

道路政策の質の向上に資する技術研究開発  
成果報告レポート  
No. 2021-3

研究テーマ

高速道路における Proactive 型  
交通マネジメント方策についての研究開発

研究代表者：	岐阜大学教授	倉内	文孝
共同研究者：	京都大学教授	宇野	伸宏
	京都大学特命教授	西田	純二
	名古屋大学特任教授	田中	貴紘
	岐阜大学准教授	中村	俊之
	大阪工業大学特任准教授	木村	優介

令和 6 年 5 月

新道路技術会議

# 目次

研究概要 .....	1
第 1 章 はじめに .....	3
1. 1 研究背景と目的 .....	3
1. 2 研究の全体像 .....	4
1. 3 研究実施体制 .....	4
1. 4 本報告書の構成 .....	4
第 2 章 分析対象区間とその特徴 .....	5
2. 1 はじめに .....	5
2. 2 分析対象区間 .....	5
2. 3 分析対象区間の交通状況 .....	5
第 3 章 交通状況フォーキャスト・ナウキャストモデルの構築 .....	6
3. 1 はじめに .....	6
3. 2 予測時点と予測モデル .....	6
3. 3 交通状況フォーキャストモデルの構築 .....	7
3. 4 交通状況ナウキャストモデルの構築 .....	9
3. 5 おわりに .....	12
第 4 章 ゲーミフィケーションデザインの検討 .....	13
4. 1 はじめに .....	13
4. 2 ゲーミフィケーションに関する文献レビュー .....	13
4. 3 ウェブアンケート調査によるターゲットユーザーの設定 .....	16
4. 4 ゲームデザインの検討 .....	18
4. 5 おわりに .....	20
第 5 章 ゲーミフィケーションによる行動変更についての事前予測手法の構築 .....	22
5. 1 はじめに .....	22
5. 2 アンケート調査の設計 .....	22
5. 3 アンケート調査の実施 .....	23
5. 4 基礎集計 .....	23
5. 5 行動変更可能性を対象とした統計分析 .....	24
5. 6 ゲーミフィケーションによる行動変更についての事前予測 .....	27
5. 7 行動変更可能性を対象とした統計分析 .....	27

第6章 チャットボット型行動変更システムおよびスマートフォンアプリゲームシステムの開発	28
6. 1 はじめに	28
6. 2 システムの構成と機能	28
6. 3 クラウドシステムの構築	28
6. 4 ロボットインターフェースの構築	29
6. 5 チャットボット型行動変更提案システムの機能検証	30
6. 6 おわりに	30
第7章 チャットボット型行動変更提案システムの効果検証	31
7. 1 はじめに	31
7. 2 DS 実験の実施と評価	31
7. 3 実装実験の実施と評価	35
7. 4 おわりに	38
第8章 ゲーミフィケーションによる行動変更促進効果に関する検証	39
8. 1 はじめに	39
8. 2 ゲームデザインヒューリスティクス評価	39
8. 3 スマホゲームアプリを用いた実証実験	41
8. 4 おわりに	43
第9章 今後の継続、展開に向けた検討	45
9. 1 広島実験協力機関の反応と実験継続に関するコスト試算	45
9. 2 他地域への展開についての検討	47
第10章 まとめ	48
10. 1 本研究の成果	48
10. 2 今後の課題	49

## 「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（令和 3 年度採択） 研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
No. 2021-3	高速道路における Proactive 型交通マネジメント方策についての研究開発	岐阜大学 教授 倉内文孝

AI 技術を活用した交通状況ナウキャストをトリガーとし、ゲーミフィケーションによる行動変更提案のデザインアルゴリズムを構築し、チャットボットを通じて走行中に安全に行動変更提案をする Proactive 型交通マネジメント方策の研究開発。

### 1. 研究の背景や動機、目的および目標等

近年機動的料金への期待が大きく高まっており、かつ ETC 車載器の普及を鑑みるとその技術的実現可能性は高い。一方で、時々刻々変化する交通状況に応じて変動する課金額や、平面街路を含めた混雑の少ない代替路、出発時刻調整へのインセンティブなど、交通状況改善のための様々な選択肢の周知方法は、ドライバーの運転操作への干渉となるため慎重な検討を行う必要がある。

本研究では近年防災やまちづくりの分野で活用が進む、「ゲーミフィケーション」の概念の援用と「チャットボット」を用いた行動変更提案を考える。ゲーミフィケーションとは、「ゲームで使われている構造を異なる分野にて応用すること」でありゲーム要素を取り入れることで他分野の問題解決を図る取り組みをいう。「チャットボット」とは、AI を活用した自動会話プログラムにより人間と違和感のない会話を行うものであり、運転途中の行動変更提案という限定された条件において有効に機能すると考えられる。本研究では、ゲーミフィケーションを効果的に実施することによって高速道路走行中の利用者の行動変更を積極的に促進する Proactive (=積極的) 型の交通マネジメント方策を構築することをめざす。

### 2. 研究内容

上記目的を達成するために、リアルタイム観測に基づく交通状況ナウキャストモデルの開発、ゲーミフィケーションによる行動変更デザインアルゴリズムの開発、チャットボット型行動変更提案システムの開発、Proactive 型交通マネジメント方策の効果検証を実施する（図-1）。

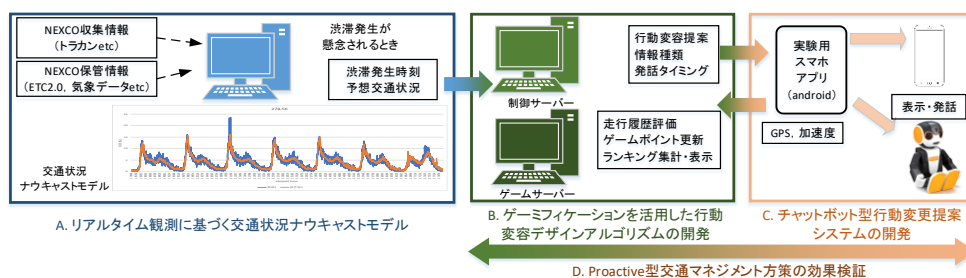


図-1 研究の全体像

### 3. 研究成果

A. リアルタイム観測に基づく交通状況ナウキャストモデルの開発：ドライバーの行動変更の際の参考とするための4段階の混雑レベルを予測可能な、翌朝の交通状況を予測する交通状況フォーキャストモデルならびに45分先の交通状況を予測する交通状況ナウキャストモデルの構築を達成できた。

B. ゲーミフィケーションによる行動変更デザインアルゴリズムの開発：ゲーミフィケーションの事前効果を予測するモデルの構築および「おおいもん勝ち!!～渋滞緩和ゲーム」の開発を行った（図-2）。

C. チャットボット型行動変更提案システムの開発：制御サーバーやアプリの開発およびウェブ版ゲームアプリ、ゲームアプリの開発を行い、チャットボットを柔軟に制御可能な行動変更提案システムおよびスマホゲームアプリシステムを構築した。

D. Proactive 型交通マネジメント方策の効果検証：DS 走行実験および実走実験データの分析の結果、ドライバーエージェントを活用した情報提供は積極的に行動変更をする交通マネジメント方策を強化する手段として有効であることを示した。また、アプリ実証実験からは、限定された被験者の中では継続的にゲームを

楽しみに、そして行動変更につながる被験者もいたことが明らかとなった。ゲームを用いた渋滞緩和というアイデアに対しては好意的な意見も多く、ゲーミフィケーション効果の一定の可能性を見出すことができた。

#### 4. 主な発表論文

1. Kurauchi, F., Azuma, Y. and Shibagaki, T.: “Design Evaluation of “Ooimongachi: Congestion Mitigation Game!!” Based on Gameful Design Heuristics”, paper presented at Replaying Japan 2023, Nagoya, 2023.8
2. 松尾悠, 木村優介, 宇野伸宏, “高速道路の渋滞緩和を目指したゲーミフィケーションによる行動変容の促進可能性”, 土木学会論文集・特集号, 79(20), 2024.05 (掲載可)
3. 荒木咲良, 倉内文孝, “高速道路における行動変更提案に向けた交通状況フォーキャストモデルの構築”, 第43回交通工学研究発表会論文集, 97, 659-666, 2023.
4. 浅岡琢視, 中村俊之, “高速道路利用者へのゲーミフィケーションによる行動変容の適用可能性に関する基礎的研究”, 人間工学, 58巻Supplement号, 1B3-06, 2022
5. 倉内文孝, 東善朗, “ゲーミフィケーションの土木計画への適用可能性に関する文献調査”, 土木計画学研究・講演集, 66, 2022.11
6. 浅岡琢視, 中村俊之, “高速道路利用者行動変容を見据えたゲーミフィケーション設計に向けた考察”, 土木計画学研究・講演集, 66, 2022.11
7. 浅岡琢視, 中村俊之, 周广輝, 倉内文孝, 小澤友記子, “高速道路利用者への報酬型実験による行動変容に関する研究”, 土木計画学研究・講演集, 67, P01-55, 2023.6
8. 東善朗, 倉内文孝, 柴垣太郎, 中村俊之, 荒木咲良, 廣田柚月乃, “ゲーミフィケーションによる渋滞緩和をめざしたドライバーへの働きかけ～「おおいもん勝ち渋滞緩和ゲーム!!」の開発～”, 土木計画学研究・講演集, 68, 2023.11.
9. 松尾悠, 木村優介, 宇野伸宏, 松中亮治, 田中皓介, “高速道路利用者の表明選好に基づくゲーミフィケーションによる行動変更促進可能性に関する分析”, 土木計画学研究・講演集, 68, 2023.11.

