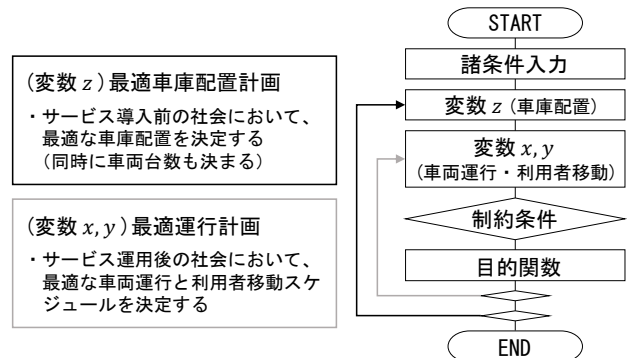


図1 求解の概略フロー

$t_{d,des}^r, t_{d,act}^r$: 利用者 r の希望出発時刻, 実出発時刻

$t_{d,des}^r, t_{d,act}^r$: 利用者 r の希望到着時刻, 実到着時刻

P_1, P_2, P_3 : 料金種別 i の車庫集合

S : 車両 1 台当たりの可能乗客人数

目的関数は第1項から順に、(1項~3項)利用者の移動時間、待ち合わせ時間、スケジュール調整時間、(4項~7項)車両の実車走行時間、回送時間、車庫以外のノード滞在時間、車庫ノード滞在時間、(8項)業務車両台数を表す。このうち第3項と第7項が今回拡張した要素である。

第3項のスケジュール調整時間は、希望出発時刻に対する早発・遅発と希望到着時刻に対する早着・遅着から成る。第7項において、車庫の料金形態は無料・有料(低コスト)・有料(高コスト)の3種類を設定している。

式(2), (3)は車両の移動において実車・空車台数を表すダミー変数である。式(4)は料金形態別の車庫候補地集合に関する条件であり、式(5), (6)は利用者の実出発時刻・実到着時刻を表すダミー変数である。

(2) 求解の基本方針

求解フロー(図1)は車庫配置変数 z のループと車両運行・利用者移動変数 x, y のループで構成される。

最適車庫配置計画では本交通サービスの導入前において、導入する地域の移動需要を用いた数値計算を行うことで、最適な車庫配置を決定する。最適運行計画ではサービス運用後において、利用者の移動需要を満たす最適な車両運行・利用者移動スケジュールを決定する。

本モデルは組合せ最適化問題であり、NP困難問題に属

キーワード 相乗り乗車, 数理計画, 組合せ最適化, 車庫配置, 運行スケジュール

連絡先 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7 (株)建設技術研究所 大阪本社 TEL: 06-6206-5555

する。そのため、数値計算には数理最適化ソルバーである Gurobi Optimizer³⁾を適用し、分枝限定法と実数の線形計画法によって解く。計算環境としては Intel Core i5-7500 CPU 3.40GHz, メモリ 16.0GB の計算機を使用している。

3. 重みパラメータの感度分析

ライドシェアサービスが導入後、つまり車庫配置が固定で、1)利用者のトリップ目的や、2)導入する地域の違いが最適解にどのような影響を与えるか分析する。

(1) 交通ネットワーク

交通ネットワークは図2に示す、リンク所要時間がいずれも 1Ts の正方ネットワークとする。車両台数は利用者数と同数 (3 台) とし、車庫配置、料金形態、駐車可能台数を設定する。

(2) 利用者のスケジュール情報

利用者数は 3 人、TS スケールは 18Ts とする。各利用者のスケジュール情報 (図3) においては、利用者の早発・遅着を許容するため、移動可能時間帯を拡張する。

(3) 分析 1: トリップ目的の考慮 (Case1, Case2 の比較)

利用者トリップ目的を考慮し、スケジュール調整時間に係る重みパラメータ値 (具体的な数値は発表時に示す) を変化させたときの最適解の経路図を図4(a), (b)に示す。

通勤通学トリップ (Case1) では利用者の希望スケジュールが優先され、個々で移動し、私用トリップ (Case2) では利用者が早発・遅着を行うことで相乗りを発生させ、車両の走行時間や回送時間を低減させる結果となった。

