

情報獲得行動を考慮したドライバー行動モデルの構築と 道路交通混雑情報提供の社会デザインに関する研究

情報獲得行動を考慮したドライバー行動モデルの構築と
道路交通混雑情報提供の社会デザインに関する研究プロジェクト

2025 年 5 月

公益社団法人 日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印
刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。
シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。
シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、
折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によっ
てとりまとめたものを収める。
シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。
シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。
シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山 内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号
を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電 話 (03) 3263-1945 (代表)

F a x (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-913

令和 6 年度自主研究プロジェクト

情報獲得行動を考慮したドライバー行動モデルの構築と

道路交通混雑情報提供の社会デザインに関する研究

刊行：2025 年 5 月

情報獲得行動を考慮したドライバー行動モデルの構築と

道路交通混雑情報提供の社会デザインに関する研究

Development of a Driver Behavior Model Considering Information Acquisition Behavior

and Social Design of Road Traffic Congestion Information Provision

主査：福田 大輔（東京大学大学院教授）

Daisuke FUKUDA

要 旨

スマートフォンアプリや高速移動通信サービスの普及、センシング技術の向上に伴い、車や人の動きに関するビッグデータがリアルタイムに計測可能になっている。得られたデータを交通情報として再び人々に提供することで旅行者の交通行動はさらに変化する。こうした“情報のフィードバック”の影響は、人々の ICT 依存度が高い現在は元より、自動運転車両に搭載された AI が系や出発時刻の制御・決定を行いうる近未来のモビリティ社会においては無視できないものであると考えられる。

本研究では、エージェント（ドライバーや AI カー）により自律分散的な意思決定が行われるモビリティ社会を念頭に、エージェントによる情報獲得行動を明示的、一体的に考慮した交通行動モデルの構築を行う。併せて、交通状態に関する旅行者の予想・期待をコントロールすることによる自己実現的かつ効率的な交通状況を実現するビリーフデザインアプローチに立脚して、道路交通混雑情報提供の社会デザインのあり方について検討する。

まず、不確実な交通混雑が生じるような道路ネットワークを念頭に、自動車ドライバーでもある観光客が交通関連情報を獲得し、自身の選択行動に反映する状況を記述する新たな交通行動モデルを構築した。より具体的には、Jiang et al.(2020) による意思決定者が合理的に不注意になる状況を記述する行動モデルである RI (Rational Inattention) -Logit 型経路選択モデル、並びに、交通混雑を考慮した RI-UE(User Equilibrium)モデルを拡張して、観光客ドライバーの交通行動分析が可能な行動モデルを新たに構築した。その際特に、(1) 観光客ドライバーが交通状況を誤認する状況、(2) ドライバーの交通情報獲得と利用経路の同時選択状況、(3) OD 需要の変動が要因で交通状況が変動する状況を一体的に記述する Nested Logit 型交通行動モデルならびに交通均衡配分モデルを構築した。

その上で、観光地からのイベント終了後の帰路を模擬した仮想ネットワークにおける数値シミュレーションを通じて、情報獲得の難易度低減と立寄りクーポンの提供の経路選択行動への影響を分析した。新たに構築したドライバーの情報誤認を考慮した「思い込み RINL 利用者均衡モデル」を用いたシミュレーションの結果、情報獲得の難易度低減とクーポンの提供は多くの場合で効果的であるという直感に合致した結果となったが、クーポンの提供のみでは混雑改善効果を発揮しにくい可能性や、情報獲得の難易度低減とクーポン額の増額を同時に行ったり情報獲得の難易度低減のみを行うだけでは社会的費用の観点からは逆効果となる可能性もあることなどが示唆された。他方、OD 交通量をドライバーが予測できない状況では、クーポンの提供のみを行うだけでも社会的費用の観点から見て効果的な可能性があることなどが示唆された。これにより、多様な想定のもとでの数値シミュレーションを通じて、情報提供と交通行動の間の関係性を明らかにした。

キーワード：交通情報提供

Keywords : Traffic Information Privision

プロジェクト研究メンバーおよび執筆分担

主査：	福田 大輔	東京大学大学院（全章）
メンバー：	目賀 俊太郎	東京大学大学院・修士課程（全章）
	神谷 大介	琉球大学

（令和7年5月現在）

目次

1 章	はじめに	1
2 章	既往研究と本研究の位置づけ	4
2.1	交通状態の不確実性	4
2.2	情報提供とドライバーの交通行動選択と経済便益	5
2.3	Rational Inattention (RI) model	6
2.4	本研究の位置づけ	7
3 章	観光客ドライバーの情報獲得・経路選択モデルの定式化	8
3.1	観光客ドライバーの経路上での立ち寄り行動を表す交通行動モデル	8
3.2	ドライバーの情報誤認を考慮した交通行動モデル	11
3.3	ドライバーの情報誤認を考慮した交通均衡モデル	13
3.4	OD 交通量の確率変動を考慮した交通均衡モデル	17
3.5	計算アルゴリズム	18
4 章	沖縄海洋博公園花火大会時の帰宅交通を模擬した数値シミュレーション	19
4.1	ネットワークとドライバーの条件設定	19
4.2	交通状態変動の条件設定	21
4.3	数値シミュレーション結果とその考察	22
5 章	おわりに	29
	参考文献	32

1章 はじめに

観光客増加によるオーバーツーリズムが近年問題視されている。その問題の一つが交通混雑である。環境負荷や地元住民の生活への影響が大きいだけでなく、観光シーズンや大規模イベント実施時における予期せぬ交通混雑により、結果的に観光地の魅力の低下につながっている事例が散見される。例えば図 1.1, 図 1.2 は、2023 年 7 月 16 日に開催された沖縄海洋博公園花火大会の帰路における道路混雑状況である。花火大会終了後約 1~3 時間にわたり那覇方面への主要道路が激しく混雑していた。

観光地での交通渋滞に対し、例えば国土交通省 (2023) は「出発前の観光客を対象とした対策」の代表例として情報提供を挙げている。こうした中で、本研究では、混雑課金などの経済的手法よりも社会的に受け容れられやすいアプローチである情報提供に着目する。主要幹線道路で生じうる交通混雑を観光客ドライバーが回避できるように、出発/帰宅時刻の変更や代替経路の利用を促すためには、情報提供は有効な手段の一つである。実際、海洋博公園花火大会が開催された際にも、事前の情報提供が確認されている。具体的には、花火大会の開催約一週間前からホームページ上¹で迂回路利用を推奨していた (図 1.3)。また、那覇方面からの来訪者の多くが利用すると予想される沖縄自動車道上の情報板でも、交通混雑に注意を促すための情報提供がなされていた (図 1.4)。

また、行動変容を促すための手段としての金銭的インセンティブも社会実装されつつある。例えば NEXCO 西日本は、トンネル火災通行止めに伴う迂回を推奨するため、スマートフォンアプリを用いて行動変容者へのポイント付与を行っている²。観光混雑の文脈でも、こうしたクーポンを用いた迂回路への誘導や、「観光施設での立ち寄り」行動の喚起による需要の時間シフトなども期待される。

以上のように、道路交通情報等を提供したり、観光施設で利用可能なクーポンを配布するなどして、行動変容を促す施策の適切な評価のためには、闇雲に情報を提供するのではなく、実際にドライバーのもとに届いた情報を、ドライバーがその意思決定に活用するような価値ある情報の提供が必要となる。その評価のためには、観光客ドライバーの交通行動のみならず、その情報獲得行動を明示的かつ一体的に考慮した分析が必要である。

¹<https://oki-park.jp/kaiyohaku/information/detail/8051>

²https://www.w-nexco.co.jp/sanyo_fire_closure/coupon/



図 1.1 海洋博公園花火大会終了後の道路交通混雑（著者撮影）



図 1.2 推奨された経路の例（Google Maps を用いて作成）

このような問題意識のもと、本研究では、観光交通を主要因として不確実な交通混雑が生じるような道路ネットワークを念頭に、自動車ドライバーでもある観光客が交通関連情報を獲得し、自身の選択行動の決定に反映しようとする状況を記述する新たな交通行動モデルを構築し、単純な道路ネットワークながらも多様な想定のもとでの数値シミュレーションを通じて、情報提供と交通行動の関係性を明らかにする。基本的な問題意識として、特に、観光地から自宅やホテル等への帰路において、交通混雑に巻き込まれないような混雑回避レコメンドの可能性を念頭に置いている。そのために、迂回路の利用や立ち寄りを促す情報提供とインセンティブの調整の重要性に着目した分析を行う。

論文の構成は以下のとおりである。2章では、関連既往研究をレビューし、本研究の位置づけを明らかにする。3章では、観光客ドライバーの情報獲得・経路選択行動を記述するモデルの定式化を行う。4章では構築したモデルを用いたシミュレーション結果を示し、



図 1.3 迂回路レコメンの例（海洋博公園 Web）



図 1.4 沖縄自動車道許田 IC 料金所の情報板（著者撮影）

その考察を行う。最後に 5 章では結論と今後の課題を記す。

2章 既往研究と本研究の位置づけ

2.1 交通状態の不確実性

道路の旅行時間は不確実性を伴って変動し、その予測には困難が伴う。また、中山ら (2004) が指摘する通り、交通状態が不確実である場合にこそ、情報提供の意味があると考えられる。交通状態に不確実性が伴う中での交通行動に関しては、高度道路交通システム (ITS) 等の文脈で多くの研究が行われてきた。よって、情報提供を行う際には、交通状態の不確実性の要因についても議論することが重要であると考えられる。

Han et al. (2024) は、交通状態の不確実性の源として「Strategic (戦略的な) 不確実性」を挙げている。戦略的な不確実性とは、情報提供下で繰り返し経路選択を行う被験者がひとつ前の選択から選択を変えるかどうかの不確実性である。朝倉ら (1989) は、旅行時間の不確実性は OD 交通量によって引き起こされるものとし、OD 交通量を変化させたうえで交通量配分手法を用いたシミュレーションを行い、ネットワークの信頼性と時間信頼性を検証した。また Siu and Lo (2008) は、交通状態の不確実性を「道路の交通容量の確率的な低下」と「OD 交通量の確率的な増減」とに大別している。前者の不確実性はさらに大きく二つに分けられる。一つ目は地震などの大きなイベントによって道路が長期間にわたって壊滅的な被害を受ける場合で、この場合に取り組むべき主な問題は、ネットワークの接続性の問題であるとしている。二つ目は、自動車の故障といった比較的小さなインシデント等によって、交通容量が一定程度下がるような事象が含まれる。これは、比較的頻繁に生起する。他方、非日常的な大きなイベントが行われるなどにより、交通量 (OD 交通量) 自体が確率的に変動し、結果として交通状態の不確実性が高まるような状況も生じうる。