#### 5. 今後の展望

本研究においては、ゲーミフィケーションを活用し、ドライバーが積極的に行動変更を行う「Proactive型交通マネジメント」手法の確立に向け、ゲーミフィケーションによる行動変更の可能性を検証するとともにその効果を促進するチャットボット型行動変更提案システムの開発を行った。システムは問題なく開発でき、また、実証実験結果から、Proactive型交通マネジメントの可能性を見いだすとともに、チャットボット型の行動変更提案についても安全上問題なくより効果的な行動変更提案が可能であることを確認できた。さらに、土木計画学研究委員会の中に、「社会課題解決のためのゲーミフィケーション活用」研究小委員会（委員長：倉内）を足踏させ令和8年5月まで活動予定である。ゲーミフィケーションに興味を持つ研究者が議論できる場を構築できたことは、今後様々な社会課題に対するゲーミフィケーションの展開が期待できることから、重要な成果と考えている。今後の課題としては、交通状況フォーキャスト・ナウキャストモデルの実用化、ドライバーエージェント実験並びにスマートフォンアプリ実験の充実ならびに渋滞緩和ゲームの横展開が必要と考えられる。

#### 6. 道路政策の質の向上への寄与

今後の実務への波及効果について、岐阜国道事務所と岐阜大学は「連携協力に関する協定」を締結し、岐阜県TDMの取り組みの効果を高め、平常時だけでなく災害時にも有効となるしくみを構築した。この連携協力のもと、ゲーミフィケーションを活用した岐阜県TDMの取り組みを今年度より実施予定である。さらに、京都国道事務所とも意見交換を行い、今後観光渋滞緩和のための取り組みへの活用可能性について議論している。

#### 7. ホームページ等

<https://oimongachi.jimdofree.com/>



図-2 ゲームの流れと画面

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究背景と目的

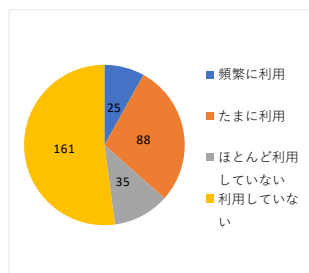
我が国の高速道路は、供用から30年以上経過した延長が約4割を占めるなど、老朽化の進展とともに厳しい使用環境にさらされていることによる変状が顕在化しており、早急な大規模更新、修繕に取り組む必要がある。このような大規模更新、修繕の対象となる区間は重交通や厳しい気候条件にさらされていることが多く通行規制の影響は計り知れない。通行止めを伴うような大規模な交通規制の際や、慢性的に渋滞が生じているような区間において、需要調整による適切な交通マネジメント方策の重要性はますます高まるばかりである。

需要調整において効果的なのは、料金の弾力的な変更である。令和2年9月に公表された「持続可能な国土幹線道路システムの構築に向けた取組」の中間とりまとめでは、「社会経済状況に応じた機動的な料金、利用者重視の料金の推進」を速やかに検討すべき課題として位置づけている<sup>1)</sup>。また、研究代表者らが実施した先行研究<sup>2)</sup>では、混雑状況に応じ時間帯別地点別に細かく課金額を変更することで交通状況の改善が実現しうること、一般街路を含めた総旅行時間が減少することが確認されており、積極的な課金戦略が社会的により望ましい状態へと導きうることが明らかとなっている。一方で、時々刻々変化する交通状況に応じて変動する課金額や、平面街路

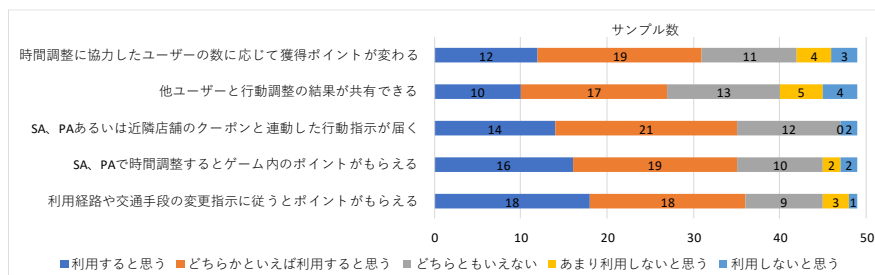
を含めた混雑の少ない代替路、出発時刻調整へのインセンティブなど、交通状況改善のための様々な選択肢の周知方法は、ドライバーの運転操作への干渉となるため慎重な検討を行う必要がある。

上記課題に対し、本研究では近年防災やまちづくりの分野で活用が進む、「ゲーミフィケーション」の概念の援用と「チャットボット」を用いた行動変更提案を考える。ゲーミフィケーションとは、「ゲームで使われている構造を異なる分野にて応用すること」をいい、ゲーム要素を取り入れることで他分野における問題解決を図る取り組み全般をいう。図-1.1(a)、(b)は、予備調査として実施した高速道路利用者309名を対象とした「大規模更新の際の行動変更の可能性」に関するWebアンケート結果である。位置情報ゲームアプリを一定頻度利用しているサンプルが37%、うち経路・手段変更や時間調整に応じたポイント付与について利用に興味を示している方が35名(309名中11%)存在している。渋滞に与える交通量がわずか数%であることを鑑みると、ゲーミフィケーションによる行動変更について十分期待できる。

「チャットボット」とは、AIを活用した自動会話プログラムにより人間と違和感のない会話を行うものであり、近年企業の質問窓口などでの活用が進んでいる技術である。24時間対応可能であることや、質問内容が想定される条件での有効性が示されており、運転途中の行動変更提案という限定された条件



(a) 位置情報ゲームの利用 (n=309)



(b) 施策メニューごとの行動変更の可能性 (n=49)

図-1.1 位置情報ゲームの利用と行動変更の可能性についての基礎集計



においても有効に機能すると思われる。

以上のような背景を踏まえ、本研究では機動的料金の導入を視野に入れつつそれと同程度の効果が期待できるゲーミフィケーションによる効果的な行動変更提案の選択肢をデザインし、さらにはチャットボットにより安全かつ効果的に行動変更提案を行うことで、高速道路走行中の利用者の行動変更を積極的に促進するProactive (=積極的) 型の交通マネジメント方策を構築することをめざす。

## 1.2 研究の全体像

上記の目的を達成するために、本研究では主に4つの研究を実施する。図-1.2に研究の全体像を示し個々の研究開発の概要を説明する。

### A. リアルタイム観測に基づく交通状況予測モデルの開発

効果的な交通マネジメント実現のためには、今後生じうる交通状況を予測した上で適切な行動変更を提案することが重要となる。そのために、交通量検知器、ETC2.0などのリアルタイム活用の可能性を探り、近未来の交通状況を把握するためのモデル開発を進める。行動変更のタイミングごとに入手可能な情報や行動変更の選択肢が異なるため、行動変更提案タイミングごとに適切なモデルの構築を行う。

### B. ゲーミフィケーションによる行動変更デザインアルゴリズムの開発

実際の交通マネジメントの実施に先立ち、ゲーミフィケーション要素を取り入れた施策設計の際に効果的なゲーム要素によるドライバーの行動変更の比率などを把握する必要がある。近年様々なゲーミフィケーション研究が実施されておりそのデザインや評価手法についての提案も多い。文献調査によりゲーミフィケーションデザインや評価についての方法論を整理した上で、本研究課題の意図に整合したゲーミフィケーションデザインを実施するとともに、ゲームの効果を事前予測する方法を検討する。

### C. チャットボット型行動変更提案システムの開発

高速道路走行中でも安全に情報を取得でき、かつその意図を理解可能であり、その結果行動変更につながるような提案方法の開発が必須である。そのため、ドライバーに自然に話しかけるチャットボットであるドライバーエージェントを活用した発話による行動変更提案システムを開発する。

### D. Proactive型交通マネジメント方策の効果検証

提案したProactive型交通マネジメント方策の効果について、ゲーミフィケーションの概念を用いた行動変更提案の可能性を表明選好調査およびスマホゲームアプリを用いた実証実験調査により明らかにする。また、チャットボットを用いた行動変更提案

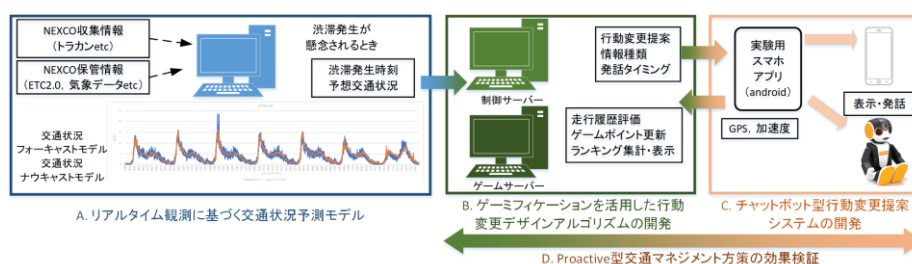


図-1.2 研究の全体像

表-1.1 研究実施体制

テーマ担当	A	B	C	D
倉内 文孝 (岐阜大学)	◎	○		◎
宇野 伸宏 (京都大学)		◎		○
西田 純二 (京都大学)	◎	○		◎
田中 貴紘 (名古屋大学)			◎	○
中村 俊之 (岐阜大学)		○	◎	◎
木村 優介 (大阪工業大学)		◎		○

では安全性の視点からまずはドライビングシミュレータ（以下DS）による机上検討・検証を実施したのちに、実道路での実走実験を行いその効果を把握するとともに実用に向けた課題についてとりまとめる。

## 1.3 研究実施体制

上記の研究を遂行するための実施体制を表-1.1に示す。また、研究遂行にあたり、西日本高速道路株式会社にデータ提供などの協力と仰ぐとともに、データ処理等の補助として研究員、学生を雇用した。

## 1.4 本報告書の構成

本報告書は10章で構成される。1章では、本研究の背景と目的を述べた。2章では分析対象区間の特徴を説明する。3章では、交通状況フォーキャスト・ナウキャストモデルの構築について報告する。4章、5章では、ゲーミフィケーションのデザイン手法およびその事前評価手法を検討した結果を示す。6章では、DS実験や実走実験、アプリ実証実験のためのシステム開発の概要を示す。7章で、チャットボット型行動変更提案システムの効果検証を、8章でゲーミフィケーションによる行動変更提案の効果検証を行った。9章で今後の展開に向けた検討を行い、10章で本研究の成果と課題をとりまとめる。

## 第1章 参考文献

- 1) 国土交通省報道発表資料：“「持続可能な国土幹線道路システムの構築に向けた取組」中間とりまとめの公表について”，国土交通省ウェブページ，2020([https://www.mlit.go.jp/report/presentation/road01\\_hh\\_001365.html](https://www.mlit.go.jp/report/presentation/road01_hh_001365.html)，2022/2/24アクセス)
- 2) 倉内文孝：“料金コントロールによる都市高速道路の動的交通マネジメントに関する研究”，科学研究費基盤研究(B)，科学研究費助成事業データベース(<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-15H04057/>，2022/2/24アクセス)

## 第2章 分析対象区間とその特徴

### 2.1 はじめに

本章では、一連の検討において分析対象とした地域とその特徴について整理する。

### 2.2 分析対象区間

本プロジェクトにおいて、効果検証を行うにあたって必要な要件は以下の通りまとめることができる。

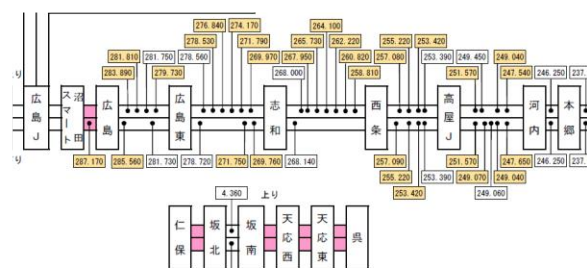
- ・ 渋滞が深刻かつ遅延が大きな影響を及ぼすこと
- ・ 豊富な交通観測が実施されておりリアルタイムベースでのデータ利用が可能であること
- ・ 行動変更のための選択肢があること
- ・ 利益享受者がわかりやすいこと

