

数理最適化を用いたサービス工学の事例 —通勤カープールの実証実験—

橋上 英宜, 繁野 麻衣子

サービス工学における数理最適化技術の適用事例として、通勤渋滞緩和を目的とする通勤カープールのサービス導入の試みを紹介する。通勤カープールでは、誰が相乗りするかを決定する必要がある、それを決定するのは、配送計画問題として知られる古典的な最適化問題の特殊ケースとみなせる。しかし、単に最適化問題として扱うのみではカープールの運用には程遠く、日本の習慣などを鑑みて最適化モデルを作成したり、実際に利用者の反応を確かめてモデルを修正する必要がある。そのための実証実験と導入に向けた取り組みを紹介する。

キーワード：数理最適化, 通勤カープール, 実証実験

1. サービス工学における数理最適化

数理最適化技術は、オペレーションズ・リサーチの歴史のなかでも有限資源の効率的利用において大いに活用されてきている。サービス工学において、数理最適化はサービス提供システムの設計を支える基盤技術の一つといえるが、顧客接点からの分析や経営視点から戦略立案との融和性が求められる。そして、システム設計においてはサービスの特徴でもある無形性、不均一性、不可分性などから柔軟な最適化モデルが必要といえる。数理モデルとしては古典的であっても、変容を続ける人間の感性や経験を反映させて細かなモデル修正を繰り返すことが不可欠である。

本稿では、サービス工学における数理最適化技術の適用事例として、通勤カープールのサービス導入の試みを紹介する。地方都市では、通勤手段として自家用車への依存が高く、出退勤時に深刻な交通渋滞が発生している。この通勤渋滞への対策の一つに、複数の通勤者が自家用車で送迎し合う車の相乗り（カープール）がある。自治体や企業でのエコ通勤の推奨もあり通勤カープールは注目される一方で、多くの参加者がいないとその有効性が発揮できない。この通勤カープールでは、誰が相乗りするかを決定する必要がある、それを決定する問題は、配送計画問題として知られる古典

的な最適化問題の特殊ケースとみなせる。しかし、単に最適化問題として扱うのみではカープールの運用には程遠く、日本の習慣などを鑑みて最適化モデルを作成したり、実際に利用者の反応を確かめてモデルを修正する必要がある。そのための実証実験と導入に向けた取り組みを紹介する。

2. 通勤カープール

通勤カープールは、海外では既にビジネス化されており [1]、最近では総合自動車部品メーカー Robert Bosch GmbH が企業・大学・自治体向けのカープールサービスのスタートアップ Splitting Fares Inc. を買収して市場に参入した。シリコンバレーにある Scoop Technologies, Inc. は累計 1 億ドル以上を資金調達し、主に法人向けにカープールサービスを提供している。国内では、ネットヨタ瀬戸内株式会社と富士通株式会社 が試乗車などの遊休車両を利用した従業員向け乗合通勤サービスの運用を開始したり [2]、三井住友海上火災保険株式会社が金沢市・小松市でタクシーで相乗り通勤する実証実験を実施している [3]。国内では試用が始まりつつあるが、普及に向けて日本独特の文化や法規制を考慮したシステム作りが必要になる。

本研究では、日々の通勤時の運転者と同乗者が乗り合わせるデイリー通勤カープールを対象としている。同乗者を送迎する運転者の最適経路を求める問題は、カープーリング問題 (car pooling problem: CPP) [4] と呼ばれており、基本的な CPP は、運転者の総走行距離と乗車できない同乗者のペナルティを最小化する整数計画問題として定式化される。 V_s を運転者の集合、 V_c を同乗者の集合とし、 $V = V_s \cup V_c$ とする。 E は通勤者 i ($i \in V$) の乗降地点から通勤者 j ($j \in V$) の乗降

はしかみ ひでのぶ

筑波大学大学院システム情報工学研究群社会工学学位プログラム

〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

s21301110@s.tsukuba.ac.jp

しげの まいこ

筑波大学システム情報系

maiko@sk.tsukuba.ac.jp

地点（ただし、 $j = 0$ は勤務地とする）に向かう経路 (i, j) の集合であり、経路には移動距離 $d_{ij} > 0$ が与えられている。経路 (i, j) を運転者 k が通るかを表す 0-1 変数 x_{ij}^k 、同乗者 i が乗車しないかを表す 0-1 変数 y_i 、ペナルティ項の重み α を用いて目的関数を

$$\min \sum_{k \in V_s} \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} x_{ij}^k + \alpha \sum_{i \in V_c} d_{i0} y_i \quad (1)$$