なお、本研究における「OD 交通量の確率変動を考慮した利用者均衡モデル」とは、需要変動型の利用者均衡モデルのようにサービス水準の大小に伴って OD 需要が内生的に変化する状況を表現したモデルではない。中山ら (2004) と同様、ネットワークの交通状態の不確実性を考えるにあたり、OD 需要の日々の確率の変動が不確実性の要因であるという観点に立ったものである。

2.2 情報提供とドライバーの交通行動選択と経済便益

情報提供がドライバーの交通行動選択に及ぼす影響は多くの研究で分析されている。その中には、ドライバーが完全な情報を持ち、合理的に行動するという想定は、現実的ではないために、ドライバーの情報獲得の限界（限定合理性）を考慮した研究も見られる。例えば羽藤ら (1998) は、複数の情報リソースが存在する道路交通情報提供システムを対象に、ドライバーの情報利用プロセスを考慮した経路選択モデルを提案している。この経路選択モデルでは、個々のドライバーの情報利用行動に影響を与える要因の一つとして情報処理能力の限界が仮定されている。

交通混雑を考慮した多数のドライバーが存在するケースでも、同様に、限定合理性を考慮した研究も見られる。例えば、藤井ら (2001) は、人間の情報獲得には限界があることを考慮した交通均衡モデルを定式化し、「思い込み (Deluded) 均衡」という Wardrop 均衡と乖離した定常状態が得られる可能性をシミュレーション分析を通じて指摘した。思い込み均衡は、習慣的にある選択肢を利用し続けるドライバーが、他の選択肢のサービス水準を実際的水準より低いものと認識していることによって現れる、合理的な期待から導かれる利用者均衡とは異なる均衡状態である。このような状況下における、情報提供の社会的影響を明らかにする必要性があると考えられる。藤井ら (2001) は、思い込みを形成しているドライバーが実際の走行経験を重ね、積極的に情報を獲得することにより、思い込み均衡が解消される可能性に関しても考察している。

情報提供がもたらす経済便益の評価も重要な研究課題である。例えば Lindsey et al. (2014) は、以下の三点の現象が生じうるという意味で、情報提供が負の経済便益をもたらす場合があることを理論的に指摘した。1つ目は「Concentration (集中)」で、多くのドライバーが似た選択をすることにより、混雑を引き起こしてしまう現象である。各々のドライバーが自分のとった選択に対して後悔をしないという点で、均衡に関する現象であるとしている。2つ目は「Overreaction (過剰反応)」で、ドライバーが他のドライバーがどのように情報に反応するかを予測することができず、集団的に新しい情報に過剰に反応してしまう現象である。情報に反応してしまったドライバーが損をしているという点で均衡外の現象であるとしている。3つ目は「Oversaturation (情報過多)」で、ドライバーが過剰な情報に直面した際に、それらの情報を効果的に活用することができなかったり、結果として簡略的な意思決定ルールに頼ってしまう現象である。Lindsey et al. (2014) は、交通状態が確率的に変動する中で、出発前の交通情報が経路選択に及ぼす影響を、自由旅行

時間と容量が予測不可能に変化する2つの経路を持つ単純ネットワークで理論的に考察した。そして単純なネットワークでの解析より、2つの経路の条件が強く正に相関しているときに、情報が負の経済便益をもたらす可能性があることを示した。

2.3 Rational Inattention (RI) model

Sims (2003, 2010) は、意思決定者が獲得処理する情報量を情報理論を用いて表す「合理的不注意」(Rational Inattention) という概念を消費者行動分析に導入した（以降では RI model と称する）。人間の情報処理能力には限界があり、情報処理に要するコストの存在が意思決定にも影響すると考える行動モデルである。「情報の蓄積によって増大するエントロピーがある閾値を超えたときに経済主体が情報獲得に動く」という状況を記述することができ、結果として、人々が合理的に不注意になりうる状況を説明することができる¹。

Matějka and McKay (2015) は RI の概念を離散選択の問題へと拡張し、RI Logit model を構築した。意思決定者の情報獲得単位コストが多項ロジット (MNL) モデルのスケールパラメータの逆数として解釈できることや、初期の信念によって規定される定数項分だけ効用がシフトすることなどの理論的意味付けを与えることに成功している。Matějka and McKay (2015) の RI model では、情報コストをシャノンエントロピーを用いて定義しているのに対し、Fosgerau et al. (2020) は一般化エントロピー概念を用いることで、MNL 以外のより複雑な離散選択問題へと拡張可能な理論的枠組みを提示した。これにより、例えば、選択肢間の相関を考慮するためのネスト構造が存在する下での離散選択問題 RI Nested Logit model (RINL model) 等の導出を可能としている。

交通行動分析への適用事例として、Jiang et al. (2020) は、経路選択行動分析に RI を応用した。さらに、個々のドライバーの分析に加え、混雑を考慮した多数のドライバーケースを分析するために Rational Inattentive User Equilibrium (RIUE) の概念を導入した。単独ドライバーのケースでは、情報は常に経済便益に正の影響を与えるが、複数ドライバーのケースでは、2つの経路をもつネットワークにおいて、いくつかのシナリオで情報が経済便益に悪影響を与える可能性があることを示した。また、Fosgerau and Jiang (2019) は、RI model を出発時刻選択に応用した。単独ドライバーのケースにおいては、情報が常に経済便益に正の影響を与えることを示した。また、情報を手に入りやすくすることにより、ドライバーが考慮する選択肢集合が増えることを示した。また、Arai

¹交通行動分析分野への適用に関するレビューが福田・城間 (2023) によってなされている。

and Fukuda (2023) はドライバーの経路上での繰り返しの情報獲得と経路選択や利用者均衡を分析するため、Prism-constrained Rationally Inattentive Recursive Logit User Equilibrium (Prism-RIRLUE) モデルを構築している。単独ドライバーのケースでは、情報はドライバーのコストを下げることで、複数ドライバーのケースでは、いくつかのリンクにおいて情報を手に入れやすくすることにより、ドライバーのコストを下げることを示した。

2.4 本研究の位置づけ

2.3で概説したとおり、情報獲得と行動選択の同時決定に関するモデルである RI model は、Jiang et al. (2020) によって交通行動分析へと応用された。そこでは、ドライバーは経路の所要時間のみを情報獲得以外の旅行費用として認識するとされている。また、日々の経験から最適な情報戦略をとることができるかと想定されているが、これは経験等から交通状態の不確実性に関してより正確な知識を有しているドライバー、例えば、地元民ドライバーのような特徴を持つ意思決定者が想定されているものと考えられる。また、Jiang et al. (2020) では、旅行時間の変動要因として、道路容量の確率的な変動（低下）が想定されたモデル化がなされているが、これは事故や工事といった要因による旅行時間変動を想定したモデリングであると解釈できる。

これに対し、大規模なイベント等に伴う観光客ドライバーの集中を主要因とする旅行時間変動を分析するには、以下の4つの課題に対応することが新たに必要であると考えられる。(1) 観光客ドライバーは所要時間のみならずインセンティブのクーポンにも反応して行動変容を行う可能性があること。(2) 経験が乏しい観光客ドライバーは交通情報に関する正確な知識を持っていない場合も多く、最適な戦略を立てることができない可能性があること。(3) 最適ではない戦略をとるドライバー（観光客ドライバー）によって、新たな交通混雑が生じる可能性があること。(4) イベント時には、観光客ドライバーの OD 交通量が旅行時間変動の主要な要因である可能性があること。

以上の問題意識のもと、本研究ではこれらの諸点に対応した、観光客ドライバーの特徴、観光特有の状況を表現可能な RI-Logit 型の経路選択モデルを構築する。そして、観光地からの帰路を模擬した単純ネットワークにおける数値シミュレーションを通じて、情報獲得の難易度変化と立寄りクーポン提供が経路選択行動へ与える影響を分析する。

3章 観光客ドライバーの情報獲得・経路選択モデルの定式化

本研究では, Jiang et al. (2020) による RI-Logit 型経路選択モデル, 並びに, 交通混雑を考慮した RIUE モデルを拡張して, 観光客ドライバーの交通行動分析が可能な行動モデルを構築する. そのために, Jiang et al. (2020) を以下の 4 つの観点から拡張する. これらは 2.4 で述べた既往研究の 4 つの課題にそれぞれ対応したものである.

まず, (1) 経路上での立ち寄り行動を明示的に選択肢に追加するため, 選択肢間の類似性を考慮可能な RI Nested-Logit (RINL) model を構築する. これにより, 観光客ドライバーへの金銭的クーポンの付与を旅行時間と一体的に考慮した分析が可能となる. 次に, (2) 知識不足の観光客ドライバーが誤った戦略をとる状況を記述する思い込み RINL model (Deluded-RINL model) を構築する. さらに, (3) 多数のドライバーの存在によって生じる道路混雑現象を考慮するために, 上記 (1), (2) それぞれの行動原理を仮定した場合に生起する利用者均衡状態をモデル化する (RINLUE ならびに Deluded-RINLUE). 最後に, (4) 観光客ドライバー OD 交通量の確率的な変動を考慮した利用者均衡モデル (Deluded-RINLUE with S-OD) の定式化を行う. 全体像を図 3.1 に示す.

3.1 観光客ドライバーの経路上での立ち寄り行動を表す交通行動モデル

以降の表記は Jiang et al. (2020) に依拠する. 経路旅行時間が確率的に変動する状況下での単独ドライバーの経路選択行動を考える. 交通状態には不確実性があり, $\omega \in \Omega$ (Ω は取りうる可能性がある有限集合) と表す. ドライバーは自身の行動を選択する前に, ランダムに実現する交通状態 ω について観察することはできない. それに対し, ドライバーは交通状態に関する事前知識である確率分布 $p(\omega)$ を持つ. 取りうる行動の集合を A で表す. コスト関数 $c: A \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ は, それぞれの交通状態において, それぞれの行動をとった場合の一般化費用を表す.