このような対象区間として、山陽自動車道の広島市街から広島空港までの上り区間を対象とすることとした。以下に分析対象区間についての概要を説明する。なお、現地視察に先立って、この区間を候補とあげた理由は以下の通りである。

- ・ 広島市街から東広島市付近の工業団地に向かう通勤交通による渋滞が常態化しており、あわせて三原市に広島空港があるため、厳しい到着時間制約がある交通も同時に存在する。
- ・ 渋滞状況を迅速に把握するため、交通量検知器が多く設置されている（図-2.1）。
- ・ 交通状況データにあわせて、交通規制データおよび気象データが統合的に整理されている。
- ・ 高速道路管理者（西日本高速道路株式会社）の積極的な協力が期待できる。
- ・ 山陽自動車道の当該区間を避けた代替経路が複数存在する。

### 2.3 分析対象区間の交通状況

前述の通り、当該区間には多くの観測機器が設置されている。また、ETC2.0データを活用することで、面的に交通状況を把握可能である。それらの機器を用い、分析対象区間の2019/1/～2021/5/31の交通状況を確認した。まず、ループ式車両検知器のデータ



※西日本高速道路株式会社 資料より抜粋

図-2.1 交通量検知器設置状況

（白：ループ式検知器，黄：画像式検知器）

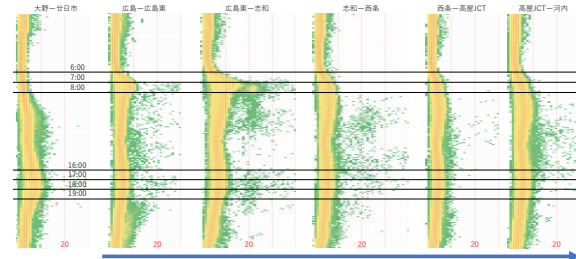


図-2.2 オキュパンシーの出現頻度（上り）

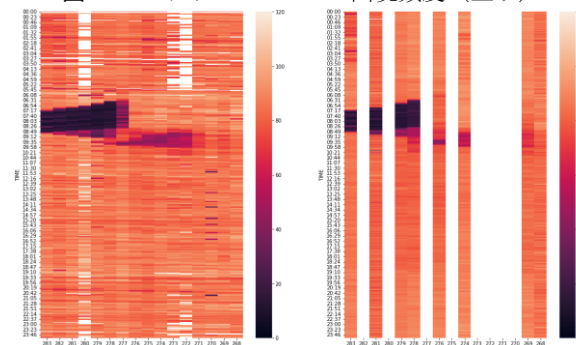


図-2.3 交通量検知器とETC2.0の空間平均速度の面的比較（2019/6/18データ）

を用い、5分間ごとのオキュパンシー値の出現頻度をコンター図に描いた（図-2.2）。相対的に大きなオキュパンシーが観測されているのが広島東～志和の区間であることが確認できる。また、ETC2.0データを用いて面的な速度分布を描いたところ、交通量検知器設置位置では同様の値を得つつ、面的に交通状況が把握可能であることが確認できた（図-2.3）。



## 第3章 交通状況フォーキャスト・ナウキャストモデルの構築

### 3.1 はじめに

本章では、A.に関連し、交通状況のナウキャストおよびフォーキャストモデルの構築についての検討結果をまとめる。

### 3.2 予測時点と予測モデル

本研究では、中国自動車道上りの朝の渋滞に対象を限定し、出発時刻および利用経路変更、の2つを行動変更の選択肢とした。なお、利用経路の変更については、「出発地から一般道を利用する」ケースと、「走行途中のIC、具体的には志和ICにて高速道をおり一般道を利用する」ケースが考えられる。また、意思決定のタイミングを考えてみると、朝の時間帯に出発時刻を変更し混雑時間帯を避けるとすると、時刻を早めることが現実的である。出発直前にその意思決定をすることは困難であることを考慮すると、出発時刻変更を実現させるためには、前日夜に行動変更を促すことが適当であると考えた。したがって、意思決定のタイミングとして、①前日夜、②出発直前、③高速道路走行中、の3時点が考えられる。ここでは、それぞれのタイミングに関して利用可能な変数や必要とされる情報を整理し、構築すべき予測モデルについて検討する。

#### 前日夜における行動変更提案

前日夜において予測するとなれば、およそ10時間先の予測が必要となる。そのために、前日までの交通状況や曜日、天候などのデータを用い、翌朝の交通状況を予測することとする。次に、出力変数に関して考えてみる。利用者にとって最も交通状況を想像しやすいのは、所要時間であろう。一方で、分析対象区間の所要時間を確認すると、それほど混雑が激しくない場合とかなり混雑していると考えられる場合と比較して、所要時間にして2、3分の差でしかないことが明らかになっている。そのため、混雑状況を所要時間で表現したとき、その差は数分にしかならず効果的な行動変更促進にはつながらない懸念

がある。さらに、所要時間情報を提供した場合、その値が実際走行時の所要時間と整合しているかどうかという点に焦点が集中してしまい、行動変更をした結果が満足できるかどうか、というアウトカムに関する議論につながらない懸念もある。以上のことから、前日夜における行動変更提案のための交通状況予測については、前日までの交通状況データを活用し翌朝の交通状況を混雑の程度で予測するフォーキャストモデルの構築が適当と結論づけた。このモデルについては、3.3において詳説する。

#### 当日出発時における行動変更提案

行動変更の選択肢として、出発時刻を変更する、特に早めることは現実的ではないと考え、一般道の利用を主たる行動変更提案として想定した。したがって、当日出発時における行動変更提案のための交通状況予測については、当該時刻までの交通状況データを活用し交通状況の近未来を予測するナウキャストモデルの構築が適当と結論づけた。このモデルについては、3.4において詳説する。

#### 高速道路走行中における行動変更提案

今回の分析対象区間である広島東ICから河内IC間において、交通渋滞が頻発するのは広島東IC～志和IC間、志和IC～西条IC間の2区間であり、広島市内を出発する交通の多くは広島東ICより流入してくる。したがって、高速道路上において行動変更の提案が現実的に可能であるのは志和ICのみであり、その直下区間である志和IC～西条ICの交通状況のデータによりドライバーに行動判断を促すことになる。直下の渋滞についての情報であることから、現在高速道路上において提供されているリアルタイム情報で十分であろう。したがって、高速道路走行中における行動変更提案のための交通状況予測については、民間のリアルタイム交通情報を援用することが適当と結論づけた。

以上より前日に翌日朝の交通状況を予測するフォーキャストモデルならびに当日朝に近未来予測を行うナウキャストモデルの2つのモデルの開発を行う。

### 3.3 交通状況フォーキャストモデルの構築

#### (1) 利用データ

本研究で構築するのは、詳細な所要時間の予測ではなく「やや混雑している」や「あまり混雑していない」などの混雑の程度について予測し、行動変更を促す。そのために、ここではETC2.0データにより作成される所要時間データの分布形状から混雑の程度を定義することとする。その後、混雑の程度に影響を及ぼしうる説明変数を整理し、判別分析を行い、混雑の程度を予測するモデルの構築を行う。モデル構築には、分析対象区間（広島東IC, 279.3KP地点から西条IC, 257.8KP地点）のETC2.0走行履歴データのうち、2019, 2020年の朝の時間帯（7:00～8:00）のものをを用いた。このデータを用い、上記1時間の1KPごとの空間平均速度を算出し、タイムスライス法<sup>1)</sup>を用いて各時刻に出発した車両の所要時間を算出した。また、西日本高速道路株式会社よりお借りした「イベントデータ」を活用し、突発的な事象が発生した際のデータは排除して分析した。その結果、2年間の中で706日分のデータを活用できた。また、天候が影響を及ぼす可能性を鑑み、AMeDASデータも活用した。

#### (2) モデルの概要

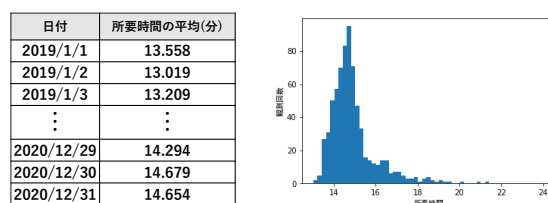
まず、所要時間から混雑のレベルへの変換を検討する必要がある。得られた各時刻に出発した際の所要時間の頻度分布図を描くと、多峰性のあるグラフであった（図-3.1）。そのため、この分布にはいくつかの正規分布の重ね合わせにより表現できるものとして、混合ガウスモデル<sup>2)</sup>の適用を試みた。混合ガウスモデルとは、データ分類（クラスタリング）に使われるアルゴリズムのひとつである。

混合ガウスモデルにて所要時間の分布を分類し、混雑の程度を定義した。次に、翌日の交通状況がどの混雑の程度に所属するのか予測するための判別分析を行う。その手法について、ここではロジスティック回帰判別を適用する。また、分析に用いる説明変数には曜日、天候、前日の所要時間などを整理して与える。

ロジスティック回帰分析とは、いくつかの要因（説明変数）から2値の結果（目的変数）が起こる確率を説明・予測することができる統計手法である<sup>3)</sup>。目的関数が3値以上存在する場合は、多項ロジスティック回帰となる。ロジスティック回帰により、ある事象が発生する確率を推定し、最大所属確率をもつ事象を予測値として出力する判別分析となる。

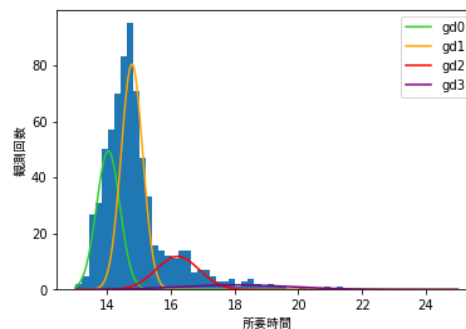
#### (3) 混雑の程度の定義づけ

得られた706日のデータについて、所要時間を0.2分刻みで観測回数をカウントした結果を所要時間分布として作成した（図-3.1）。分布形状を見ると、所要時間の分布は、14.8分に最頻値を持つが、16.2～16.6分や18.6分に小さなピークが存在している。そのため、所要時間の分布は正規分布の重ね合わせで表現できると仮定し、混合ガウスモデルを適用することとした。