とする。制約条件には、各車両の乗車人数が定員以下になること、運転者の総運転時間が閾値を超えないこと、出勤時間までに勤務地に到着することなどを与えている。基本的な CPP は距離優先のモデルであり、日本でカープールの普及するための成功要因であろう「受容性」「安全性」「収益性」が考慮されていない。

「受容性」とは相乗り通勤者のニーズに応えることであるが、ニーズの一つに同乗者間の気兼ねの軽減がある。通勤経路の効率面のみに着目してサービス実装した際、利用者の満足度は低くサービス継続が困難と思われる。そこで運転者と同乗者の組み合わせに対する満足度を高めるために、通勤者間の嗜好を考慮する CPP を提案した [5]。ここで、 l_i をサービス内で通勤者 i が選択する嗜好の集合とする。嗜好とは性別、部署、趣味などの通勤者同士の安心感や楽しさを増幅し気兼ねの低減につながるよう設計するサービスの機能である。そして、通勤者 i と j の嗜好の共起度 s_{ij} を

$$\frac{|l_i \cap l_j|}{\min(|l_i|, |l_j|)} \quad (2)$$

として、嗜好の共起度が高い通勤者の組み合わせが選ばれやすくなるように、目的関数を

$$\min \sum_{k \in V_s} \sum_{(i,j) \in E} (1 - \beta s_{ij}) d_{ij} x_{ij}^k + \alpha \sum_{i \in V_c} d_{i0} y_i \quad (3)$$

としている。ここで、 β は共起度の重みである。

通勤カープールの安定したサービスが必要である。同乗者は、運転者の急な欠勤があっても代替経路での送迎が保証されていることを望む。どの運転者が欠勤したとしても、事前案内済みの通勤経路から大幅な変更が生じない代替経路を提供することで欠勤による負担を減らし、運転者も同乗者への気遣いなく欠勤できる [6]。運転者の急な体調不良での無理な運転を避けるという観点から「安全性」にも関わる。