出発地と到着地の間にはお互いに交わることのない並行した N 本のリンクが存在すると仮定する. また, 同じ経路を通る場合でも, 「経路の途中にある施設に立ち寄る」と「同じ経路を通るが施設には立ち寄らない」という 2 つの選択肢があるものとする. これらは, 立ち寄り有無の違いこそあれど同一の経路を利用していることから, 類似性の高い選

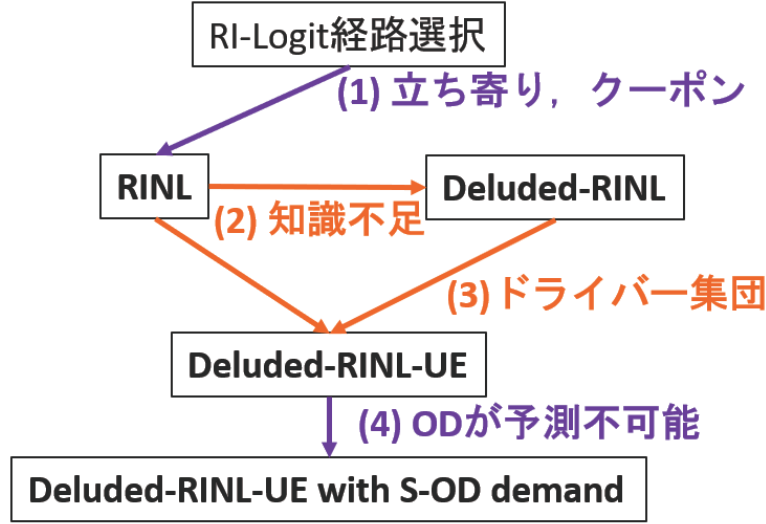


図 3.1 モデルの拡張

択肢であると考えられる．似通った選択肢の存在下での行動選択を扱うために Fosgerau et al. (2020) の RI Nested Logit model (RINL model) を経路選択行動分析に応用する．以後, $a = i_{\text{nonstop}}$ をリンク $i \in \{1, \dots, N\}$ で立ち寄りを行わないという行動を, $a = i_{\text{stop}}$ をリンク i で立ち寄りを行うという行動をそれぞれ表すものとする．これら二つの行動はそれぞれ同一のネストに含まれるものとし, ネストのラベルを g_i , またネストパラメタを $\zeta_{g_i} \in (0, 1]$ と表すものとする．

ドライバーの情報獲得選択と行動選択の組み合わせ（以下, 戦略）は, 次の二つの段階を経て行われる．一段階目では, どのようなシグナルを受け取るかの情報戦略を選択し, それによって事後信念を形成する．シグナルとは選択肢ごとのコストの情報を含んだ確率変数であり, ドライバーはシグナルの確率分布を選択することができるという意味でシグナルをデザインすることが可能である．二段階目では, 一段階目で作られた事後信念をもとに最も期待効用が高い行動を選択する．Matějka and McKay (2015) で証明されたとおり, ドライバーの戦略選択を考える際にはシグナルを明示的にする必要はなく, 交通状態毎に選択される行動のみ考えればよい．したがって, 戦略は条件付確率を並べた行列 $P(A \mid \Omega)$ を用いて表現することができる．さらに, 交通状態 ω において行動 a を選択する条件付き確率を $p(a \mid \omega) = P(A = a \mid \Omega = \omega)$ と表す．そして, 以下のように行動 a を選択する無条件確率を示すことができる．

$$p(a) = P(A = a) = \sum_{\omega \in \Omega} p(a \mid \omega) p(\omega) \quad (3.1)$$

RI の枠組みでは、ドライバーが情報獲得に費やす時間や努力などを、モデル内で情報コストとして表現する。ドライバーは情報から得られる利得（例えば、情報を用いることで費用の大きい選択肢を避けることができる）と情報コストとのトレードオフを考慮して最適な戦略をとる。したがって、場合によっては、情報を取りに行かないという戦略を自ら選ぶ（合理的に不注意になる）可能性がある。本研究では、ドライバーは期待旅行時間と情報コストからクーポンによる満足度を差し引いて定義される期待一般化費用を最小化するために戦略 $P(A | \Omega)$ を選ぶ。ドライバーの期待一般化費用は条件付き確率 $p(a | \omega)$ を用いて式 (3.2)~(3.6) のように表すことができる。

$$\begin{aligned}\Lambda(P) &= E(c(A, \Omega)) + \lambda I(A, \Omega) \\ &= \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{a \in A} p(a | \omega) p(\omega) c(a | \omega) \\ &\quad + \lambda \left[- \sum_{a \in A} p(a) \log S_a p(a) \right. \\ &\quad \left. + \sum_{\omega \in \Omega, a \in A} p(a | \omega) p(\omega) \log S_a p(a | \omega) \right] \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$S_a(\mathbf{p}) = p(a)^{\zeta_{gi}} \left(\sum_{b \in g_i} p(b) \right)^{1-\zeta_{gi}} \quad (3.3)$$

$$c(a | \omega) = \begin{cases} c(a = i_{\text{nonstop}} | \omega) = t(a = i_{\text{nonstop}} | \omega) \\ c(a = i_{\text{stop}} | \omega) = t(a = i_{\text{stop}} | \omega) \\ + \text{Stopping time} - \text{Coupon/VOT} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\sum_a p(a | \omega) = 1 \quad (3.5)$$

$$p(a | \omega) \geq 0 \quad (3.6)$$

ここで、式 (3.2) は期待一般化費用を表し、 $\lambda I(A, \Omega)$ は情報コスト、パラメータ $\lambda \geq 0$ は単位当たりの情報コストである。Fosgerau et al. (2020) が示した一般化情報量 $I(A, \Omega)$ が期待一般化費用に含まれている。式 (3.3) は、NL model に対応する逆需要関数を表す。また、コスト関数 (3.4) において、交通状態 ω における行動 a のリンク自体の旅行時間を $t(a | \omega)$ と表している。一定時間 (Stopping time) 立ち寄るという行動をとった場合には、観光客は付与されたクーポンを使うことができるものとする。そして、クーポンは金銭単位で表記されており、それを時間価値 (Value of Time: VOT) で除して時間換算し、コス

ト関数に含めている。

Fosgerau et al. (2020) が示した通り、以上の期待一般化費用最小化問題を解いて得られた最適解は式 (3.7), (3.8) のように、NL model と似た形式になる。

$$p(a | \omega) = \frac{\exp\left(\frac{-c'(a|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right) \exp\left(\zeta_{g_i} \log \left[\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c'(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right)\right]\right)}{\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c'(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right) \sum_g \exp\left(\zeta_g \log \left[\sum_{b \in g} \exp\left(\frac{-c'(b|\omega)}{\zeta_g}\right)\right]\right)} \quad (3.7)$$

$$-c'(a | \omega) = \frac{-c(a | \omega)}{\lambda} + \zeta_{g_i} \log p(a) + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p(b) \quad (3.8)$$

式 (3.8) は、ネストが存在することによって情報構造が変化し、その結果として、条件付き確率式 (3.7) に出てくる選択枝の一般化費用が $c'(a | \omega)$ へとシフトした状況を表すものである。ここで無条件選択確率 $p(\cdot)$ は、選択枝が期待值的に望ましいかを、 $c(\cdot | \omega)$ は選択枝が、実現する交通状態 ω において実際に望ましいかをそれぞれ表す。また、単位当たりの情報コスト λ は、それらのどちらが式 (3.7) の条件付き確率 $p(\cdot | \omega)$ においてより支配的かを表している。これらの式と、式 (3.1) を用いた収束計算により、不動点問題を解くことによって、条件付き確率を求めることができる。

単位当たりの情報コスト λ が大きくなるにつれて、ドライバーは実現した交通状態についての理解が乏しくなり、より選択枝の事前知識に従って行動を選択するようになる (Jiang et al., 2020)。例えば $\lambda = 0$ の場合には、事前知識は選択に無関係となり、ドライバーは交通状態ごとに最も一般化費用が小さい行動を選択する。逆に $\lambda = +\infty$ の場合には、どの交通状態が実現しているかとは無関係に、最も期待一般化費用が小さい行動を選択する。なお、 λ が有限の正値をとる場合でも、ドライバーが情報を一切処理しないような戦略を選ぶ場合も生じうる (Jiang et al., 2020)。

3.2 ドライバーの情報誤認を考慮した交通行動モデル

3.1 の RINL model では、ドライバーは日々の経験から最適な情報戦略をとることができる想定されている。観光地におけるイベント時の混雑という文脈では、これは、地元民のように交通の状況を熟知したドライバーを想定することに相当すると考えられる。一方、観光客ドライバーは、一般に観光地特有の道路交通状況について相対的に知識が

乏しいと考えることは不自然ではない．そこで，情報の誤認によって，自身の戦略が最適な戦略であると思い込んでいる状況を表現する思い込み RINL model (Deluded-RINL model) の定式化を行う．

ドライバーの知識の乏しさを，選択肢の一般化費用の確率分布を真のものとは異なるように認識していることによって表現する．式 (3.7), (3.8) で表される RINL model の選択確率式に含まれる無条件確率 $p(a)$ は，事前知識に基づいて情報獲得前に立てる戦略である．一方，条件付確率 $p(a | \omega)$ は，情報獲得以降に立てる戦略であると解釈することができる．誤った知識のもとでは無条件確率も誤り，結果，実際の選択肢の一般化費用が $c(a | \omega)$ で表される交通状態において，情報獲得後の条件付確率 $p(a | \omega)$ にも誤りが生じると考えられる．また，この場合の情報コストは，誤った情報獲得前の戦略を立てる段階での選択確率を用いて計算する．これは，知識の乏しさによって自身が処理する情報の量が最適なものであると思い込んでいる状況であると解釈できる．

以上の考えに基づき，誤った無条件確率は，式 (3.9), (3.10), (3.11) によって求められるものとする．

$$p^t(a) = \sum_{\omega \in \Omega^t} p^t(a | \omega) p^t(\omega) \quad (3.9)$$

$$p^t(a | \omega) = \frac{\exp\left(\frac{-c^{t'}(a|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right) \exp\left(\zeta_{g_i} \log \left[\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c^{t'}(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right) \right] \right)}{\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c^{t'}(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right) \sum_g \exp\left(\zeta_g \log \left[\sum_{b \in g} \exp\left(\frac{-c^{t'}(b|\omega)}{\zeta_g}\right) \right] \right)} \quad (3.10)$$

$$-c^{t'}(a | \omega) = \frac{-c^t(a | \omega)}{\lambda} + \zeta_{g_i} \log p^t(a) + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p^t(b) \quad (3.11)$$

選択肢の一般化費用を真の分布とは異なるように認識しているある集団 t に帰属する単独ドライバーの経路選択行動を考える．誤った戦略を $P^t(A | \Omega)$ とする．ドライバー t の交通状態の認識を， Ω^t とし，確率分布 $p^t(\omega)$ と表されたとする．また，コスト関数の認識を $c^t: A \times \Omega_t \rightarrow \mathbb{R}$ と表すものとする．また，誤った無条件確率を $p^t(a)$ ，それを求める際の誤った条件付確率を $p^t(a | \omega)$ と表す．

実際の選択肢の一般化費用が $c(a | \omega)$ で表される交通状態において，情報を獲得した結果誤った条件付確率 $p(a | \omega)$ が得られる．この時の一般化費用は，式 (3.7), (3.8) に取っ

て代わる，誤った無条件確率 $p^t(a)$ が含まれる (3.12) を用いてシフトされると表される．

$$-c'(a \mid \omega) = \frac{-c(a \mid \omega)}{\lambda} + \zeta_{g_i} \log p^t(a) + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p^t(b) \quad (3.12)$$