(a) 所要時間の日平均 (b) 所要時間の分布

図-3.1 7:00～8:30の所要時間の日平均



	分布1	分布2	分布3	分布4
所要時間	～14.3分	14.3～15.5分	15.5～17.5分	17.5分～
構成比率	27.4%	52.6%	15.2%	4.8%

図-3.2 ロジスティック回帰判別の結果（4分類）

混合ガウスモデルは、推定するたびに各正規分布のパラメータが変動してしまう。安定した推定結果を得るために、ここでは各クラスター数に対して30回ずつパラメータ推定を実施し、5回以上観測された結果を推定結果候補として採用することとした。また、各正規分布の重なっている部分について、期待度数が最も大きな分布を採用することとした。その結果、パラメータの推定が安定して行われかつ統計値の計算結果より、クラスター数は4が適当と結論づけた。最終的に採用したモデルを図-3.2に示す。分布1から分布4まで順に、所要時間14.3分以下を「あまり混雑しない」、14.3分から15.5分までを「やや混雑する」、15.5分から17.5分までを「混雑する」、17.5分以上を「非常に混雑する」の4段階に分類する。これらを混雑レベル1, 2, 3, 4として混雑の程度を定義した。

#### (4) 混雑の程度に対する要因分析

つづいて、得られた混雑の程度に関係のある要因を見いだす。ここでは、曜日、降水量の2変量について検討を加えた。

曜日と所要時間の関係を視覚的に確認するため、2019年、2020年について、6時から9時の1時間毎に所要時間の平均を算出し、混雑レベルごとに色を分けて示した混雑カレンダーを作成した（図-3.3）。なお、凡例としては、混雑レベル1が緑色、混雑レベル2が黄色、混雑レベル3が赤色、混雑レベル4が紫色とした。突発的に所要時間が長い日もあるが、日祝や年始年末はレベル1（緑色）の区分が多く、所要時間が短いことが確認できる。また、特に平日休日で所要時間に違いがみられ、日曜日はレベル1（緑色）となることが多く、1週間ごとに類似した周期

があることも明らかになった。

次に、降水量についても検討を加えた。ここでは、1時間降水量と所要時間の関係について、t検定により分析したところ、7:00の降水量と所要時間には統計的有意性(5%基準)が確認できたため、降水量を説明変数として用いることとする。

## (5) 交通状況フォーキャストモデルの構造

以上の検討を踏まえ、フォーキャストモデルには、各日の特性や1日前・1週間前の所要時間、混雑レベルを説明変数として入力する。説明変数は表-3.1のように設定する。これらのデータを訓練データとテストデータに分け、訓練データによってモデルを学習し、テストデータを使って混雑レベルを予測する。その予測された混雑レベルと実際の混雑レベルを比較しモデル精度を検証することとする。出力データは予測された混雑レベルである。

## (6) 判別分析による予測の正解率と非過小評価率

事前検討として、様々な手法で判別分析による検討を行った結果、ロジスティック回帰判別を用いることが適当であると結論づけた。ロジスティック回帰判別による混雑レベルの予測結果を表-3.2に示す。また、予測値とテストデータ(正解値)を比較した正解率を算出した。その結果、正解率は8割近いが、レベル2の予測に偏っており、実際のレベル2の観測回数が97回に対して、30回近く多く予測してしまっている。一方で、レベル3の予測回数は実際より20回程度少なく、レベル4の予測は一度もされず、高いレベルほど予測がされにくいことがわかる。ところで、渋滞の予測において、実際のレベルより低いレベルを予測してしまう過小評価が生じた場合、ドライバーからの苦情も生じる可能性があり避けるべきと考えられる。したがって、実際のレベルより高いレベルを予測してしまう非過小評価は、安全面から許容できるものと考えた。以上より、予測値が正解値より過小評価していない結果の割合を非過小評価率とし、正解率と非過小評価率のバランスが最も良いモデルに改良することとした。

ロジスティック回帰判別での予測値の出力をレベル3,4の所属確率に対して0.001刻みで閾値を変化させて行い、各閾値の組み合わせでの正解率と非過小評価率を求めた。閾値はレベル4からレベル3の順に反映させる。各レベルの正解値と予測値の合計が最も近くなるモデルを選んだ。この閾値による分類と最大所属確率による分類との比較を図-3.4に示す。最大所属確率による分類では約8割あった正解率が、閾値による分類では約7.5割と低下してしまっていたが、非過小評価率は約8.2割から9割弱まで改善した。

## (7) ロジスティック回帰のパラメータ確認

ロジスティック回帰のパラメータである偏回帰係数より、各説明変数がモデルのどのような影響を与えているのか確認した(図-3.5)。偏回帰係数は0の場合は、その説明変数は推定した回帰モデルに影響を与えないということを意味する。正の場合は確率を大きくする方向に、負の場合は確率を小さくする

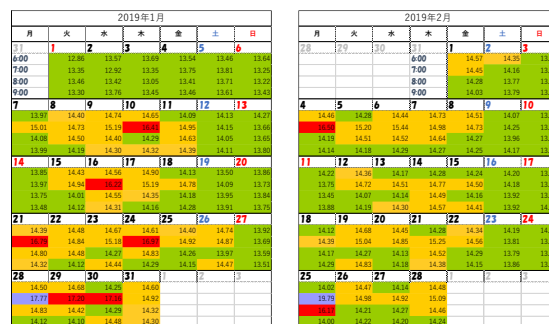


図-3.3 混雑カレンダー(例:2019年1~2月)

表-3.1 判別分析の説明変数

weeklevel	月, 火, 水, 木, 金, 土, 日, 祝 (12/29~1/5, 8/11~8/15も祝日とする) の各曜日に0-1のダミー変数を与える
rainfalls	7:00の1時間雨量
yesterday_time	前日の7:00~8:30の所要時間
yesterday_level	前日の混雑レベル
1weekago_time	1週間前の7:00~8:30の所要時間
1weekago_level	1週間前の混雑レベル

表-3.2 ロジスティック回帰判別の結果

		正解値				
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	合計
予測値	レベル1	45	2	0	0	47
	レベル2	3	94	22	6	125
	レベル3	0	1	3	1	5
	レベル4	0	0	0	0	0
	合計	48	97	25	7	177
		正解率		0.8023		

最大所属確率による分類

		正解値				
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	合計
予測値	レベル1	45	2	0	0	47
	レベル2	3	94	22	6	125
	レベル3	0	1	3	1	5
	レベル4	0	0	0	0	0
	合計	48	97	25	7	177
		正解率		0.8023		
		非過小評価率		0.8249		

閾値による分類

		正解値				
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	合計
予測値	レベル1	45	2	0	0	47
	レベル2	3	78	10	2	93
	レベル3	0	10	10	4	24
	レベル4	0	0	7	5	13
	合計	48	97	25	7	177
		正解率		0.7571		
		非過小評価率		0.8983		
		レベル3閾値		0.264~0.281		
		レベル4閾値		0.095~0.096		

図-3.4 最大所属確率による分類と閾値による分類との予測結果の比較

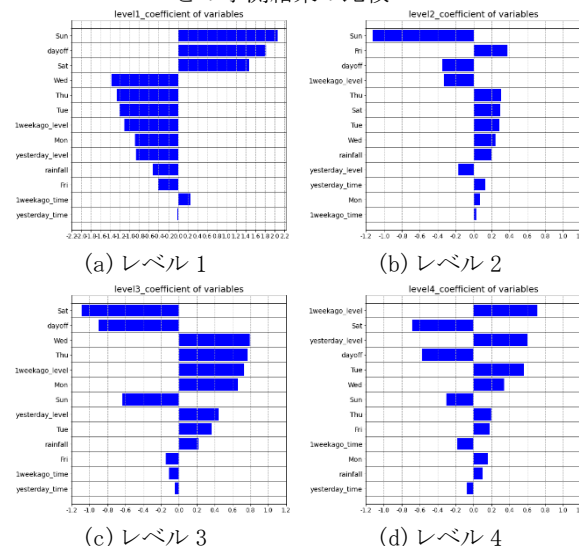


図-3.5 各混雑レベルの偏回帰変数(絶対値順)

方向に影響を与える。レベル1では、土日祝が確率を増加させるが、一方でレベル2,3では土日祝であることが確率を減少させていることが確認できる。レベル4についてはかなり変動が激しく、除去しきれていない突発事象などの影響も考えられる。その

表-3.3 3年間のデータによる交通状況フォーキャストモデルの評価比較

	モデル構築に使用したデータ	混雑レベルの変更	モデルの評価に用いたデータ	正解率	非過小評価率
1	2019, 2020年 (昨年モデル)	×	2021年	0.5662	0.8366
2	2019, 2020, 2021年	×	2021年	0.4732	0.9634
3	2019, 2020, 2021年	○	2021年	0.5662	0.8535

他の要因の影響も直感と整合しており、推定結果は信頼のおけるものと考えられる。

(8) 2021年データを用いたモデル予測の安定性評価

最後に、モデル推定に活用していない2021年データを用いて予測を行った結果の適合度を算定し、モデルの安定性評価を試みる。2021年のデータを適用させた結果を図-3.6に示す。正解率はおよそ57%、非過小評価率は、84%と、昨年度のモデルほどの精度が得られなかった。レベル4の予測が117回と一番多くなっており、実際より高いレベルを予測してしまう傾向があるため、正解率は大幅に低くなったといえる。そのため、参考モデルとして3年間のデータを用いて交通状況フォーキャストモデルの再構築を行い、その精度を2021年のデータを用いて評価する。また、分析においては、混雑レベルの定義を昨年度のまま用いる場合と、混雑レベルも変更した場合の2通りを実施した。以上の検討の結果を表-3.3に示す。1 (昨年モデル) と3 (3年間のデータを用い混雑レベルを変更した上で再構築したもの) を比較すると、双方とも正解率は56%程度、非過小評価率は83%を超える結果となり、ほぼ近い値をとるが、3のほうが非過小評価率は2%ほど大きいことがわかる。また、2 (3年間のデータを用い混雑レベルを変更せずに再構築したもの) と3のモデルを比較すると、正解率と非過小評価率のバランスや予測の偏りから3のほうが良いモデルといえ、混雑レベルの変更からモデルを改良するとよいことが明らかになった。なお、よって、前項のモデルのままでも十分予測はできているが、データの期間を増やし、混雑レベルの定義からモデルを再構築することで精度の向上は期待できることがいえる。

3.4 交通状況ナウキャストモデルの構築

(1) モデル構造と利用データ

本研究で対象とする高速道路区間においては様々なデータ観測が行われており、かつリアルタイムで活用可能なデータが数多く存在する。そのため、本研究では、ノンパラメトリックに交通状況を予測するディープラーニング手法を採用することとした。また、ディープラーニングモデルのうちでも時系列予測に多用される、LSTM (Long Short Term Memory) モデルを用いることとした。