(4) 分析 2: 導入地域の考慮 (Case3, Case4 の比較)

導入を想定する地域を考慮して、車庫駐車時間に係る重みパラメータ値 (具体的な数値は発表時に示す) を変化させたときの最適解の経路図を図4(c), (d)に示す。

都心部を想定した場合 (Case3) は駐車コストが高いため、業務時間外の車両は回送を行い、郊外を想定した場合 (Case4) は車庫で滞在する結果となった。

4. 最適車庫配置計画問題

ライドシェアサービス導入前の車庫配置最適化計算において、複数の車庫候補地を設定した交通ネットワークと正規乱数によって生成した利用者の需要分布を条件として与え、数値計算を行った結果 (詳細は発表時に示す)、需要に対応できる車庫候補地が選択され、モデルの有用性が確認された。数値計算は分枝限定法における許容 GAP 値を 5%として行い、実行時間は約 3200s であった。

5. 結論

本研究では利用者・運行コスト要素を追加して実用性

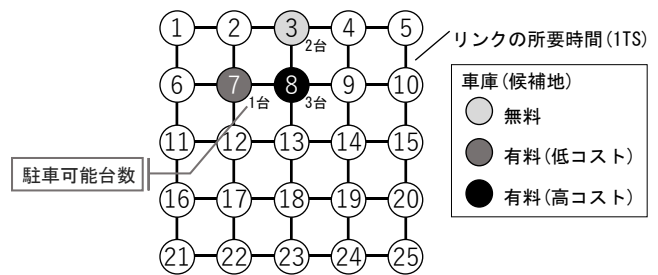


図2 交通ネットワーク



図3 利用者のスケジュール情報

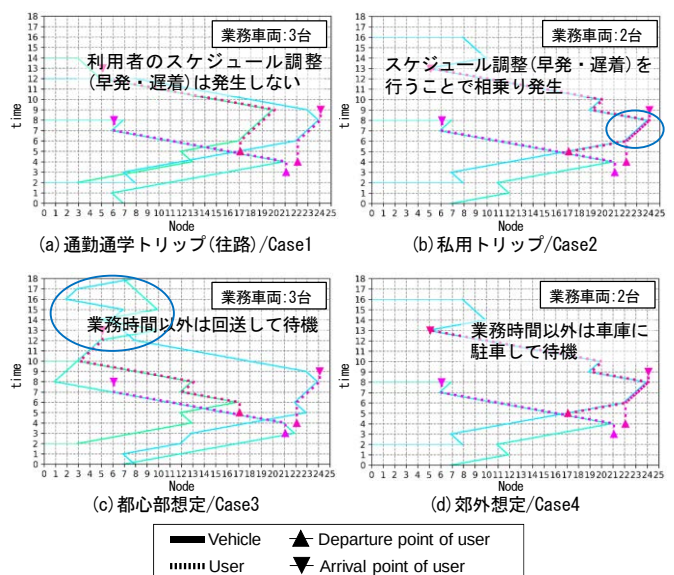


図4 経路図

を増した最適化モデルの構築を行った。数値計算では重みパラメータの感度分析と最適車庫配置決定問題の例を示し、モデルが有効に機能していることを確認した。

今後は乗車車両の区別や予約の受付可否、予約の逐次更新等を取り入れたモデルの拡張が課題である。また大規模ケーススタディによる導入可能性検討が必要である。

参考文献

- 1) 愛甲聡美, THAITHATKUL Phathinan, 瀬尾亨, 朝倉康夫: アクティブパターンを与件としたシェアリング車両の最適割り当て問題, 土木学会論文集 D3, Vol.73, No.5, pp.I_1233-1242, 2017.
- 2) 伊藤 祥汰, 内田 敬: 車庫配置変数を含むライドシェアリング運行最適化問題の定式化と解集合限定法, 第40回交通工学研究発表会論文集, pp.567-572, 2020.
- 3) Gurobi Optimization Inc.: Gurobi Optimization Reference Manual, <http://www.gurobi.com>, 閲覧日時 2022/3/14.