3.3 ドライバーの情報誤認を考慮した交通均衡モデル

3.1 の RINL model, 3.2 の Deluded-RINL model はどちらも単独ドライバーの経路選択を考えている．ドライバー集団を扱う際は，リンクの旅行時間はリンクを利用するドライバーの数に依存して増加する．したがって利用者均衡を考える必要がある．

3.3.1 情報誤認が無い場合 (RINLUE)

まず，すべてのドライバーが RINL model の行動原理をとると仮定した場合に生じる利用者均衡状態である RINL 利用者均衡 (RINLUE) モデルの定式化を行う．基本的な考え方は Jiang et al. (2020) の RI 利用者均衡 (RIUE) モデルの定式化に依拠しているが，本研究は Nested Logit 型のモデルを想定している点のみが異なる．

交通状態の不確実性 $\omega \in \Omega$ がネットワーク (リンク) の容量の変動に起因するものとする．交通状態の集合 Ω はネットワーク上の各リンクの取りうる可能性のある容量を含むものとする．出発地 O から到着地 D の総需要を N で固定値とする．日々ドライバーは，行動の選択肢の集合 A の中から $a \in A$ を選択する．ドライバーは連続体と見立てられ，個々のドライバーは他の全てのドライバーの選択を所与のものとして選択を行う．各交通状態ごとの選択肢の一般化費用についてはドライバーの事前知識と考える．個々のドライバーが選択を行う際には他のドライバーの選択を考慮しないため，均衡状態においてのみドライバーの事前知識が実際の一般化費用と一致する．その結果，単独ドライバーのケースと同様，各ドライバーは式 (3.2) を目的関数に持つ．

さらにここでは， m 種類のドライバー集団が存在し，それぞれ異なる単位当たりの情報コスト $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ を持つものとする．これにより，単位情報コストの異質性を表現することができ，小さい値の λ_k を持つドライバー集団の方が情報へのアクセスが容易であることを意味する．集団 k のドライバー数を N_k とする．

以上の想定のもと，RINL 型経路選択モデルのもとでの利用者均衡状態 (RINLUE) は，

式 (3.13)~(3.18) の連立方程式体系として定式化することができる。

$$p_k(a | \omega) = \frac{\exp\left(\frac{-c'_k(a|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right)}{\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c'_k(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right)} \frac{\exp\left(\zeta_{g_i} \log \left[\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c'_k(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right)\right]\right)}{\sum_g \exp\left(\zeta_g \log \left[\sum_{b \in g} \exp\left(\frac{-c'_k(b|\omega)}{\zeta_g}\right)\right]\right)} \quad (3.13)$$

$$-c'_k(a | \omega) = \frac{-c_k(a | \omega)}{\lambda_k} + \zeta_{g_i} \log p_k(a) + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p_k(b) \quad (3.14)$$

$$p_k(a) = \sum_{\omega \in \Omega} p_k(a | \omega) p(\omega) \quad (3.15)$$

$$f(a | \omega) = \sum_k N_k p_k(a | \omega) \quad (3.16)$$

$$t(a|\omega) = t_i^0 \left(1 + \beta \left(\frac{f(a|\omega)}{s(i|\omega)}\right)^\gamma\right) \quad (3.17)$$

$$c_k(a | \omega) = \begin{cases} c_k(a = i_{\text{nonstop}} | \omega) = t(a = i_{\text{nonstop}} | \omega) \\ c_k(a = i_{\text{stop}} | \omega) = t(a = i_{\text{stop}} | \omega) \\ + \text{Stopping time} - \zeta_k \cdot \text{Coupon/VOT} \end{cases} \quad (3.18)$$

ここで、式 (3.16) は交通状態 ω において行動 $a \in A$ を選択するドライバーの総数を表している。また、行動 a の交通状態 ω における旅行時間 $t(a | \omega)$ は、式 (3.17) の BRP 型リンクパフォーマンス関数を用いて表すこととする (t_i^0 はリンク i の自由旅行時間)。静的な交通量配分の枠組みのもとで時間分散効果を簡便に考慮するために、それぞれのリンク i において、立ち寄りを行わないという行動 $a = i_{\text{nonstop}}$ をとるドライバーの総数（交通量）と、立ち寄りを行うという行動 $a = i_{\text{stop}}$ をとるドライバーの総数（交通量）をリンクパフォーマンス関数にそれぞれ独立に代入し、それぞれのリンク旅行時間を計算している。つまり、本来出発地から立ち寄りを行える観光施設までのリンク旅行時間は、これら二つの選択肢をとるドライバーの総数をリンクパフォーマンス関数に代入して計算するほうが自然であるところ、簡単のため独立に代入している。したがって、本定式化では観光施設は、出発地の十分近くにあるという想定である。また、 $s(i|\omega)$ は交通状態 ω におけるリンク i の容量であり、この確率的な変動が、旅行時間変動する要因となっている。また、ドライバー集団 k の行動 a の一般化費用は式 (3.18) のように表される。 ζ_k はドライバー集団 k がクーポンによって一般化費用が割引されるかどうかを表す二値変数であり、

クーポンへの反応の異質性を考慮する。

3.3.2 情報誤認がある場合 (Deluded-RINLUE)

3.3.1 で示したドライバー集団は、日々の経験から最適な情報戦略をとり、情報獲得前の戦略である無条件確率を RINL model を用いて日々更新する状況を仮定していた。ここでは、 m あるドライバー集団のうちいくつかのグループが Deluded-RINL model の行動原理に従うと仮定した場合に生起する思い込み RINL 利用者均衡 (Deluded-RINLUE) 状態の定式化を行う。知識が乏しく、情報誤認によって自身の戦略が最適な戦略であると思い込んでいるドライバー集団は、誤った情報獲得前の戦略を利用し続けると仮定する。つまり、Deluded-RINLUE は、誤った情報獲得前の戦略を求めるための問題と、利用者均衡を求めるための問題の次の2つの問題から構成される。これらの問題を解いた結果として現れる利用者均衡状態をここでは Deluded-RINLUE と呼ぶ。

問題 1: 誤った情報獲得前の戦略を求める不動点問題

知識が乏しいドライバー集団 t の誤った情報獲得前の戦略を求める。ここで知識が乏しいとは、3.2 と同様、交通状態やコスト関数に関する誤った知識を持っており、実現する、選択肢の一般化費用の確率分布を真のものとは異なるように認識していることを指す。ドライバー集団 t は、真の分布とは異なり誤っている一般化費用の確率分布を認識として持つと想定する。ドライバー集団毎に戦略が誤った状況を明示的に扱うため、変数の右上添え字は「どの」ドライバー集団がそのような思い込みをしているかを表すものとする。例えば、 $p_k^t(a)$ はドライバー集団 t から見て、別のドライバー集団 k が行動 a を選択する無条件確率を表す。

知識が乏しいドライバー集団の集合を T とする。それぞれの $t \in T$ に対して利用者均衡状態を RINLUE と同様に求め、ドライバー集団 t が行動 a を選択する無条件確率を誤った情報獲得前の戦略であると考えよう。この利用者均衡状態は誤った認識を持つドライバー集団 t が達成すると考えている均衡である。その均衡解は、 $\forall t \in T$ に対して、式 (3.19)~(3.24) の連立方程式体系の解として求められる。

$$p_k^t(a \mid \omega) =$$

$$\frac{\exp\left(\frac{-c_k^t(a|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right)}{\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c_k^t(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right)} \frac{\exp\left(\zeta_{g_i} \log \left[\sum_{b \in g_i} \exp\left(\frac{-c_k^t(b|\omega)}{\zeta_{g_i}}\right) \right]\right)}{\sum_{b \in g} \exp\left(\zeta_g \log \left[\sum_{b \in g} \exp\left(\frac{-c_k^t(b|\omega)}{\zeta_g}\right) \right]\right)} \quad (3.19)$$

$$-c_k^t(a|\omega) = \frac{-c_k^t(a|\omega)}{\lambda_k} + \zeta_{g_i} \log p_k^t(a) + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p_k^t(b) \quad (3.20)$$

$$p_k^t(a) = \sum_{\omega \in \Omega^t} p_k^t(a|\omega) p^t(\omega) \quad (3.21)$$

$$f^t(a|\omega) = \sum_k N_k p_k^t(a|\omega) \quad (3.22)$$

$$t^t(a|\omega) = t_i^0 \left(1 + \beta \left(\frac{f^t(a|\omega)}{s^t(i|\omega)} \right)^\gamma \right) \quad (3.23)$$

$$c_k^t(a|\omega) = \begin{cases} c_k^t(a = i_{\text{nonstop}}|\omega) = t^t(a = i_{\text{nonstop}}|\omega) \\ c_k^t(a = i_{\text{stop}}|\omega) = t^t(a = i_{\text{stop}}|\omega) + \text{Stopping time} - \zeta_k^t \cdot \text{Coupon/VOT} \end{cases} \quad (3.24)$$

ここで、3.2と同様、ドライバー集団 $t \in T$ は誤った事前知識を持っており、交通状態は Ω^t の中から実現すると誤って認識しており、確率分布 $p^t(\omega)$ と表される。交通状態の不確実性 $\omega \in \Omega^t$ がネットワーク（リンク）の容量にあるとしているため、交通状態 ω においてリンク i の容量を $s^t(i|\omega)$ と認識している。また、式 (3.24) のコスト関数では、ドライバー集団 $t \in T$ は誤って $c^t: A \times \Omega_t \rightarrow \mathbb{R}$ と認識していることを表現する。ここではクーポンが存在するかどうかについての知識をもっていないことを表現する。具体的には、ドライバー集団 t から見て、ドライバー集団 k がクーポンによって一般化費用が割引されるかどうかを表す二値変数 ζ_k^t が、すべての k で 0 であることで表される。

問題 2: 利用者均衡を求める不動点問題

$\forall t \in T$ の誤った情報獲得前の戦略の結果としての無条件確率 $p_i^t(a)$ を固定したままで、利用者均衡状態を計算する。 $\forall l \in T^C$ は正しい事前知識を持っているため、求まる均衡状態は、それらのドライバー集団が実際に経験する均衡状態と一致する。

定式化は式 (3.13), (3.25), (3.26), (3.27), (3.16), (3.17), (3.18) の連立方程式体系で与えられる。

$$\begin{aligned}
-c'_l(a \mid \omega) &= \frac{-c_l(a \mid \omega)}{\lambda_l} + \zeta_{g_i} \log p_l(a) \\
&\quad + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p_l(b) \quad \forall l \in T^C
\end{aligned} \tag{3.25}$$

$$p_l(a) = \sum_{\omega \in \Omega} p_l(a \mid \omega) p(\omega) \quad \forall l \in T^C \tag{3.26}$$

$$-c'_t(a \mid \omega) = \frac{-c_t(a \mid \omega)}{\lambda_t} + \zeta_{g_i} \log p_t^t(a) + (1 - \zeta_{g_i}) \log \sum_{b \in g_i} p_t^t(b) \quad \forall t \in T \tag{3.27}$$