本研究で利用できるデータのうち、交通状況を示す変数として交通量、速度、時間占有率がある。時間占有率は、ある微小区間に一定時間内車両が存在した時間の割合であり、交通状況を示す指標として有効である。また、対象区間のような二車線の道路

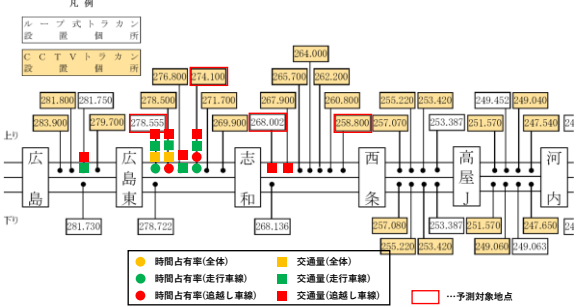


図-3.7 特徴量選択結果

表-3.4 昨年度ナウキャストモデルの概要

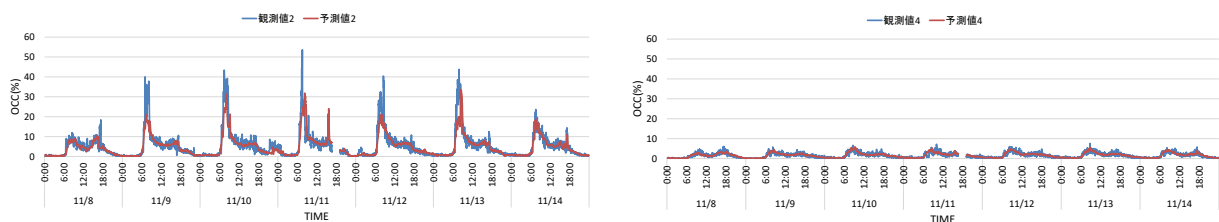
モデル手法	Long-Short Term Memory
予測対象	278.56KP 時間占有率 (追越)
	274.17KP 時間占有率 (追越)
	268.0KP 時間占有率 (追越)
	258.81KP 時間占有率 (追越)
入力データ	車両検知器データ (1分単位)
	AmeDAS 降雨量データ
	曜日ダミー変数
誤差関数	平均二乗誤差
隠れ層の活性化関数	tanh
隠れ層のレイヤー数	3
隠れ層のユニット数	32
出力層の活性化関数	Relu
最適化手法	Adam
過学習防止	Early Stopping
バッチサイズ	1024
データ保持時間	60分

では混雑時に追越し車線の利用率が上昇するため、より迅速な検知のために追越車線の時間占有率を教師データに設定する。本研究では面的な予測を目指すため、多地点の占有率を予測する。対象地点としては、278.56KP、274.17KP、268.0KP、258.81KPの4つの交通量検知器とした。2019～2020年のデータを活用した。また、交通状況フォーキャストモデルと同様に、渋滞実績データによる事故や工事の排除、気象データと曜日ダミーを追加した。さらに、Optuna<sup>4)</sup>を使用したハイパーパラメータチューニングの最適化を行った。相関分析により相関が高いと判定された特徴量の選択結果、およびハイパーパラメータの値をそれぞれ図-3.7、表-3.4に示す。

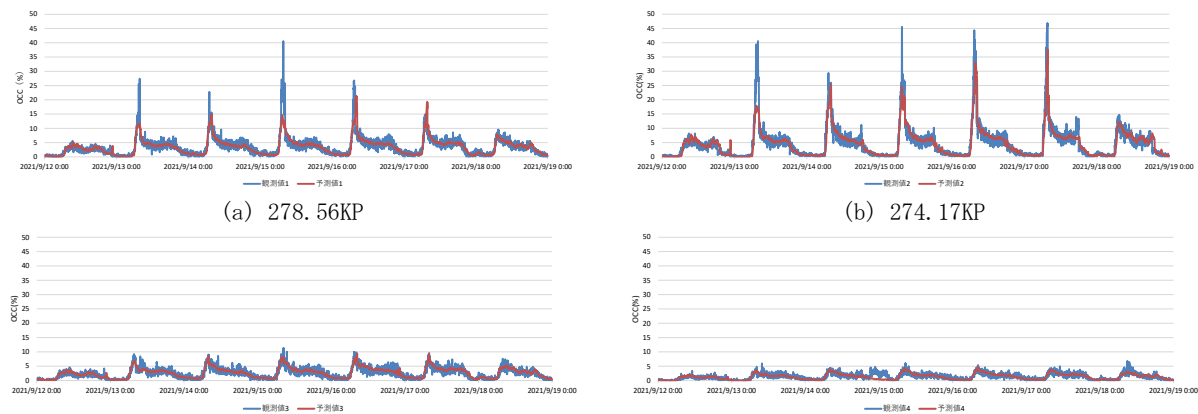
(2) 時間占有率推定結果の考察

予測結果について、最も混雑している274.17KP地点と下流側の258.81KP地点の占有率 (OCC, オキュパンシー) の推移予測結果を図-3.8に示す。比較的混雑レベルが高い274.17KPについて、予測値がうまく混雑状況に追随しているものの、混雑時の観測値は混雑時には観測値より10～20%程度低い値で予測される傾向にあった。また、下流の258.81KP地点では、元々占有率が10%を越えておらず、混雑している





(a) 274.17KP (b) 258.81KP  
図-3.8 予測値と観測値の推移比較 (2020/11/8~2020/11/14)



(a) 278.56KP (b) 274.17KP  
(c) 268.00KP (d) 258.81KP  
図-3.9 予測値と観測値の推移比較 (2021/9/12~2021/9/18)

とはいえなが、観測値に類似した推移を描いていることが確認できた。

### (3) モデルの安定性検証

ここまでは、2019年~2020年のデータを使用してモデルの予測を行っていたが、ここでは2021年データも加え、2019/1/1~2021/12/31の車両検知器データを使用する。追加された期間の渋滞実績データから、山陽自動車道 上り線 広島 IC から河内 IC で事故、工事による渋滞が記録されている時間をデータから除いた。入力するデータサイズが大きくなるため、モデルのハイパーパラメータも再度決定する必要がある。前項の検討時に活性化関数と最適化手法はモデルに合うものを選択していることから、隠れ層のユニット数とバッチサイズについて、ハイパーパラメータ自動最適化フレームワーク Optuna を使用して最適なハイパーパラメータの探索を行う。訓練・検証・テストデータの分割比も同様の 8:1:1 としパラメータのチューニングには検証データを使用する。チューニングをした結果、前項と同様のパラメータが選択された (表-3.4)。

図-3.9 にデータ期間を拡大したモデルで予測した占有率の推移を示す。ただし、テストデータの中から2021/9/12(日)~2021/9/18(土)の1週間を抽出している。図-3.9 (a), (b)の上流側2地点の結果から、占有率の推移を予測できているが、占有率が突出して上昇している時点では観測値よりも10%~20%低い値で予測している。また特に混雑する時点では予測のほうが観測より遅れる傾向がみられる。図-3.9(c), (d)から下流側2地点は上流の2地点に比べると、占有率が低い値で推移しているため予測が大きく外れている時点はあまりない。占有率の推移

予測については昨年度モデルと構造を変えていないこともあり、全体的に昨年度の結果と類似した結果であった。

次に、前項で作成した2019~2020年のデータにより構築したモデルに2021年のデータを入力し予測値を比較する。図-3.10に4地点の中で最も混雑する274.17KP地点の予測結果を比較したグラフを示す。占有率の高い時点に注目すると、2021年まで学習したモデルは観測値により近い値で予測できている。一方で、前項のモデルでは観測値との誤差が大きくモデル精度が悪い。占有率の推移は両モデルとも観測値に近い形状である。この結果からデータ期間の拡大によってモデル精度が向上したといえる。ナウキャストモデルは混雑時の交通状況予測が目的であるため、逐次新たなデータを用いてモデルの学習を行い、予測精度を向上することが望まれる。

### (4) ナウキャスト予測結果の混雑レベルへの変換

交通状況ナウキャストモデルではフォーキャストモデルと予測方法が異なることもあり、アウトプットされる情報が異なっている。またフォーキャストモデルは分類手法であるため、正解率によって評価している一方で、ナウキャストモデルは占有率が閾値を越えた時点から、下回るまでの時間を渋滞と判断し、その時間差で評価していた。

そのため、交通状況ナウキャストモデルにおいてもフォーキャストモデルと同様の混雑レベルをアウトプットとした方がアプリ上で活用しやすいと考え、混雑レベルを予測するナウキャストモデルの構築を試みる。ナウキャストモデルは深層学習モデルで構築しているため、このモデルを活用して最終的なアウトプット情報を混雑レベルへと変換する。具体的



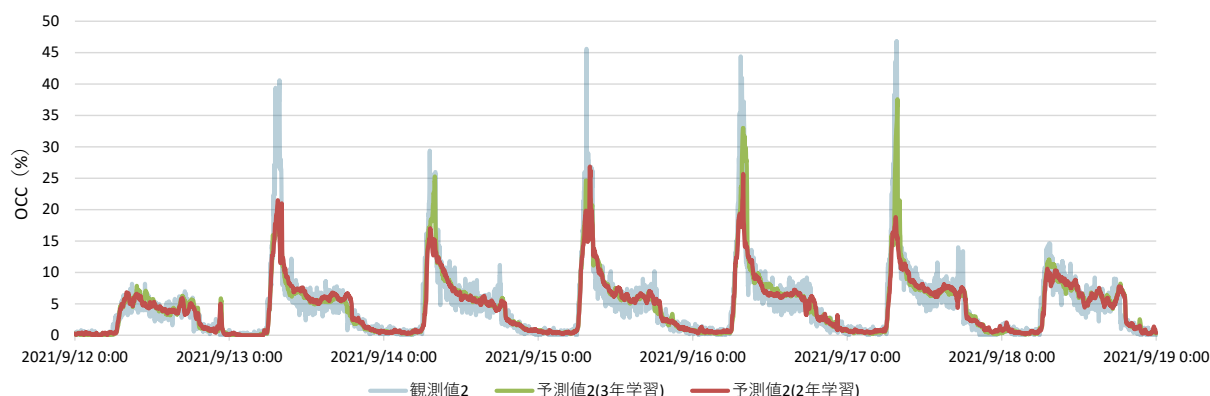


図-3.10 昨年度モデルとの予測結果比較 (274.17KP) (2021/9/12～2021/9/18)

には既存のナウキャストモデルで予測された時間占有率の値を入力データ、フォーキャストモデル構築時に ETC2.0 から算出した対象区間の所要時間を用いて分類した混雑レベルを教師データとする。表-3.5 に混雑レベルの定義を示す。混雑レベルはフォーキャストモデルと同様の定義である。