「安全性」とは運転者の通勤経路での安全性を高めることである。図 1 は 2020–2021 年の広島県で発生した交通事故の分布図であるが、都市部や幹線道路で事

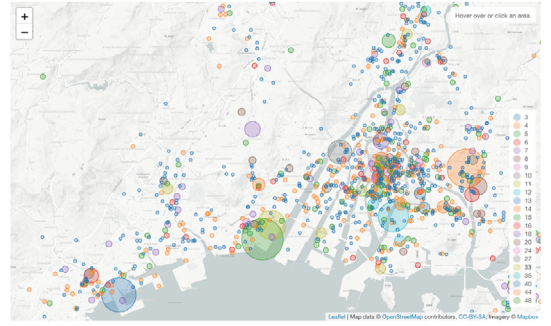


図 1 2020–2021 年に発生した広島県の交通事故の分布図。円の大きさは物損事故と人身事故の事故発生件数を表す。

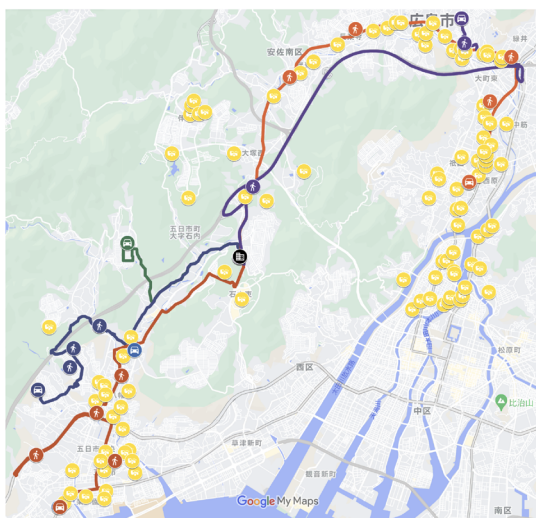
故が多く発生していることがわかる。通勤経路で交通事故に遭遇する確率を下げることは、実際に相乗り通勤する通勤者だけでなく、サービスを導入する企業などにとっても大切なことである。そこで、事故多発地点を避けつつ同乗者を送迎する運転者の安全経路を求めるための CPP を提案した [7]。交通事故は運転者の操作ミスや交通違反、車種、運転時の天候や道路状況などの複合的要因により発生する。事故発生件数の統計データと運転者自身の運転スキルを用いてリスクを定義し、CPP でリスクを軽減する安全経路を求める。運転スキルは運転免許証の色と区分、自動車保険の等級、運転診断結果、ドライブレコーダーの映像解析結果などから数値化する。経路 (i, j) 上の事故件数 a_{ij} と、 $N_s + 1 \in \mathbb{N}$ 段階の運転者 k の運転スキル $s^k \in [0, N_s]$ を用いて経路 (i, j) を運転者 k が通過するときのリスク r_{ij}^k を

$$\omega_a \left(\frac{a_{ij} - \min_{(i,j) \in E} (a_{ij})}{\max_{(i,j) \in E} (a_{ij}) - \min_{(i,j) \in E} (a_{ij})} \right) + \omega_s \left(1 - \frac{s^k}{N_s} \right) + 1 \quad (4)$$

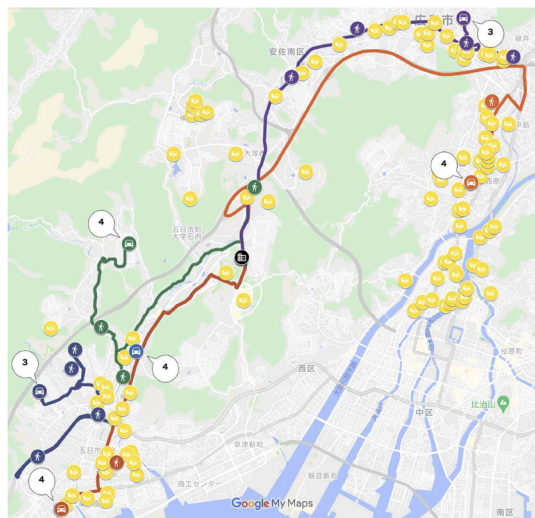
と定義する。ここで ω_a は事故発生件数を、 ω_s は運転スキルをリスクに反映させる重みである。また、運転者のスキル s^k は大きな値ほどスキルが高いとしている。第一項は正規化した事故発生件数、第二項は正規化した運転スキル値である。リスクの低い経路が選ばれやすくなるように、かつ運転者の総走行距離と乗車できない同乗者のペナルティが最小になるように、目的関数を

$$\min \sum_{k \in V_s} \sum_{(i,j) \in E} r_{ij}^k d_{ij} x_{ij}^k + \alpha \sum_{i \in V_c} d_{i0} y_i \quad (5)$$

とする。図 2 に運転者の安全経路の一例を示す。これは地方都市での利用を想定して生成した通勤者の擬似



(a) 基本 CPP



(b) 安全経路 CPP

図 2 擬似データでの計算結果

パラメータは $\alpha = 2.0$, $\omega_a = 1.5$, $\omega_s = 0.5$. 地図上に勤務地（オフィスのアイコン）、運転者（車のアイコン）、同乗者（人のアイコン）、事故多発地点（衝突のアイコン）をプロットしている。(a) 基本的な（事故データと運転スキルを考慮しない距離優先の）CPP, (b) 安全経路 CPP. 吹き出しは運転者スキルを表し、各運転者の経路を色分けしている。

データでの計算結果である。運転者 6 名の乗降地点を車のアイコン、同乗者 14 名の乗降地点を人のアイコン、勤務地をオフィスのアイコンで示している。運転者の通勤経路を色分けして示している。乗車定員を 5 名とし、運転者スキルは 5 段階で (b) の吹き出し内の数値で与えている。事故データは地点の粒度が住居番号であり、かつ事故発生件数 4 件以上として該当する 103 件を用いており、地図上に衝突のアイコンでプロットしている。(b) の安全経路 CPP の結果は (a) の基本 CPP の結果よりも走行距離は長くなる傾向にあるが、とくに運転スキルの低い運転者が事故地点を避けるように同乗者が決められていることが確認できる。