ここで、 $k \in T^C \cup T$ である。また、式 (3.13) のように、条件付き確率は $\forall t \in T$ と $\forall l \in T^C$ であるようなどんなドライバー集団でも同様である。しかし、 $l \in T^C$ のドライバー集団は式 (3.25), (3.26) に示す通り、利用者均衡状態を求める繰り返し計算の際に無条件確率 $p_l(a)$ を更新していくのに対し、 $\forall t \in T$ のドライバー集団は式 (3.27) に示す通り誤った無条件確率 $p_t^t(a)$ を利用し続けるという点で異なっている。

3.4 OD 交通量の確率変動を考慮した交通均衡モデル

Jiang et al. (2020) の RIUE, 並びに, 3.3 で示した RINLUE と Deluded-RINLUE は, 道路の交通容量の確率的な変動を交通状態の不確実性の要因と見立てていた。しかし, Siu and Lo (2008) でも指摘されているように, 交通状態の不確実性は「道路の交通容量の確率的な低下」と「OD 交通量の確率的な増減」とに大別されるため, OD 交通量の不確実性を考慮したモデルも検討する必要があると考えられる。特に観光客ドライバーは, 「(当該道路環境における) 運転頻度が低いドライバー」とみなすことができ, 結果として, 平時に比べてイベント時には OD 交通量が大きく変動すると考えられる。そのような問題意識のもと, OD 交通量の確率的な変動を考慮した利用者均衡モデルの定式化を新たに行う。

3.4.1 情報誤認が無い場合 (RINLUE with S-OD)

基本的な設定は 3.3.1 と同様である。OD 交通量の確率的な変動を考慮した, RINL model の利用者均衡状態 (RINLUE with Stochastic OD demand, 以後 RINLUE with S-OD) を式 (3.13), (3.14), (3.15), (3.28), (3.29), (3.18) の連立方程式体系として定式化する。式 (3.28), (3.29) で示す通り, 交通状態によって変化するのが交通容量 $s(i)$ ではなく, ドライバー集団の OD 交通量 $N_k(\omega)$ である。

$$f(a | \omega) = \sum_k N_k(\omega) p_k(a | \omega) \quad (3.28)$$

$$t(a|\omega) = t_i^0 \left(1 + \beta \left(\frac{f(a|\omega)}{s(i)} \right)^\gamma \right) \quad (3.29)$$

3.4.2 情報誤認がある場合 (Deluded RINLUE with S-OD)

OD 交通量の確率的な変動を考慮した, Deluded-RINL model の利用者均衡状態 (Deluded RINLUE with stochastic OD demand, 以後 Deluded-RINLUE with S-OD) の定式化を行う. 基本的な設定や流れは 3.3.2 と同様である. しかし, 交通状態の不確実性 $\omega \in \Omega$ がリンク交通容量 $s(i)$ ではなく, OD 交通量 $N_k(\omega)$ として発現する.

問題 1: 誤った情報獲得前の戦略を求める不動点問題

定式化は $\forall t \in T$ に対して式 (3.19), (3.20), (3.21), (3.30), (3.31), (3.24) の連立方程式体系として表される.

$$f^t(a | \omega) = \sum_k N_k(\omega) p_k^t(a | \omega) \quad (3.30)$$

$$t^t(a|\omega) = t_i^0 \left(1 + \beta \left(\frac{f^t(a|\omega)}{s^t(i)} \right)^\gamma \right) \quad (3.31)$$

なお, 3.3.2 の Deluded-RINLUE と同様, この利用者均衡状態はドライバー集団 t が達成すると考えている均衡である. ここで, ドライバー集団 $t \in T$ は誤った事前知識を持っており, その結果, 交通状態 Ω の確率分布 $p(\omega)$ 自体は正しく認識しているものの, 交通容量を誤って $s^t(i)$ と認識しているものと仮定する. また, 式 (3.24) のコスト関数に対する誤った認識は 3.3.2 のそれと同様である.

問題 2: 利用者均衡を求める不動点問題

これは, 式 (3.13), (3.25), (3.26), (3.27), (3.28), (3.29), (3.18) の連立方程式体系として定式化される.

3.5 計算アルゴリズム

以上の全ての不動点問題の求解では, Jiang et al. (2020) に倣って MSA (Method of Successive Average) アルゴリズム (土木学会, 1998) を用いる.

4章 沖縄海洋博公園花火大会時の帰宅交通を模擬した数値シミュレーション

本章では、3章で定式化した諸モデルに対し、大規模観光イベントの例として、沖縄本島本部半島で開催されている海洋博花火大会からの帰宅交通を模擬した数値シミュレーションを実施する。これにより、構築したモデルの基本特性を明らかにすることを目指す。

4.1 ネットワークとドライバーの条件設定

観光地からの帰路を模擬した単純ネットワークでシミュレーションを実施し、情報獲得の難易度低減と立寄りクーポンの提供の、経路選択行動への影響を分析する。その際、観光客ドライバーのOD交通量との関係も併せて分析することとする。

ネットワークの設定は沖縄海洋博公園花火大会時の帰宅交通を単純化して模擬したものとする(図4.1)。ここでは、観光地からホテル(あるいは自宅)を結ぶリンクとして、主要道を模したリンク1と迂回路を模したリンク2を設定する。リンク2にのみ立ち寄りを行える観光施設があると仮定するため、取りうる選択肢としては、 1_{nonstop} , 2_{nonstop} , 2_{stop} があるが、後者2つは同一の経路を利用していることから同一ネストに配置され(ネストパラメータ ζ_{g_2})より類似性が高いものとする(図4.2)。また、立ち寄り時間は全ドライバーに共通で30、つまり $\text{Stopping time} = 30$ と設定する。

大規模イベント終了後、全てのドライバーは一斉に出発し、出発後には選択肢を変えないものと仮定する。また、2種類のドライバー集団：誤った事前知識を持っているものの 2_{stop} を選ぶことでクーポンによる一般化費用の割引を享受できる観光客ドライバー集団 t 、クーポンによる割引を受けることができないものの、日々の経験から正確な事前知識を持つ地元民ドライバー集団 l の存在を仮定する ($t \in T, l \in T^C$)。立ち寄るドライバーの数を増やして交通量を分散させることを企図してクーポンの提供と、ドライバーの情報獲得の難易度低減を行う。

単位あたりの情報コスト λ に関して、本研究ではJiang et al. (2020) ならびに Arai and Fukuda (2023) に倣って情報獲得の難易度と解釈する。より小さい λ の値の状況は、情報獲得が相対的に容易な状況(例。入手容易な複数メディアの存在や、わかりやすく信憑性

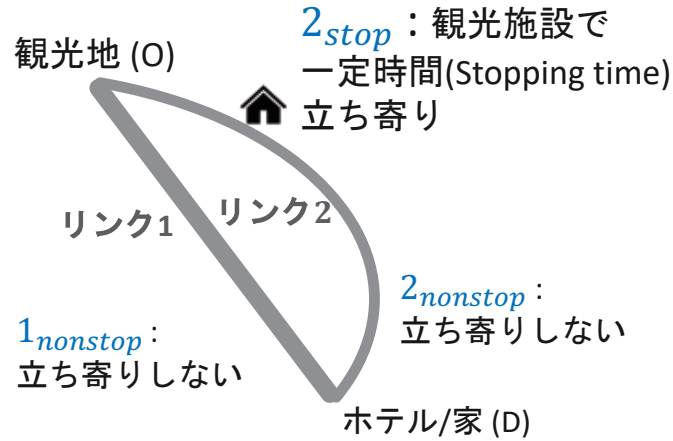


図 4.1 想定するネットワーク

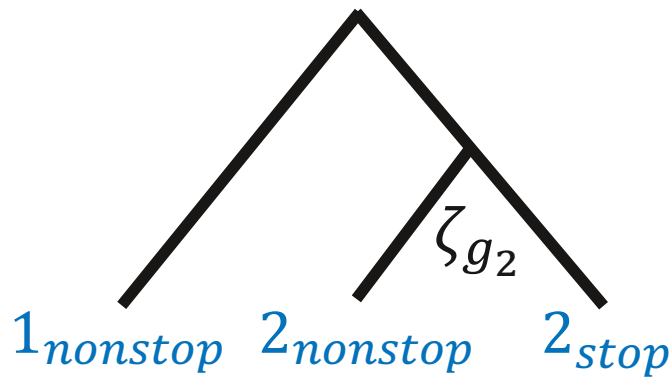


図 4.2 選択枝の相関（ネスト）構造

の高い情報の提供）を表すものとする。

観光客ドライバーに生じる誤った事前知識に関しては、以下の二つの状況を想定する。一つ目は、コスト関数に対する誤認で、クーポンの存在を知らない状況である。このとき、クーポンによって一般化費用が割引されるかどうかを表す二値変数： $\zeta_t^t = 0$ 及び $\zeta_1^t = 0$ となる。二つ目は、交通状態やリンクの特徴に対する誤った知識で、観光客ドライバーは迂回路を模したリンク 2 の交通容量を過小評価している。これは、観光客ドライバーが事前に迂回路の存在をあまり知らないことを表現している。地元民ドライバーは交通状態に対しても、コスト関数に対しても正確な事前知識を持っている。

また金銭的インセンティブであるクーポン額については、異なる 3 水準 (0, 600, 1200, 1800) を設定して比較する。また、時間価値は $VOT = 30$ と設定する。また、ネストパラメータは $\zeta_{g2} = 0.5$ と設定する。

4.2 交通状態変動の条件設定

交通状態変動は2通りの考え方で設定する．1つ目はリンク容量の確率変動を想定する場合であり，2つ目はOD交通量の確率変動を想定する場合である．

4.2.1 シナリオ1：リンク容量に確率変動がある場合

【Deluded RINLUE】

3.3.2のDeluded-RINLUEを用いる．観光客ドライバーのOD交通量 $N_t = 60$ ，地元民ドライバーのOD交通量を $N_l = 60$ とする．リンクパフォーマンス関数に関して，リンク1の自由旅行時間 $t_1^0 = 40$ ，リンク2の自由旅行時間 $t_2^0 = 60$ とする．また，リンク1の交通容量は $s(1) = \{40, 60\}$ の中から等確率で実現し，リンク2の交通容量は $s(2) = \{30, 50\}$ の中から等確率でそれぞれ独立に実現するものとする．したがってネットワーク全体の交通状態は $2^2 = 4$ 通り存在する．リンクパフォーマンス関数のパラメータは両リンク共に $\beta = 0.15, \gamma = 4.0$ と設定する．これらの設定は Jiang et al. (2020) に準拠したものである．