ここでは、機械学習のひとつであるサポートベクターマシン (SVM) <sup>5)</sup> を使用し、混雑レベルの予測を行うこととした。占有率は 1 分単位で予測されるが、混雑レベルの閾値付近では結果が不安定になると考え、15 分ごとに最大値をとる。最大値としたのは図-3.9 の特徴から占有率は低く予測する傾向がみられたためである。さらに、過去の占有率データも予測に有効であると考え、15 分前、30 分前、45 分前、60 分前の占有率データも入力データに加える。教師データとなる混雑レベルも 15 分単位に揃えなければならぬため、こちらは所要時間を 15 分単位で平均値をとって混雑レベルへと変換する。欠損箇所はあらかじめ線形補間しており、対象は平日 (月曜から金曜) に限定した。図-3.11 にナウキャストモデルと混雑レベル予測モデルの関係を示す概略図を示す。SVM においても検証データとテストデータにデータセットを分割する必要がある。ナウキャストモデルで予測された時間占有率データを 8:2 の比率で訓練データとテストデータに分割し、SVM に用いる。訓練データを用いて、機械学習のハイパーパラメータチューニング手法であるグリッドサーチを利用し、パラメータのチューニングを行った。SVM モデルの概要を表-3.6 に示す。構築した SVM モデルを用いて、適用した結果を表-3.7 に示す。正解率は 0.766、非過小評価率は 0.854 という結果となった。ただし、混雑するレベル 4 は正解率 10%、レベル 3 は 4.6%とあまり精度が得られておらず、今後はオーバーサンプリングを行い、モデル精度を高める必要がある。

混雑レベルを占有率の推移に重ね合わせたグラフを図-3.12 に示す。図に示している期間は 2021/9/13～2021/9/17 であり、特に混雑する上流 2 地点の占有率に合わせて混雑レベルをスケールしている。1 日の中で占有率が最大値となる時点では混雑レベルも最大のレベル 4 となっている。全体的な推移は予測できているが、混雑レベルの境界値付近ではレ

表-3.5 混雑レベルの定義

混雑レベル	所要時間 $t$ (分)
レベル 1	$t < 14.3$
レベル 2	$14.3 \leq t < 15.5$
レベル 3	$15.5 \leq t < 17.5$
レベル 4	$17.5 \leq t$

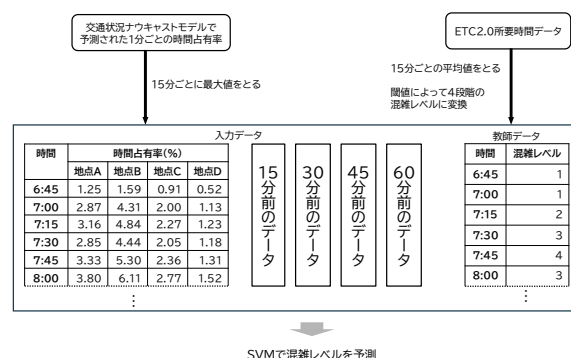


図-3.11 交通状況ナウキャストモデルと混雑レベル予測モデルの関係

表-3.6 混雑レベル予測モデルの概要

手法	サポートベクターマシン (SVM/Support Vector Machine)
予測対象	対象区間の混雑レベル
入力データ	ナウキャストモデルで予測した 4 地点の時間占有率 (平日のデータに限定)
使用モデル	sklearn.svm.SVC
C	1000000
Kernel	rbf (非線形カーネル関数)
degree	3 (デフォルト)
gamma	scale (デフォルト)
class_weight	balanced
random_state	1000

表-3.7 混雑レベル予測結果

		予測				
	レベル	1	2	3	4	計
観測	1	34	213	14	6	267
	2	587	5,688	272	136	6,683
	3	8	179	10	20	217
	4	10	295	19	36	360
	計	639	6,375	315	198	7,527

ベルの予測が不安定になっていることが確認できる。以上の通り、交通状況ナウキャストモデルで予測

した時間占有率から、SVM を用いて混雑レベルへと変換するモデルの構築をした。テストデータでの正解率は 0.766 であったが、レベル 3、レベル 4 といった高い混雑レベルに対する正解率は低い。占有率推移の比較から、混雑レベルも混雑の推移を予測できている一方で、レベルの境界と考えられる時点では混雑レベルが頻繁に変化しており、不安定であった。この点についての改善が今後の課題である。

### 3.5 おわりに

本章では、A.に関連し、交通状況のフォーキャストおよびナウキャストモデルの検証についての検討を行った。まず、ゲームの動きを想定し交通状況の予測が必要な時点と求められる予測モデルを整理し、前日夜において翌日朝の交通状況を予測する交通状況フォーキャストモデルと、当日朝出発時に行動変更を検討可能とする交通状況ナウキャストモデルの 2 つのモデルが求められていることを確認した。なお、高速道路上での経路選択に関しては、リアルタイム交通情報を援用すればよいと考えている。

次に、交通状況フォーキャストモデルの構築を行った。予測については、行動判断に利用しやすいことを考え、混雑レベルにて表示することとした。ETC2.0 データを活用した所要時間分布を作成し、これに混合ガウスモデルを適用することで、4 段階の混雑レベルの定義を行った。さらに、混雑の程度には、曜日や降水量が関係する可能性が高いことを確認し、それらを説明要因としてロジスティック回帰判別分析による交通状況フォーキャストモデルの構築を実施した。被験者にとって過小評価される情報は不利益が大きいと考え、情報が過小評価する比率を小さく、あるいは非過小評価率を大きくする形で閾値を設定し混雑レベルの予測を行った。また、2021 年のデータを追加して再検討を行った結果、モデルを再構築した方が、推定精度が改善するものの 2019～2020 年のデータを活用したモデルでも推定精度にそれほど大きな差はないことが明らかとなった。

次に、45 分先の交通状況を予測する交通状況ナウキャストモデルの構築を行った。リアルタイムデータの活用を想定することから、深層学習モデルの中で LSTM モデルを採用することとした。また、ハイパーパラメータを自動チューニングする Optuna を用い、モデルの汎用性を高めた。まず、2019～2020 年のデータを用いて推定を行った結果、時間占有率が大きなの追従性には課題が残るが、おおそ混雑時間帯の推定は可能であることを確認した。なお、交通状況フォーキャストモデルと同様 2021 年データを活用したモデルを推定した結果、ハイパーパラメータは変化がなかった。また、時間占有率の推定結果については、2019～2020 年とそれほど違いがないことが確認された。ただし、やはり 3 年間のデータを用いて学習したモデルの方が予測精度は高いようである。

最後に、ゲームアプリではフォーキャストモデル

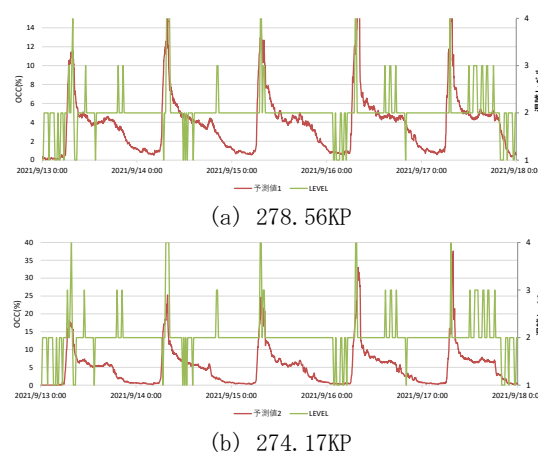


図-3.12 混雑レベルと占有率の重ね合わせ

と同様混雑レベルで情報提供するため、得られた時間占有率の予測を渋滞レベルに変換する方法を検討する。ここでは、同じ時間帯の ETC2.0 データから得られた所要時間と時間占有率の関係を、サポートベクタマシン (SVM) を用いて推定することとした。結果としては、正解率が 0.766、非過小評価率が 0.854 と比較的良好な結果を得ることができた。今後改善の余地はあるものの、一定レベルの精度の予測が可能といえる。ただし、混雑レベルと予測結果の推移を図示してみると、特に境界付近で予測レベルが不安定となっていることから、安定的な予測レベルを提案するためのアルゴリズムの検討が必要であることが明らかとなった。

### 第3章 参考文献

- 1) 同時刻総和法, タイムスライス法, 国土技術政策総合研究所 研究資料, URL: 国土技術政策総合研究所 研究資料 (nilim.go.jp) (閲覧日: 2023/01/14)
- 2) 具体例で学ぶ数学, 確率, データ処理, 混合ガウス分布 (GMM) の意味と役立つ例, URL: <https://mathwords.net/gmm> (閲覧日: 2023/01/14)
- 3) GMO RESEARCH, ロジスティック回帰分析とは? 用途, 計算方法をわかりやすく解説, URL: <https://gmo-research.jp/research-column/logistic-regression-analysis> (閲覧日: 2023/01/14)
- 4) Optuna 株式会社 Preferred Networks, URL: <https://www.preferred.jp/ja/projects/optuna/>, (閲覧日: 2024/2/10)
- 5) sklearn.svm.SVC, scikit-learn, URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.svm.SVC.html/>, (閲覧日: 2024/2/10)

## 第4章 ゲーミフィケーションデザインの検討

### 4.1 はじめに

本章では、B.に関連し、ゲーミフィケーションデザインの検討結果をまとめる。文献調査によるゲーミフィケーションデザイン手法のレビュー、ウェブアンケート調査を通じたターゲット設定を述べた上で、構築したゲームの概要をまとめる。

### 4.2 ゲーミフィケーションに関する文献レビュー

本節においては、ゲームデザインの評価方法について検討を進めた。ポイントやランキングなどのゲーム要素を社会課題に適用した研究は多く存在するが、その結果得られた効果について定量的に把握している例はほとんどない。一方で、海外の関連研究に目を向けると、ゲーミフィケーションのもたらす効果について、行動心理学の研究蓄積をよりどこかにして様々な知見が蓄積されている。そのため、ここでは、ゲーミフィケーションに関連する主に海外の文献を調査し、ゲーミフィケーションの定義、ゲーム要素の種類、ゲーミフィケーションのもたらす心理的效果を整理した上で、ゲーム要素の評価方法として活用可能なゲームデザインヒューリスティクスについてまとめる。

#### (1) ゲーミフィケーションの定義と解釈

「ゲーム」という単語をデジタル大辞泉<sup>1)</sup>で調べると、「遊びごと、遊戯」、「競技、試合、勝負」などとある。したがって、「ゲーム的である」とは、遊び、遊戯などの楽しさを含むこと、あるいは何らかのルールに則り、競争、勝負をすることと読み取れる。なお、マクゴニカル<sup>2)</sup>や藤本<sup>3)</sup>は、すべてのゲームは以下のような共通要素を持つと結論づけている。