サービスの継続的提供のためには「収益性」も大切である。自家用車による相乗りには、道路運送法「自家用有償旅客運送」「旅客自動車運送事業」に基づき国土交通省・運輸局の許可が必要である。この法規制に違反しない無償サービスも考えられるが、地方部の低密度居住地域における相乗りの実証研究 [8] では、無償提供による同乗者の心理的負担を指摘している。法規制に準拠する CPP と収益モデルの設計が求められる。

3. 通勤カープールの実証実験

本研究は社会実装を見据えて実証実験 (PoC) を伴う PDCA サイクルをまわしながら進めている。企業や自

治体へのヒアリングを通じて、カープールの普及するための成功要因の仮説を立てて、各要因に求められる要件を満たす CPP とプロトタイプを開発して PoC で検証、アンケート調査などから得られた結果を考察、実用化に向けて改善を重ねている。PoC を実施することで社会に周知され、通勤渋滞に課題を抱えている別の企業や自治体にも着目され、それが企業・自治体のニーズを満たすための新たな研究テーマを生む。具体的には数千人の従業員が働く工場の大規模通勤カープール問題、勤務地の複数駐車場の対応、自治体向けのビジネスモデルの構築などである。

本稿では、広島県に所在する株式会社 KGG ホールディングスの協力のもと、三井住友海上火災保険株式会社と MS&AD インターリスク総研株式会社と共同で、安全経路 CPP の検証および実用化時の課題を洗い出すことを目的として実施した PoC を紹介する。

PoC は、2021 年 11 月 5 日から 2021 年 11 月 18 日までの平日、10 営業日実施した。参加者は運転者 5 名、同乗者 5 名の計 10 名である。

3.1 実証計画

実施にあたり、事前に以下の事項を定めた。

3.1.1 体制と役割

筆者らは運営主体として計画立案、アプリケーション開発、アンケート調査などを担当した。三井住友海

上は共同運営主体として計画立案、事故データ提供、ドライブレコーダ貸出などを担当し、MS&AD インターリスク総研は運営サポート、ドライブレコーダの走行ルートの子実分析などを担当した。KGG ホールディングスは協力事業者として、参加者募集、社内説明などを担当した。

3.1.2 法令の整理

中国運輸局広島運輸支局に、本 PoC は通勤者間の金銭授受は発生しないため、道路運送法「自家用有償旅客運送」「旅客自動車運送事業」には該当せず、許認可不要であることを確認した。また、弁護士に依頼して、本実証用のサービス利用規約とプライバシーポリシーを作成した。

3.1.3 使用車両とシステム

運転者の自家用車を使用した。車には走行データの記録、事故状況の記録のために専用ドライブレコーダを設置した。そして、カープールのサービス利用のために、独自に開発した安全経路 CPP を搭載する iOS / Android アプリケーション（以降アプリ）を用いた。図 3 にアプリの設計図と図 4 にユースケースを示す。なお、安全経路 CPP は Google OR-Tools を用いて求解し、地図アプリは Google Map を用いており、2 地点間の経路もこの地図アプリによる。

3.1.4 参加者

KGG ホールディングスに勤務する社員に募集をかけ、以下を参加条件とした。

- 筑波大学の研究倫理審査委員会が定める事項に同意すること。
- 本 PoC 用の利用規約、プライバシーポリシーに同意すること。
- ドライブレコーダーの設置に協力すること。
- 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のワクチンを接種していること。