観光客ドライバーの誤った事前知識として以下の2つを想定する．一つ目は，コスト関数に対する誤認でクーポンの存在を知らない状況である．二つ目は，交通状態に対する誤った知識で，観光客ドライバーは迂回路を模したリンク2の交通容量を過小評価している．つまり， $s^t(2) = \{15, 25\}$ の中から等確率で実現すると認識している．

これらの設定の下，観光客ドライバーの期待一般化費用（Expected Generalized Cost: EGC），地元民ドライバーのEGC，社会的（全てのドライバー）のEGCの変化を分析する．観光客ドライバーのEGCは，旅行時間からクーポンの割引を差し引いた賞味の一般化費用の期待値と情報コストの和である．地元民ドライバーのEGCは，旅行時間の期待値と情報コストの和である．社会的EGCは，全ドライバーのEGCを足し合わせたものに加え，交通量分散を図りクーポンを負担する主体を考慮し，観光客ドライバーが享受したクーポンを費用として加えた正味のEGCによって定義している．

【RINLUE】

比較のため，ドライバーの情報誤認を考慮しないモデルでの数値分析も行う．具体的には，3.3.1のRINLUEに相当する．ここでは，観光客ドライバーがコスト関数と交通状態に対して正確な事前知識を持っていると設定する．

4.2.2 シナリオ2：OD 交通量の確率変動を想定する場合

【Deluded RINLUE with S-OD】

3.4.2 の Deluded-RINLUE with S-OD を適用する．そのために，観光客ドライバーの OD 交通量が $N_t = \{40, 50, 60, 70, 80\}$ の 5 状態から等確率で 1 つ実現すると設定する．他方，地元民ドライバーの OD 交通量については $N_t = 60$ で固定するものとする．リンクパフォーマンス関数に関しては，リンク 1 の自由旅行時間 $t_1^0 = 40$ ，リンク 2 の自由旅行時間 $t_2^0 = 60$ ，リンク 1 の交通容量は $s(1) = 40$ ，リンク 2 の交通容量は $s(2) = 30$ と設定する．リンクパフォーマンス関数のパラメータ，クーポンの金額，ネストパラメータの設定等は 4.2.1 と同様である．

観光客ドライバーの誤った事前知識として以下の 2 つを想定する．一つ目は，コスト関数に対して誤認で，シナリオ 1：Deluded RINLUE と同様である．二つ目は，リンクの特徴に対する誤った知識で，迂回路を模したリンク 2 の交通容量を過小評価している．つまり， $s^t(2) = 15$ と認識していると仮定する．

【RINLUE with S-OD】

比較のため，ドライバーの情報誤認を考慮しない状況での数値分析を，3.4.1 の RINLUE with S-OD を用い行う．観光客ドライバーがコスト関数と交通状態に対して正確な事前知識を持っていると仮定する．

4.3 数値シミュレーション結果とその考察

4.3.1 シナリオ1：リンク容量に確率変動がある場合

【Deluded RINLUE】

図 4.3 は観光客ドライバーの EGC，地元民ドライバーの EGC，社会的 EGC である．図 4.4 は各クーポン額における観光客ドライバーの各選択肢の選択確率，図 4.5 は地元民ドライバーのそれである．これらのグラフの横軸は「情報獲得の難易度」を表しており，グラフ上で右に行けば行くほど（ λ の値が小さくなるほど）情報獲得が容易になる状況を表している．

情報獲得の難易度低減やクーポン額の増額は，多くの場合において各主体の EGC を低下させる作用を持つことが確認される．これは，図 4.4 に示すように，立ち寄りの選択肢

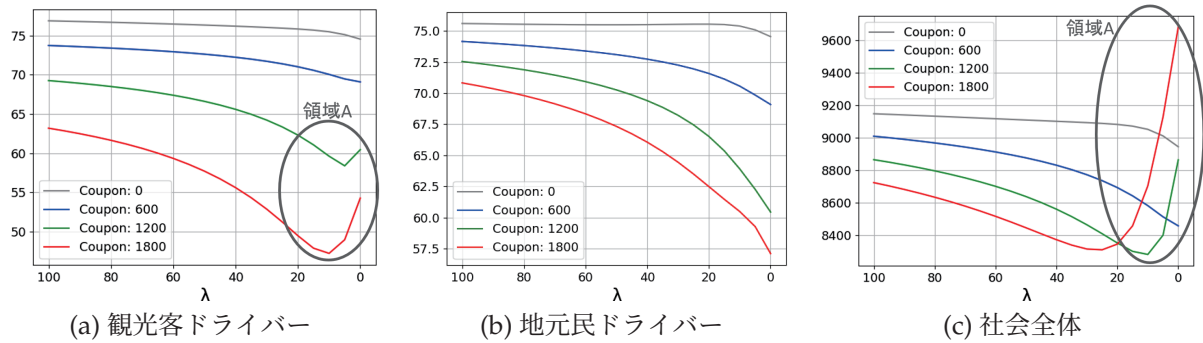


図 4.3 EGC の変化 (シナリオ 1, Deluded RINLUE, 単位情報コストとクーポン額所与)

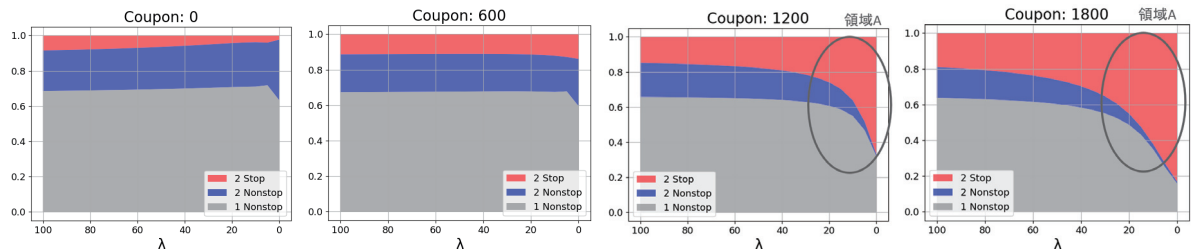


図 4.4 観光客ドライバーの選択確率の変化 (シナリオ 1, Deluded RINLUE, 単位情報コストとクーポン額所与)

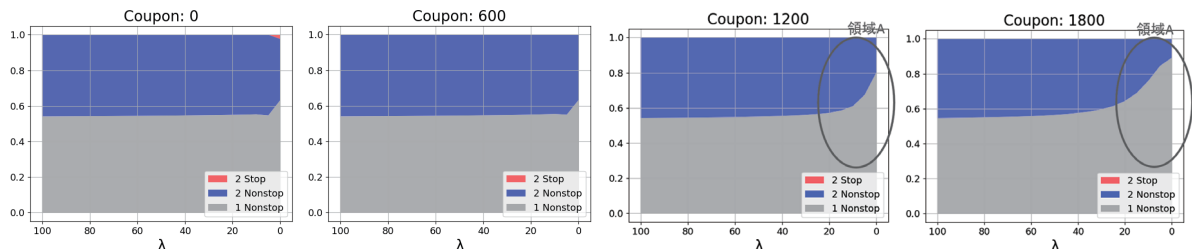


図 4.5 地元民ドライバーの選択確率の変化 (シナリオ 1, Deluded RINLUE, 単位情報コストとクーポン額所与)

2stop を選択する観光客ドライバーが増加し、交通量の時間分散が達成されたことが主要な要因であると考えられる。しかし、観光客ドライバーの EGC と社会全体の EGC に関しては、情報獲得の難易度が低く、クーポン額も大きいと、情報獲得の難易度低減は逆効果となってしまう (図 4.3(a), (c) 中の領域 A)。これは、観光客ドライバーがクーポンの情報に過剰に反応し、立ち寄り行動を選択する観光客ドライバーが大きく増加し、混雑を引き起こしたために生じたものと考えられ、Lindsey et al. (2014) の Overreaction 状態に相当するものと言える。なぜならば、図 4.4 において、情報獲得の難易度が低くかつクーポン額が大きい条件では、多くの観光客ドライバーが立ち寄りの選択肢 2stop を選択しているからである。

ここで、情報獲得の難易度が低い状況 (図 4.3(c) 中の領域 A) ではクーポン額を 1200 から 1800 へと 1.5 倍に上げることによって、社会全体の EGC (定義より正味の EGC, つ

まり全ドライバーの総旅行時間の期待値と総情報コストの和)は増加してしまう。クーポン額が1800に上がった時に、図4.3(a)中の領域Aでの情報獲得の難易度低減の逆効果がより顕著になっていることを鑑みると、立ち寄り行動を選択する観光客ドライバーが大きく増加したことによる混雑が悪化し、観光客ドライバーの総旅行時間(の期待値)が増加してしまったことが原因であると考えられる。一方、観光客ドライバーのEGCがクーポン額1800の時に一番下がっているのは、混雑による旅行時間(の期待値)の増加よりもクーポンの割引の効果が大きいためであると考えられる。

地元民ドライバーのEGCは、情報獲得の難易度低減とクーポン額の増額により単調に減少している(図4.3(b))。これは、多くの観光客ドライバーが立ち寄ったことによって交通量が分散した結果であると思われる。図4.5に示すように、クーポンの恩恵を直接的に受けることができない設定であるため、 2_{stop} を選択する地元民ドライバーは存在しない。しかし、クーポン額を増額すると、観光客ドライバーの選択確率が変化することで、間接的に地元民ドライバーの選択確率も変化している。例えば、多くの観光客ドライバーが 2_{stop} を選択するような状況(図4.4の領域A)では、 1_{nonstop} を選択する地元民ドライバーが多い(図4.5の領域A)という結果となった。

【RINLUE】

道路混雑に伴う均衡原理としてRINLUEを想定した場合の結果を図4.6～図4.8に同様に示す。ドライバーの情報誤認を考慮したDeluded RINLUEの場合と比べると、クーポン額の増額は各ドライバーのEGCを大きく下げる状況は同様だが、情報獲得の難易度低減はクーポンを提供しない場合を除いて各EGCにあまり大きな影響を及ぼさない結果となった。また、Deluded RINLUE(図4.3(a), (c)中の領域A)で見られたような、情報獲得難易度の低減がEGCに与える逆効果も見られない。さらに、図4.6(c)に示す通り、社会全体のEGCに関しては、クーポン額がある水準を超えると逆効果が生じていることがわかる。図4.7に示すように、クーポン額が大きくなるにつれて 2_{stop} を選択する観光客ドライバーが極端に増加していることがその原因と考えられる。一般には、クーポンのインセンティブによって観光客ドライバーが 2_{stop} を選択して交通量が分散された結果、地元民ドライバーのEGCが小さくなることによって、社会全体のEGCも連動して小さくなると推測される。しかし、クーポン額が非常に卓越すると、図4.6(b)の通り、クーポン額を増額しても地元民のEGCはほとんど変化していないためである。