- ・ 競争や運、模倣、非日常性といった遊びの要素を土台とする。
- ・ 日常生活の文脈とは異なるゴールとルールに規定され、参加者の起こした行動や判断に対し、その成否や優劣の結果が可視化されてフィードバックされるという性質を持つ。
- ・ 参加者は強制されず自発的な意思で参加する。「ゲーム」と類似した言葉として、「プレイ」があ

る。「プレイ」は、「遊ぶこと、遊技」、「競技すること、競技」、「演劇、芝居」、「演奏」とあり<sup>4)</sup>、この記述から見れば、プレイはゲームの内容を包含しつつ、演劇、演奏といったより広い範囲を指す用語に見える。一方で、学術的にはゲームとプレイを厳密に分類したものがある。Horvath<sup>5)</sup>によれば、プレイは、構造化されていない活動であり、「プレイ」しているときに、子供たちは勝手気ままに様々な創造的行動を行う。すなわち、プレイは、ルールやゴールがなく、純粋な遊びを指すといえる。一方で、「ゲーム」は、最低限のルールが設定され、そのルールの下で何らかのゴールを目指して競いあったり協力したりするものである。したがって、上記のマクゴニカル、藤本の定義する「ゲーム的である」ためには、ルールに従ってゴールが設定されている必要がある。

ゲーミフィケーションを定義するにあたっては、しばしDeterding et, al.<sup>6)</sup>の提案したものが引用される。この論文では、様々なゲームの種類を整理した上で以下のように定義している。

*the use of game design elements in non-game contexts.*

すなわち、「ゲームの要素をゲーム以外の文脈で活用すること」がゲーミフィケーションである。この定義をゲームの定義と照らし合わせて考えると、「何らかのルール、ゴールに規定されたゲームをゲーム以外の文脈で活用することになる。一方でHuotari and Hamari<sup>7)</sup>は、ゲーミフィケーションをサービスマーケティングの文脈で整理しており、この文献では、

*a process of enhancing a service with affordances for gameful experiences in order to support users' overall value creation,*

すなわち、「利用者の価値創造を支援するためにゲームに満ちたアフォーダンスによりサービスを強化するプロセス」と定義している。アフォーダンスとは、直訳すれば「意味」となるが、一般には、「物体と行為者間の実行可能な特性」と定義される。つまり、ゲーミフィケーションとは、ゲームに満ちたデザインを採用することでアフォーダンスを高め、結

果として利用者に新たな価値創造を提供するものと定義しており、ゲーム要素の活用により強化された動機付けのアフォーダンス (motivational affordance) により、心理的な成果や行動的な成果が実現する。ゲーミフィケーションを目的達成のための手段ではなく、目的、ゴールと捉えている。

以上ゲーミフィケーションの立ち位置を考察した。文献 6) におけるゲーミフィケーションの定義は、我々が考えるゲーミフィケーションの活用、という観点からは対象とする範囲が小さすぎるといえる。したがって、遊び的な要素を現実の課題に取り入れ問題解決を図るためすべての取り組みはゲーミフィケーションと捉えることが可能であろう。このことから、ここではこのような必ずしもルールやゴールが設定されない方法、さらにはシリアスゲーム、プレイも包含し、「ゲーム」と「プレイ」の要素を含めた概念として、広義のゲーミフィケーションを定義することとし議論を深める。

## (2) ゲームのデザイン手法

ゲームデザインにおいては、しばしHunicke et al.<sup>8)</sup>が提案した、MDAフレームワークが活用される。MDAとは、メカニクス (Mechanics)、ダイナミクス (Dynamics)、エスセティクス (Aesthetics) を意味し、それぞれの示す内容は以下の通りである。

- ・ メカニクス：ゲームの特定の構成要素
- ・ ダイナミクス：メカニクスを適切に配置し、魅力的なゲームシステムを構築するプロセス
- ・ エスセティクス：プレイヤーの感情的反応

MDAフレームワークでは、ゲームを手段というよりは、加工品と捉える。つまり、ゲームはプレイヤーに向かって情報提供する手段ではなく、ゲームのふるまいと考える。特に、ゲームにおいてはプレイヤーとの双方向の関係によりシステムとして機能するのである。

### エスセティクス

ゲームによりどのような楽しみが得られるのであろうか。それを表現したものがエスセティクス (美意識, 美的感覚) である。エスセティクスにおける感情は、以下の8つに分類される。

- ・ Sensation (衝撃)：衝撃的体験を楽しむ
- ・ Fantasy (幻想世界)：非現実な世界
- ・ Narrative (物語, ドラマ)：プレイヤーを引きつけるものがたり
- ・ Challenge (挑戦)：困難な課題へ立ち向かう
- ・ Fellowship (友情, 社会的フレームワーク)：プレイヤーが主体となるコミュニティ
- ・ Discovery (発見)：ゲームの世界を探索する
- ・ Expression (表現, 主張)：自分自身をアバターなどで表現する
- ・ Submission (服従)：様々な制約にもかかわらずゲームにのめり込む

それぞれのゲームをプレイすることで得られる感情を上記の8つの視点から整理すれば、それぞれのゲームがどのような特性を持っているのかがわかる。

### メカニクス

表-4.1 ゲームの要素

名称	内容
ポイント	何らかの活動により得られるもの
バッジ	何らかの目標を達成したときに付与されるもの
リーダーボード	様々な視点での上位記録者のリスト
プログレス	進捗
チャレンジ	挑戦、実現が難しい目標の提示
レベル	プレイヤーの習熟度
リワード	ポイントと引き換えに入手できる報酬
タスクアンロック	途中でできること (タスク) がロック解除されること
チームプレイ	チームで協力して目標が達成できる
時間制限	チャレンジやバッジ獲得に一定の時間制約がある
ストーリーライン	物語
ソーシャルネットワーク	SNS などにより社会、メンバーと連動している
仮想グッズ	ゲーム内でものを集めることができる
振り返り	今までのゲーム履歴を確認できる

メカニクスとは、ゲームの中でプレイヤーが実施できる様々なアクションやルールを表す。例えば、カードゲームのメカニクスは、シャッフル、トリック、ベットなどとなる。

### ダイナミクス

ダイナミクスは、ゲームのメカニクスを適切に選択・組み合わせ、プレイヤーに価値のある感情を提供するしくみ (システム) を造り出すことである。

ゲームを構成する要素は数多くあり、例えば、「ゲームメカニクス大全<sup>9)</sup>」には様々な著名なゲームに活用されているメカニクスが網羅的に紹介されている。一方で、ゲーミフィケーションという文脈で考える場合、まずは基本的な要素をおさえることが重要と考え、Khalil et al.<sup>10)</sup>が整理したものを紹介するにとどめる。Khalil et al. では、MOOC (Massive Open Online Course, 大規模公開オンライン講座) を対象とし、文献レビューによりゲーミフィケーションの構成要素を整理している。ここでは、複数の文献で採用されている要素を中心に類似している概念を整理した上で表-4.1に示す。なお、上位3つは、ゲームのPBL (Point, Badge, Leader board) と呼ばれており、ほぼすべてのゲームにおいて実装されている要素である。その他、自身の成長が確認できる工夫である「プログレス」や「タスクアンロック」、やる気を起こさせる「チャレンジ」やその報酬である「リワード」、「仮想グッズ」、他者との関係性を強化する「チームプレイ」や「ソーシャルネットワーク」など、様々なゲームの要素を組み合わせ、エスセティクスとの関係性を整理しながらゲームのデザインを進めていく必要があるといえる。また、Miller et al.<sup>11)</sup>は、慢性疾患のマネジメントのためのゲーミフィケーションの活用において、これらに加えてチャレンジ、ソーシャルネットワークが内発的動機付けを広げるために重要であると指摘している。

## (3) ゲームの評価方法

ゲーミフィケーションの普及をうけ、ゲームデザインを評価するような取り組みも複数行われており、Tondello and Kappen<sup>12)</sup>において整理されている。こ

表-4.2 28 のゲームデザインヒューリスティクス

内発的動機付けヒューリスティクス		外発的動機付けヒューリスティクス	
Epic Meaning & Calling (叙事的意味と使命)		Ownership & Possession (所有と占有)	
I1 Meaning	ユーザーに意味ある貢献が存在することを示す.	E1 Ownership	利用者が, 時間経過とともに獲得した仮想グッズや個人プロフィールを確認できる.
I2 Information and Reflection	ユーザーに情報を提供し, 改善のための機会を与えること.	E2 Rewards	利用者は継続的にシステムを利用することで報酬を受けることができる.
Development & Accomplishment (発展と達成)		E3 Virtual Economy	利用者は努力の結果得られる報酬を他のものに交換できる.
I3 Increasing Challenge	ユーザースキルを向上させるチャレンジを提供する.	Scarcity & Impatience (希少性と焦慮)	
I4 Onboarding	新参者にゲームの遊び方を理解できる初期チャレンジを準備する.	E4 Scarcity	利用者に, 貴重, あるいは獲得しづらい報酬が提供されている.
I5 Self-challenge	ユーザーが自分たちで新しいチャレンジを見つけた, 作り出した, あるいは達成することができる.	Loss & Avoidance (損失と回避)	
I6 Progressive Goals	利用者に次の実行可能なゴールを提供する.	E5 Loss Avoidance	利用者がすぐに対応しなければ損失が生じる恐れがあるような緊急事態を創造する.
I7 Achievement	利用者が, 現在までに達成した成果などをいつでも確認できる.		
Empowerment of Creativity & Feedback (創造性の譲渡とフィードバック)		文脈依存のヒューリスティクス	
I8 Choice	利用者に対して, 実施可能な選択肢が示されており, かつそれぞれのユーザーの能力に応じて選択肢が限定されている.	Empowerment of Creativity & Feedback (創造性の譲渡とフィードバック)	
I9 Self-expression	利用者が自分自身を表現できる.	C1 Clear and Immediate Feedback	利用者に達成したチャレンジの結果をわかりやすい形で知らせること.
I10 Freedom	利用者は, 恐れや深刻な帰結なく異なる行動を探索することができる.	C2 Actionable Feedback	利用者は, 次に実施可能な行動を知ることができる.
Social Influence & Relatedness (社会的影響と関連性)		C3 Graspable Progress	フィードバックにより利用者が現在の位置を理解し今後の改善の方向を認識している.
I.11 Social Interaction	利用者は, 社会とつながり対話できる.	Unpredictability & Curiosity (予測不可能性と好奇心)	
I12 Social Cooperation	利用者は共通のゴールのために協力可能である.	C4 Varied Challenges	利用者に提供されるチャレンジやタスクが想定外に変更される.
I13 Social Competition	利用者は, 他者と比較し競争することができる.	C5 Varied Rewards	利用者に提供される報酬が想定外に変更される.
I14 Fairness	利用者全員が同様の成功の機会を持っており, 新参者も楽しむことができる.	Change & Disruption (変化と破壊) : Octalysis にはない	
Immersion (没頭) : Octalysis にはない		C6 Innovation	利用者からシステム改善のためのアイデアや内容, 修正などの提案を受け付ける.
I15 Narrative	利用者に没頭できる物語を提供.	C7 Disruption Control	システムは利用者からのごまかしや不正行為などの操作から防御されている.
I16 Perceived Fun	利用者が物語の一部に関係可能.		