3.1.5 実証実験の中止条件

中止条件は以下とした。

- 広島県に緊急事態宣言が発令された場合、実証を中止する。
- 体調不良や、COVID-19 の濃厚接触者に該当する場合は参加を中止する。

3.1.6 参加者の留意事項・禁止事項など

参加者の留意事項を以下に定めた。

- 事前連絡がなく乗車場所に予約者がいない場合、予約時間の 3 分後に出発する。
- 希望到着時刻は余裕時分を加味すること。

- 安全確保などの観点から、乗降場所は必ずしも希望場所とはならない。

- COVID-19 対策のため、マスク着用、前日と出勤前の検温、乗車前に手指の消毒をする。

参加者の禁止事項を以下に定めた。

- 出退勤時間以外の利用。飲み会後など深夜の利用。
- 車内での飲食・飲酒・喫煙。

- 無断キャンセル。

- スマホのながら運転。アプリを操作する際は駐車すること。信号待ちも同様。

さらに、イレギュラー時の対応として、参加者には以下を説明した。

遅延・運休 遅延する場合、通勤規定・就業規則に準ずる報告を行う。参加者は上司に連絡すると同時にアプリ内の連絡手段により参加者間で連絡を取り合う。なお、遅延しても予定どおりカープールの利用する。事故が生じた場合、通勤規定・事故報告に準ずる報告を行う。通勤中に事故が生じた場合、上司、状況に応じて同乗予定者に事故車両、発生時刻、事故場所、事故状況、負傷者、損傷物、警察署連絡の有無を連絡する。悪天候や参加者の体調不良などにより運休する場合、前日 19 時までに同乗者と会社に連絡する。

運転経路 原則としてアプリの推奨経路を走行する。ただし、車幅等の影響で安全に走行できない場合は別の経路を走行する。

利用取消 急な残業や家庭の事情などのやむを得ない理由で退勤時の予約を取り消す場合、利用者の判断のもと、公共交通機関で帰宅する。

3.2 乗り合わせ結果

COVID-19 対策として、三密を避けるために最大乗車定員を 2 名とした。利用した事故発生位置データは地点の粒度が住居番号であり、かつ事故発生件数 4 件以上として該当する 563 件を用いた。運転者と同乗者の組み合わせの成立率は 100%、つまり、乗車できない同乗者はいなかった。通勤者が各々運転して通勤したときの総移動距離に対するカープールの利用することで削減される距離の比率は 0.1094 となった。一方で、運転者の運転時間は直接勤務地に向かうときと比べて、1.443 倍長くなった。また、通勤者が各々運転して通勤したときと比べて事故地点の通過を 44.82% 削減でき、より安全な経路を提供できたといえる。

3.3 アンケート結果

PoC 参加者へのアンケート結果を述べる。本 PoC では統計解析に必要なサンプル数は得られていない



図 3 アプリの設計図

アプリの起動画面が表示される。ログインし、利用規約とプライバシーポリシーに同意すると、1週間の通勤スケジュールが画面に表示される。出勤日のボタンをタップすると、地図上に出退勤の経路と乗り合わせが表示される。運転予定時間は乗降時間として3分間のバッファを含む。通勤者はプロフィールや出発・到着場所、利用する曜日、出退勤時間などの通勤設定を登録できる。アカウント管理としてメールアドレス変更、パスワード変更、パスワードリセットがある。トラブルシューティングのためにヘルプやサポートを利用できる。

めアンケート調査の定性分析に留めている。年齢、性別、役職の異なるさまざまな通勤者がPoCに参加した。表1に参加者の相乗り通勤に対する期待度をPoC前後で比較して示す。各行が同乗した運転者と同乗者のペアに対応している。合わせて、相乗り通勤の経験有無も示す。勤務地は広島市郊外にあり、バス、アストラムラインなどの公共交通機関の最寄り駅から離れた場所にあるため、相乗り通勤経験者が多かった。注目すべきは、PoC前後で相乗り通勤に対する期待度が減少していないことである。ただし出退勤の相乗り経験者の期待度は低く、退勤のみの経験者の期待度は高いため、出勤の相乗りには課題があると思われる。相乗り通勤の良かった点として車内体験、時間、コストの三つの観点で意見が得られた。運転者からは「一人