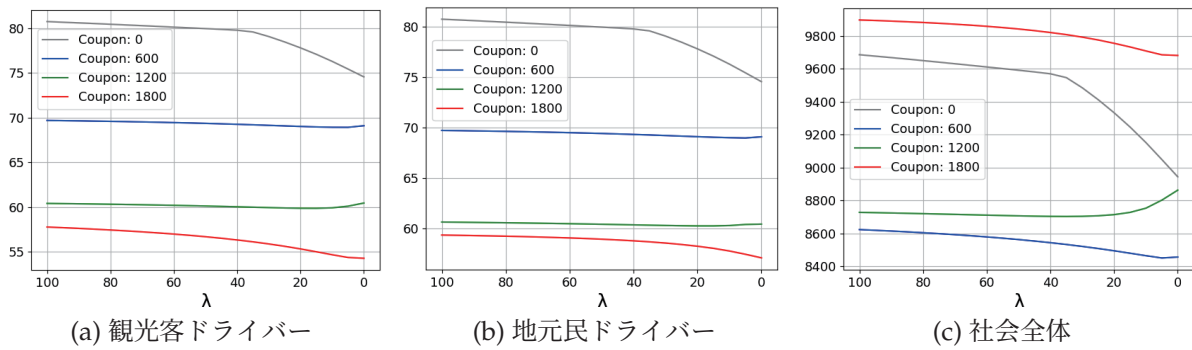


図 4.6 EGC の変化（シナリオ 1, RINLUE, 単位情報コストとクーポン額所与）

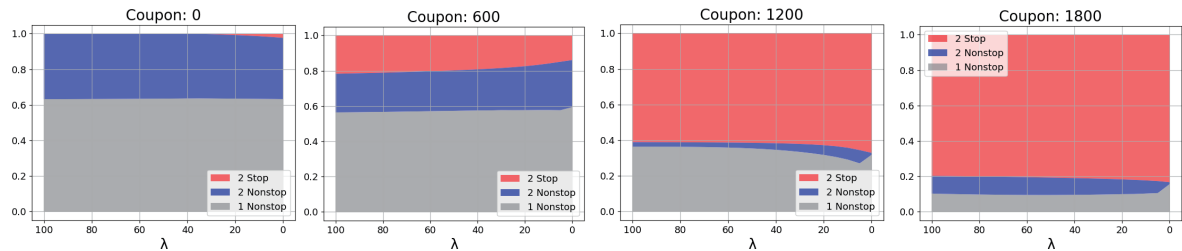


図 4.7 観光客ドライバーの選択確率の変化（シナリオ 1, RINLUE, 単位情報コストとクーポン額所与）

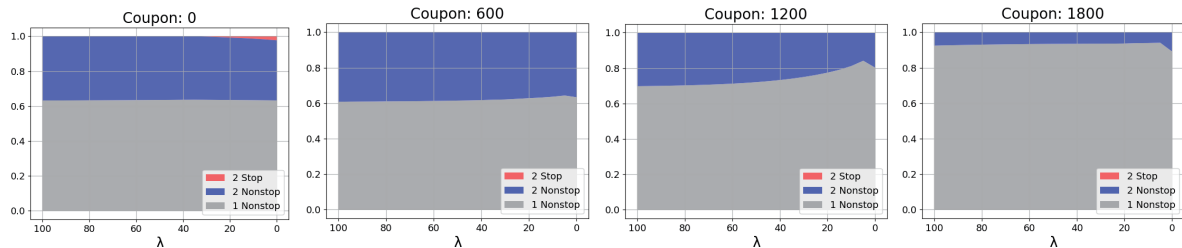


図 4.8 地元民ドライバーの選択確率の変化（シナリオ 1, RINLUE, 単位情報コストとクーポン額所与）

4.3.2 シナリオ 2：OD 交通量の確率変動を想定する場合

【Deluded RINLUE with S-OD】

4.3.1 の分析ではリンク交通容量の変動を仮定していた．これに対し，以降では交通状態の変動要因として OD 交通量の確率変動を想定した数値シミュレーション結果について考察する．

図 4.9～図 4.11 は，Deluded RINLUE with S-OD の場合の数値計算結果をこれまで同様に示したものである．4.3.1 のシナリオ 1：Deluded RINLUE の場合と同様，観光客ドライバーの過剰反応が確認されたこと（図 4.9(a), (c) の領域 A）に加え，クーポンを配布しない場合 (Coupon: 0) では，情報獲得の難易度低下が逆効果をもたらすという直感に反する結果も得られている（図 4.9(b) の領域 B）．後者の原因として，観光客ドライバー

のOD交通量 N_t が確率的に変動するという設定のため、 N_t が小さい場合には、どの選択肢も同程度に一般化費用が小さくなる傾向になると共に、 N_t が大きい場合は、どの選択肢も同様に一般化費用が大きくなることが考えられる。したがって、そうした場合、若干でも一般化費用が小さい選択肢に過度にドライバーが集中する現象が生じていると推察される。これは、Lindsey et al. (2014) の Concentration 状態に相当するものと考えられ、情報提供が特に価値を持つのは、情報提供無しの場合において選択肢の一般化費用に大きな差がある場合であることが示唆される。

また、情報獲得の難易度が高い状況でも、クーポンはEGCの減少を総じてもたらずということも確認される（図4.9(a), (c)中の領域C）。これは、図4.10に示す通り、情報獲得の難易度が高い領域Cのような状況でも、一定数の観光客ドライバーが 2_{stop} を選択しているためであると推察される。OD交通量が確率的に変動する設定のもとで、OD交通量がより多い可能性、つまり経路が全体的に混雑する可能性を見越して 2_{stop} を事前を選ぶドライバーが一定数存在する可能性が示唆される。

さらに、一定数の地元民ドライバーが立ち寄りの選択肢 2_{stop} を選択していることが見て取れる。地元民ドライバーはクーポンによって一般化費用は割引されないという設定であり、それぞれの選択肢の一般化費用として所要時間のみを考慮する設定であるため、 2_{stop} を選択している地元民ドライバーが存在するというのは、所要時間の観点からも立ち寄りの選択が魅力的な状況となっているということを意味する。

【RINLUE with S-OD】

道路混雑に伴う交通均衡原理としてRINLUEを想定した場合の結果を図4.12～図4.14にこれまでと同様に示す。クーポンの増額は、観光客・地元民いずれのドライバーのEGCも大きく低下させるものの、情報獲得の難易度低減がEGCにもたらす影響は非常に小さい結果となった。また、思い込みを考慮した場合において観察されていた、情報獲得の難易度が非常に低い場合におけるEGCへの逆効果現象も確認されなかった。他方、図4.12(c)に示す通り、社会全体のEGCに関して、クーポン額がある水準（ここでは1200以上）を超えると、クーポンを増額してもEGCが増加するという結果となっている。これは4.3.1のシナリオ1:RINLUEの場合と同様に、 2_{stop} を選択する観光客ドライバーが極端に増加しているためであると推察される。

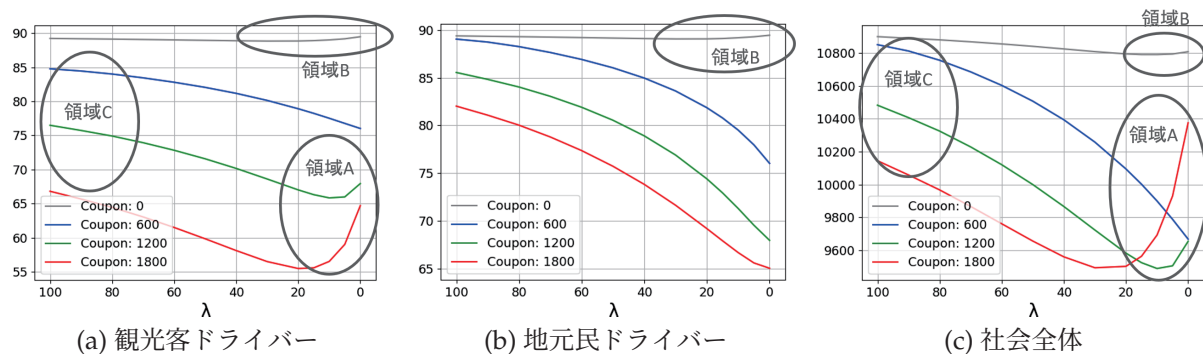


図 4.9 EGC の変化 (シナリオ 2, Deluded RINLUE with S-OD, 単位情報コストとクーポン額所与)

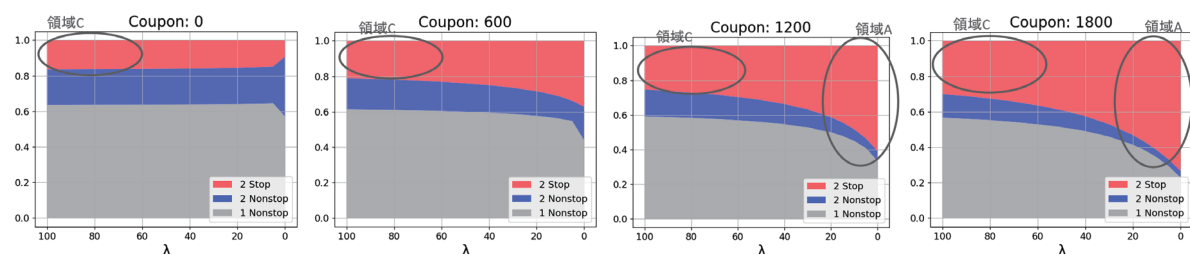


図 4.10 観光客ドライバーの選択確率の変化 (シナリオ 2, Deluded RINLUE with S-OD, 単位情報コストとクーポン額所与)

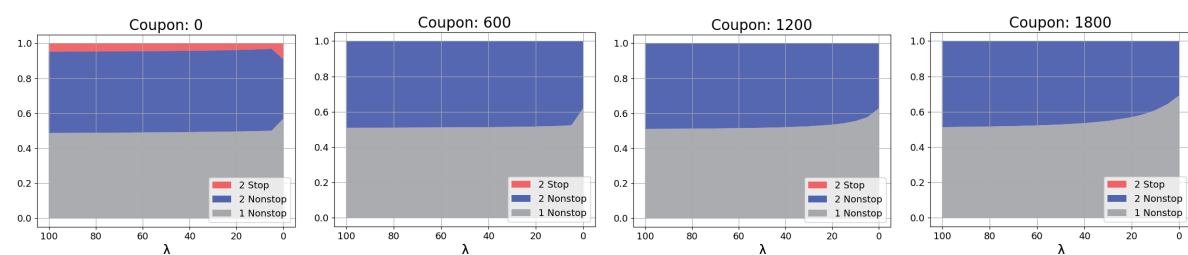


図 4.11 地元民ドライバーの選択確率の変化 (シナリオ 2, Deluded RINLUE with S-OD, 単位情報コストとクーポン額所与)