ではないので寂しくなかった」「遅刻しない」「同乗者が一名だったので余分にかかる時間はそんなに気にならなかった」、同乗者からは「交通費の削減」「通勤時間の短縮」「運転しなくていいので楽だった」、共通で「通勤時にさまざまな話をする事ができた」という意見があった。相乗り通勤の悪かった点として、時間に関して「出勤時間を合わせる必要がある」「待ち合わせ場所に到着する時間の連絡に手間がかかる」「時間の余裕がない(始業時間ギリギリになる)」「待ち合わせ場所の到着予定時刻より5~10分遅れることが多く外で待つ時間は寒かった」「退勤時の時間調整が難しい」、人に関して「気まずい」、経路に関して「通るルートが決まっているので渋滞を避けられない」「コンビニ等への寄り道ができない」という意見があった。図5に示す

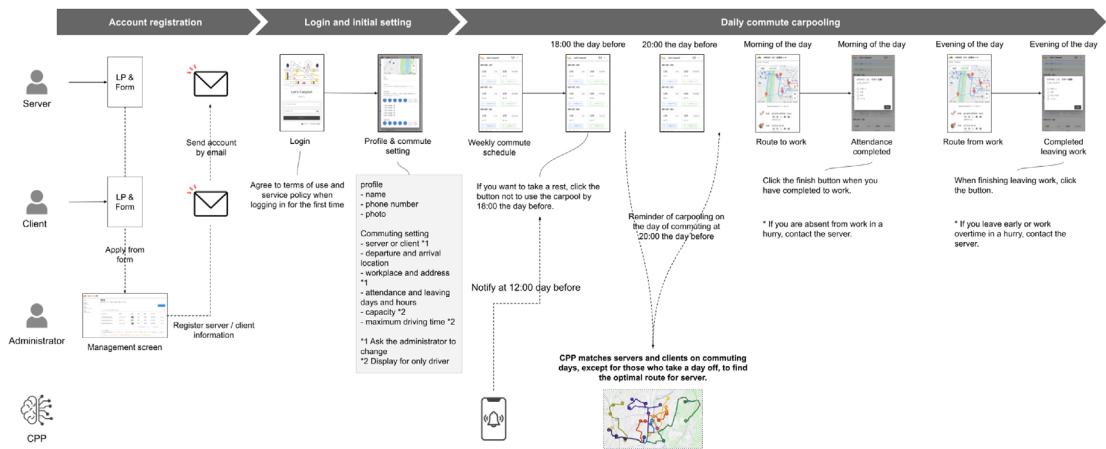


図4 アカウント登録、ログイン、初期設定、相乗り通勤のユースケース
 管理者は管理システムに運転者と同乗者のアカウントを登録する。運転者・同乗者がアカウントにログインし、プロフィールや通勤設定などを登録した後、アプリを利用して相乗り通勤することができる。

表1 参加者の相乗り通勤に対する期待度の PoC 参加前後の変化 (1: 高い ~ 6: 低い) と相乗り通勤経験

運転者				同乗者			
期待度		相乗り経験		期待度		相乗り経験	
事前	事後	出勤	退勤	事前	事後	出勤	退勤
4	3	✓	✓	6	6	✓	✓
5	3	✓	✓	3	1	✓	✓
6	6	✓	✓	3	3	✓	✓
3	2	✓	✓	1	1	✓	✓
4	3	✓	✓	4	3		

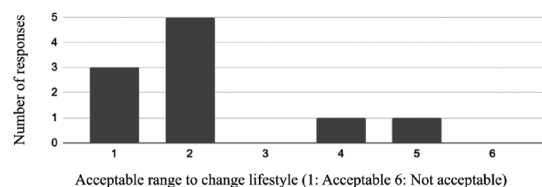


図5 普段の生活様式 (起床時間、家を出る時間など) を変える必要があったが許容範囲か (1: 許容範囲である, 6: 許容範囲ではない)

ように相乗りで生活時間が変わるが、許容範囲だったため、相乗り通勤に対する期待値は下がらなかったと思われる。これは乗車定員2名としたために、同乗者の送迎のための遠回りが抑えられている影響も大きいと思われる。

次にアプリで提供した経路に対する回答結果を示す。図6に経路に対する満足度を示す。経路に対する満足度の低い理由として、「自分がわかる道を選択できたら運転しやすい」「通ったことない道は信用しきれない」「細い山道を案内された」「すごく狭い道を通らさ

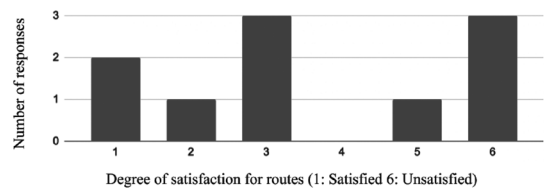


図6 経路に対する満足度 (1: 満足である, 6: 不満である)

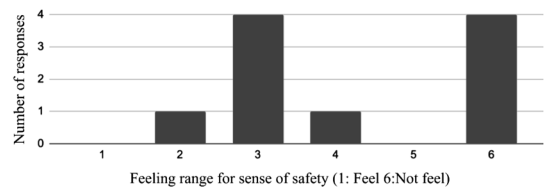


図7 事故多発地点を考慮した経路を提案したが相乗り通勤時の安心感は向上したか (1: 安心感は向上した, 6: 安心感は向上しなかった)

れるより、いつも通いながれた道を通った方が安全性が高いと思う」「距離数がグッと上がった」「渋滞路線を選んでいった」という意見があった。本 PoC ではアプリで提案する経路を使うことを推奨していたが、運転者の判断で経路を変更した運転者は4名であり、実サービスでは運転者の判断で経路を変更する運用が適切であると思われる。あるいは、使い慣れている車搭載のカーナビとの連携ができることよ。図7に安全経路 CPP による安心感に関する回答結果を示す。安心感が低い理由として、運転者からは「あまり気にしなかった」「歩道くらい狭い道を通らされたので逆に危ないと思う」、同乗者からは「車通りが多い細い山道だったため特別安心感が向上することはなかった」「そ

表2 同乗者／運転者として相乗り通勤するときの運転者／同乗者の乗り合わせ決定方法の希望回答数

乗り合わせ 相手の決め方	(自分)	同乗者		
	(相手)	運転者	同乗者	
流動的		1	2	1
固定		3	2	5
ランダムに決定		4	5	2
利用しない		1	0	1
わからない		1	1	1

んな機能があることすら知らなかった」という意見があった。モデル作成においては、安全性と走行距離のトレードオフの関係に注意を払いパラメータを設定しているが、利用者からはこのトレードオフに関しての意見はなかった。一方で、「相乗りにより普段よりも安全運転を心がけたか」という質問に対して心がけたと回答した運転者は2名であり、運転者によって対応が異なることから、安全経路 CPP のようにシステム側から安全性を高めることは重要であるといえる。

最後に、今後の相乗り通勤利用の意識の回答結果を示す。「今後、会社で相乗り通勤が導入されたときに利用したいか」という質問に対して、利用したいと答えたのは運転者で2名、同乗者で4名であり、出退勤のどちらで利用するか、また週あたり利用回数希望かは回答者によりさまざまであった。多様な利用形態に対応できるサービスが望まれることがわかる。また、「ほかの同僚にも相乗り通勤を勧めたいか」に対しても勧めたいと回答したのは運転者よりも同乗者が多く、本 PoC では運転者の負担が大きかったことが窺える。利用する理由として、「交通費・通勤時間の削減につながる」「運転に気を遣わないため、同乗者として利用したい」「日ごろの段取りがしやすい」「早く帰社できる」、利用しない理由として、「気まずい」「人に合わせるのに気を遣う、遣われるのが嫌だ」「たまにならいいけど基本は一人が楽」「帰るときはお店などに寄って帰りたい」「ルートを定められるのは苦手」という意見があった。表2は、運転者として相乗り通勤するときの同乗者の乗り合わせ方、同乗者として相乗り通勤するときの運転者／同乗者の乗り合わせ方の希望の結果であり、運転者として参加するときには同乗者は固定したいが、同乗者として参加するときには乗り合わせ方にこだわりがないことがわかる。このことから運転者の責任や負荷があり、運転者が相乗りに参加する動機づけは不可欠であることがわかる。カープールの参加者が多いほど効率的になるが、「同僚以外のほかの会社の人との相乗り通勤は受け入れられるか」という質問に対し