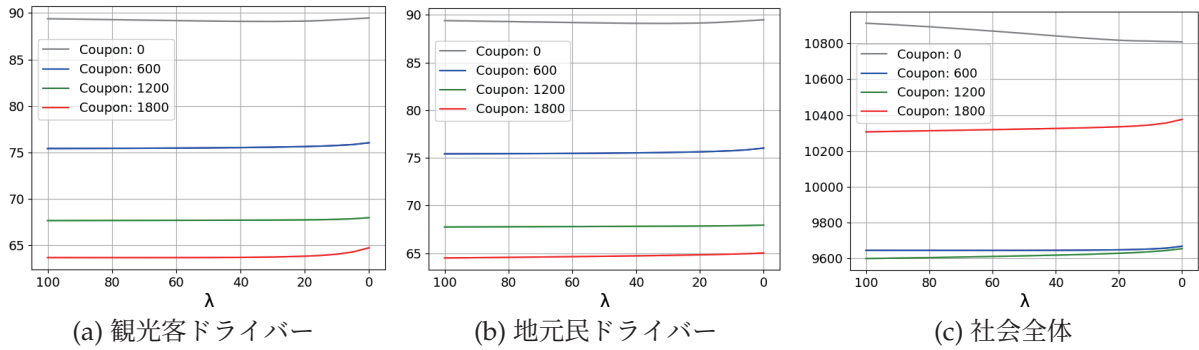


図 4.12 EGC の変化 (シナリオ 2, RINLUE with S-OD, 単位情報コストとクーポン額所与)

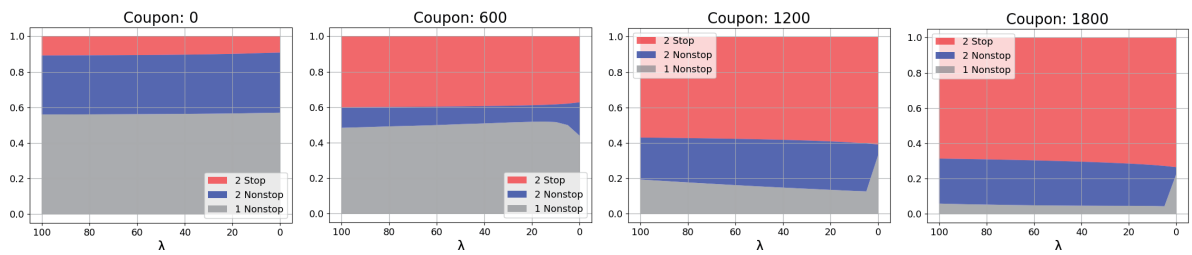


図 4.13 観光客ドライバーの選択確率の変化 (シナリオ 2, RINLUE with S-OD, 単位情報コストとクーポン額所与)

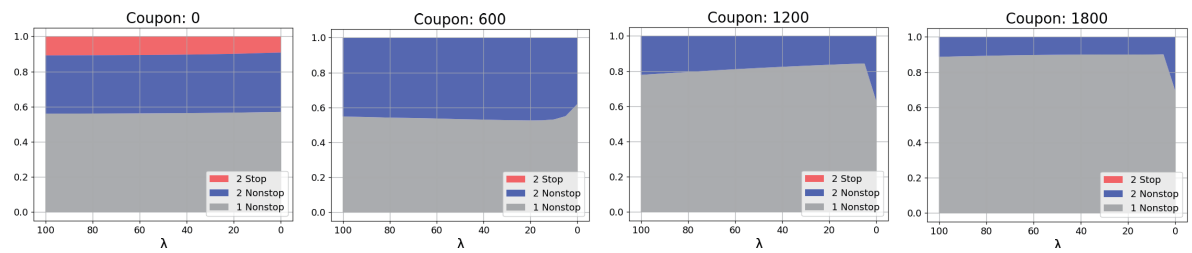


図 4.14 地元民ドライバーの選択確率の変化 (シナリオ 2, RINLUE with S-OD, 単位情報コストとクーポン額所与)

5章 おわりに

本研究では、Jiang et al. (2020) による RI-Logit 型経路選択モデル、並びに、交通混雑を考慮した RIUE モデルを拡張して、観光客ドライバーの交通行動分析が可能な行動モデルを構築した。さらに、観光地からの帰路を模擬した仮想ネットワークにおける数値シミュレーションを通じて、情報獲得の難易度低減と立寄りクーポンの提供の経路選択行動への影響を分析した。ドライバーの情報誤認を考慮した、思い込み RINL 利用者均衡モデルを用いたシミュレーションの結果、情報獲得の難易度低減とクーポンの提供は多くの場合で効果的であるという直感に合致した結果となったが、クーポンの提供のみでは混雑改善効果を発揮しにくい可能性や、情報獲得の難易度低減とクーポン額の増額を同時に行ったり情報獲得の難易度低減のみを行うだけでは社会的費用の観点からは逆効果となる可能性もあることなどが示唆された。他方、OD 交通量をドライバーが予測できない状況では、クーポンの提供のみを行うだけでも社会的費用の観点から見て効果的な可能性があることなどが示唆された。

今後の主要な課題は以下の通りである。第一に、分析方法論の一般的なネットワークへの拡張である。その際、計算の容易性の向上、均衡解の存在や一意性の検証等を行うことも併せての課題であると考えられる。第二に、今回の分析方法論は静的な交通量配分の枠組みにとどまっており、動的な配分問題への展開が必要である。立ち寄りを行える観光施設からホテル/自宅（目的地）までのリンク旅行時間に関して、立ち寄りを行わないドライバーがリンクに共存することによる、立ち寄りを行ったドライバーがリンクを走行する際のリンク旅行時間への影響を考慮する必要がある。また、大規模イベントの終了後を想定し、全てのドライバーが一斉に出発すると仮定しているが、タイムステップを導入し、ドライバーの出発時刻選択を考慮することで、適用の範囲を広げることができると考えられる。第三に、経路途中でのリアルタイム情報提供効果の分析への拡張である。動的な配分問題への展開に伴い、動的な情報の考慮と適応的な経路選択等の記述の必要性がある。第四に、実行データを用いた、パラメータ推定等の実証分析を行うことである。本研究では従来研究 (Jiang et al., 2020; Arai and Fukuda, 2023) に倣って単位あたりの情報コスト λ を情報獲得の難易度と解釈し、交通をマネジメントする立場が操作可能な変数と見立てているが、その妥当性を検証する必要がある。第五に、学習ダイナミクスの考慮で

ある。本研究では、観光客ドライバーの行動選択は一度のみの選択であると仮定しているが、過去の経験をもとに学習し次の選択に活かすというプロセスを考慮するという展開が考えられる。最後に、社会厚生観点から最適な情報提供方法を探索する情報デザイン問題 (例えば, Bergemann and Morris (2019)) と本研究との理論的な関連付けや、その導入を行うことが挙げられる。

参考文献

- [1] Arai, Yuki and Daisuke Fukuda (2023) “Modelling route choice behavior considering drivers’ information acquisition process,” in *The 9th International Symposium on Transport Network Resilience (INSTR2023)*, Hong Kong.
- [2] Bergemann, Dirk and Stephen Morris (2019) “Information design: A unified perspective,” *Journal of Economic Literature*, Vol. 57, No. 1, pp. 44–95.
- [3] Fosgerau, Mogens and Gege Jiang (2019) “Travel time variability and rational inattention,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 120, pp. 1–14.
- [4] Fosgerau, Mogens, Emerson Melo, André De Palma, and Matthew Shum (2020) “Discrete Choice and Rational Inattention: A General Equivalence Result,” *International Economic Review*, Vol. 61, No. 4, pp. 1569–1589.
- [5] Han, Xiao, Qiuxia Sun, Yingying Xing, Zi-You Gao, and H. Michael Zhang (2024) “Reducing strategic uncertainty in transportation networks by personalized routing advice: A route-choice laboratory experiment,” *Travel Behaviour and Society*.
- [6] Jiang, Gege, Mogens Fosgerau, and Hong K. Lo (2020) “Route choice, travel time variability, and rational inattention,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 132, pp. 188–207.
- [7] Lindsey, Robin, Terry Daniel, Eyran Gisches, and Amnon Rapoport (2014) “Pre-trip information and route-choice decisions with stochastic travel conditions: Theory,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 67, pp. 187–207.
- [8] Matějka, Filip and Alisdair McKay (2015) “Rational inattention to discrete choices: A new foundation for the multinomial logit model,” *American Economic Review*, Vol. 105, No. 1, pp. 272–298.

- [9] Sims, Christopher A. (2003) "Implications of rational inattention," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 50, No. 3, pp. 665–690.
- [10] Sims, Christopher A. (2010) "Rational inattention and monetary economics," in Friedman, Benjamin M. and Michael Woodford eds. *Handbook of Monetary Economics*: Elsevier, pp. 155–181.
- [11] Siu, Barbara W.Y. and Hong K. Lo (2008) "Doubly uncertain transportation network: Degradable capacity and stochastic demand," *European Journal of Operational Research*, Vol. 191, No. 1, pp. 166–181.
- [12] 羽藤英二・谷口正明・杉恵頼寧・桑原雅夫・森田緯之 (1998) 「複数交通情報リソース下における情報獲得・参照行動を考慮した経路選択モデル」, 土木学会論文集, 第 1998 巻, 第 597 号, 99–111 頁.
- [13] 国土交通省「地域交通ガイドンス <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/seisakutokatsu_soukou_tk_0000008.html>」. (入手 2023.12.22).
- [14] 中山晶一郎・高山純一・長尾一輝・笠嶋崇弘 (2004) 「旅行時間の不確実性を考慮した交通ネットワーク均衡モデル」, 土木学会論文集, 第 2004 巻, 第 772 号, 67–77 頁.
- [15] 朝倉康夫・柏谷増男・熊本仲夫 (1989) 「交通量変動に起因する広域道路網の信頼性評価」, 土木計画学研究・論文集, 第 7 巻, 235–242 頁.
- [16] 土木学会土木計画学研究委員会「交通ネットワーク」出版小委員会 (1998) 『交通ネットワークの均衡分析: 最新の理論と解法』, 土木学会.
- [17] 藤井聡・中山晶一郎・北村隆一 (2001) 「習慣解凍と交通政策」, 土木学会論文集, 第 2001 巻, 第 667 号, 85–101 頁.
- [18] 福田大輔・城間洋也 (2023) 「離散選択モデル研究の最近の展開—異質性と摂動性の観点から—」, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 第 78 巻, 第 5 号, I.1–I.20 頁.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ

http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-913 「情報獲得行動を考慮したドライバー行動モデルの構築と
道路交通混雑情報提供の社会デザインに関する研究」

情報獲得行動を考慮したドライバー行動モデルの構築と
道路交通混雑情報提供の社会デザインに関する研究プロジェクト

2025 年 5 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会