ては受け入れると回答したのは3名であり、同じ職場での相乗りが現実的と考えられる。

3.4 考察

総括として、まずまずの相乗り通勤のニーズはあると思われ、運転者より同乗者から好評だった。安全経路 CPP に関しては、参加者は安全性について全員が強く意識しているわけではなかったが、相乗り相手に対しての不満はなく、CPP での経路提供に問題はなかったといえる。一方で、アンケート結果から実用化に向けて以下の課題が明らかになった。

安全な経路案内 運転者が利用しやすい道路の提案が必要であり、車載カーナビとの連携や運転者の日頃選択する経路の傾向などを反映できるとよい。安全経路 CPP は運転者ごとの経路評価ができるため、これを応用して運転者が安全性を感じる道路での経路提案が課題である。

運転者のインセンティブ 同乗者は通勤が楽になる一方で運転者は運転の責任に加え、車内のプライベート時間がなくなる、迂回距離が長くなる、出社時間が早くなる、帰宅時間が遅くなるなど負担は大きい。運転手当以外のインセンティブの設計は収益性に関わる重要な課題である。

また、本 PoC では2週間同じ相手と通勤したため、より気兼ねを感じたと思われ、気兼ねの軽減の対策が望まれる。さらに、買い物などの立ち寄りの要望もあり、立ち寄りを許す者同士の組み合わせにすることや、急な残業など出退勤時間の融通をきかせることなど CPP に柔軟性をもたせることも必要である。

4. さいごに

サービス工学における数理最適化技術の適用事例として、通勤渋滞緩和を目的とする通勤カープールと社会実装を見据えて広島県の企業で実施した PoC について紹介した。そして、PoC 終了後に実施したアンケート調査結果の定性分析と考察を行い実用化時の課題を洗い出した。本 PoC では、COVID-19 対策として乗車定員を2名としていたが、そのことが相乗りによる時間ロスを小さくしていて、参加者に相乗り通勤を受け入れやすくしていたとも考えられる。乗車定員2名であれば、文献 [9] にあるように CPP はマッチング問題として解くこともできる。最適化モデルを作成すると効率化を狙いたくなるが、受け入れやすさを重視して実施することも重要である。今後は、洗い出した課題を反映して数理最適化モデルの修正をすることで、実用化を見据えて、日本に合ったカープールサービス

を作り上げていきたい。

参考文献

- [1] N. Agatz, A. Erera, M. Savelsbergh and W. Wang, “Optimization for dynamic ride-sharing: A review,” *European Journal of Operational Research*, **223**, pp. 295–203, 2012.
- [2] 富士通株式会社, 「ネットトヨタ瀬戸内と富士通, 遊休車両を活用した従業員向け乗合通勤サービスの運用を開始」, <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2019/04/17-1.html> (2022年12月10日閲覧)
- [3] 三井住友海上火災保険株式会社, 「デマンド交通を利用した「相乗り通勤」の実証実験を開始」, https://www.ms-ins.com/news/fy2019/pdf/0220_1.pdf (2022年12月10日閲覧)
- [4] R. Baldacci, V. Maniezzo and A. Mingozzi, “An exact method for the car pooling problem based on lagrangean column generation,” *Operations Research*, **52**, pp. 422–439, 2004.
- [5] 橋上英宜, “通勤者間の嗜好を考慮する Car Pooling 問題,” 電子情報通信学会論文誌 A, **J103-A**, pp. 274–277, 2020.
- [6] 小林凌太郎, 橋上英宜, Li Yu, 繁野 麻衣子, “欠勤者を考慮した通勤カープールの提案,” スケジューリング・シンポジウム 2022 講演論文集, pp. 108–115, 2022.
- [7] 橋上英宜, 小林凌太郎, 中野祥旗, Li Yu, 繁野麻衣子, “通勤カープールの広島県内の小規模実証実験,” サービス学会第10回国内大会講演論文集, pp. 109–116, 2022.
- [8] 佐々木邦明, 二五啓司, 山本理浩, 四辻裕文, “低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可能性,” 社会技術研究論文集, **10**, pp. 54–64, 2013.
- [9] T. Yoshida, M. Yano, K. Horikawa, K. Sato, S. Minami and M. Shigeno, “Modeling and evaluating taxi ride-sharing for event trips,” *IPSSJ Transactions on Mathematical Modeling and Its Applications*, **12**(2), pp. 1–11, 2019.