ここでは, ゲームのメカニズムを体系的に整理しているYu-kai ChouによるOctalysis<sup>13)</sup>を含め, 多くのゲーム評価手法を統合した上で提案されたTondello and Kappen<sup>12)</sup>によるゲームデザインのヒューリスティクス評価について説明する.

Tondello and Kappenは, Octalysis<sup>13)</sup>, HEXAD<sup>14)</sup>, など6つのゲームデザイン評価手法をレビューした上で統合し, 内発的動機付けのための14のヒューリスティクス, 外発的動機付けの5のヒューリスティクス, そして文脈依存の7のヒューリスティクスの合計28のゲームフルなデザイントピックについてのガイドラインのヒューリスティクスが示されている. 表-4.2に28のデザインヒューリスティクスを示す. 筆

者のレビューの限りでいえば, Tondello and Kappenによるゲームデザイン評価が他の方法を包含した統合的なものであるといえる. また, Octalysisでは, デザイン手法とメカニクスの関係性を整理している. この二つを統合させることで, メカニクスとゲームデザインに求められるドライブを関連付けることが可能となる.

以上のように, ゲーミフィケーションのレビューにより, ゲームのデザイン手法や構築したゲームの評価手法も提案されていることを確認した.



#### 4.3 ウェブアンケート調査によるターゲットユーザーの設定

##### (1) 調査対象とアンケート項目の設計

アンケート調査の実施について、はじめに、アンケート調査会社のモニター会員の中で、広島県に在住の方を対象にスクリーニング調査を実施した。スクリーニング調査の予定サンプル数は性別 2 区分（男性/女性）×年齢 5 区分（20-29 才/30-39 才/40-49 才/50-59 才/60-69 才）の 10 区分に対してそれぞれ 3,000 サンプル、計 30,000 サンプルとした。アンケート項目は、広島県を通る各高速道路・自動車道の日常的な運転頻度、各高速道路・自動車道の運転曜日・時間帯、分析対象区間の日常的な運転頻度、自動車の利用や交通渋滞に対する意識、スマートフォンアプリの利用頻度の 5 問とした。

スクリーニング調査においては、広島県在住者の分析対象区間に限らない高速道路利用の実態を把握するため、広島県内を通る各高速道路の日常的な運転頻度および曜日・時間帯について質問した。また、分析対象区間の利用頻度が高い回答者を本調査回答者として抽出するため、分析対象区間の日常的な運転頻度を質問するとともに、自動車の利用や交通渋滞に対する意識およびスマートフォンアプリの利用頻度についてもたずねた。

続いて、分析対象区間を半年に 1 日以上利用していると回答した回答者を対象に本調査を実施した。本調査の予定サンプル数は 800 サンプルとした。アンケート項目は、被験者の基本特性に関して 6 問、分析対象区間の利用実態と行動変更の可能性に関して 20 問、渋滞緩和ゲームのデザインと渋滞緩和ゲームへの参加意向に関して 2 問、ロボットの利用意向と日常的な性格特性に関して 2 問、計 30 問とした。

「ゲーミフィケーションのデザインおよび渋滞緩和ゲームへの参加意向」については、渋滞緩和ゲームを提案するにあたってどのようなゲーム要素が魅力的にうつるのかを把握するため、渋滞緩和を目的とするゲームにおけるゲーム要素をいくつか提示し、それぞれのゲーム要素に対する魅力度について質問するとともに、渋滞緩和ゲームが提案された場合の参加意向についてもたずねた。アンケート調査は 2021 年 11 月に実施し、824 サンプルが得られた。

##### (2) 基礎集計結果

基礎集計結果からは、以下の当該道路区間の利用者特性が明らかとなった。

1) 回答経路：マイルート登録者へのメール配信からが約 85%，SA/PA への掲示からが約 15%あった。

2) 性別：男性が 83.3%を占めた。

3) 年齢：40，50，60 代が 83.6%を占めた。

4) 利用頻度：週に 1 回以上が 54.8%を占めた。

5) 利用目的：業務（荷物運搬あり）38.0%が最も多く、次に多いのが旅行・レジャーが 19.4%であった。

6) 渋滞経験：「よく、朝の渋滞に巻き込まれる」、「よく、夕方の渋滞に巻き込まれる」にいずれも 33%があてはまる。

7) 渋滞原因の認識：40.6%が「渋滞は主に道路の設計が原因で起こる」にあてはまると考えている。また、「自分の車が渋滞発生の原因の一つである」にあてはまると回答したサンプルは 6.9%にとどまり、自身の車が渋滞の一因と考える人は多くはない。一方で、「渋滞はできる限り避けようと思っている」に 76.2%があてはまり、当然ながら渋滞を避けようと考えている方が多い。

8) ゲームのプレイ体験：パズルゲームを楽しんだ経験者が 49.2%と最も多く、次にレースゲーム 38.5%，テーブルゲーム 35.0%，アクションゲーム 34.9%，すごろくゲーム 34.3%，カードゲーム 34.1%。

9) ゲーム型サービスに魅力を感じるしくみ：通行料金の割引が 80.9%と最も多く、次に自分が運転中に巻き込まれる渋滞の緩和が 74.5%であった。ゲーム自体が楽しめるとの回答も 48.4%あった。

10) ゲーム型サービスへの参加意向：参加したい、やや参加したいを合わせ 62.3%が参加意向を示した。

11) SNS の利用：投稿するのは 29.0%にとどまっており、見るだけの利用が最も多い 49.0%であった。

12) ゲーム企画段階でのモニターとしての協力：58.6%が協力意向を示した。

##### (3) クラスター分析を用いた利用者層の整理

ロジスティック回帰分析に先立ち、膨大なアンケート調査結果を投入すると複雑なモデルとなる懸念がある。そのため、基礎分析としてクラスター分析を適用し変数の縮約を行っている。ここでは詳細は省略するが、利用者の交通に対する意識の分類結果として、渋滞について「回避」か「受容」か、交通情報への反応について、「所要時間を重視する型」か「他のメリットも含め総合的に評価する型」か、「何もメリットを感じていない非メリット型」かで分類した。また、分析対象区間の利用については、「平均型（料金制約なし）」、「平均型（料金制約あり）」、「平日利用型」，「利用経路到着時刻制約型」，「広島都市圏IC非利用型」，「高頻度型」に分類される。最後に、ゲームに関するクラスタリングについては、「a11非利用型」，「アプリ非利用型」，「a11利用型（FPSなし）」，「SNS利用・ゲーム非利用型」，「a11利用型（FPSあり）」に分類できた。この分類は回帰分析で利用される。

##### (4) ロジスティック回帰分析を用いた渋滞緩和ゲームへの参加意向と行動変更可能性の分析

渋滞緩和ゲームの利用促進におけるターゲットとなる利用者層の特性を明らかにするため、渋滞緩和ゲームへの参加意向を目的変数としたロジスティック回帰分析を行った。本アンケートでは、渋滞緩和ゲームについて、「渋滞緩和を目的とするゲーム型サービス」と示し、さらに連動しうるゲーム要素を 14 項目提示するという形で位置づけている。説明変数候補を用いステップワイズ法を適用して変数選択を行い、説明変数を絞った上でモデル化を行った。モデル化の対象サンプルについては、実際に渋滞に巻き込まれている利用者だけでなく、より多くの人に渋滞緩和ゲームを利用していただき、渋滞緩和につなげることをめざすという観点から、利用時間帯な

表 4.3 渋滞緩和ゲームへの参加意向を目的変数としたロジスティック回帰分析結果

(N = 712, \*\*\* p &lt; 0.001, \*\* p &lt; 0.01, \* p &lt; 0.05)

設問	項目	偏回帰係数	オッズ比 (95%CI)
(切片)		-0.809	0.45 (0.13, 1.49)
【被験者の特性】			
利用者の意識に 関するクラスター 《基準》	渋滞回避・所要時間型	-0.295	0.74 (0.38, 1.44)
渋滞回避・メリット型	渋滞受容・メリット型	-1.101	0.33*** (0.20, 0.54)
	渋滞受容・所要時間型	-1.040	0.35*** (0.20, 0.63)
	渋滞受容・非メリット型	-0.132	0.88 (0.38, 2.01)
分析対象区間の利用行動に 関するクラスター 《基準》	平均型 (料金制約なし)	-0.218	0.80 (0.40, 1.61)
平均型 (料金制約あり)	平日利用型	-0.088	0.92 (0.53, 1.59)
	利用経路到着時刻制約型	0.336	1.40 (0.82, 2.40)
	広島都市圏 IC 非利用型	0.466	1.59 (0.83, 3.08)
	高頻度型	0.498	1.65 (0.49, 5.51)
スマートフォンアプリ ・SNS・ゲームの利用に 関するクラスター 《基準》	アプリ非利用型	0.806	2.24* (1.12, 4.48)
all 利用型 (FPS なし)	all 利用型 (FPS なし)	1.483	4.41*** (2.70, 7.20)
all 非利用型	SNS 利用・ゲーム非利用型	0.719	2.05* (1.11, 3.78)
	all 利用型 (FPS あり)	2.090	8.09*** (3.81, 17.17)
性別 《基準》 女性	男性	0.486	1.63 (0.98, 2.71)
年齢		-0.034	0.97*** (0.95, 0.98)
職業 《基準》 会社員	公務員	0.340	1.40 (0.73, 2.72)
	経営者・役員	-0.908	0.40 (0.12, 1.36)
	自営業・自由業	0.122	1.13 (0.53, 2.40)
	専業主婦 (主夫)	0.280	1.32 (0.63, 2.80)
	パート・アルバイト	0.462	1.59 (0.84, 3.01)
	学生・その他・無職	-0.404	0.67 (0.30, 1.51)
日常的な自動車運転頻度		0.002	1.00 (1.00, 1.00)
日常的な自動車利用目的	通勤・通学	-0.322	0.72 (0.43, 1.21)
	買い物	-0.420	0.66 (0.38, 1.14)
	旅行・レジャー	0.449	1.57* (1.03, 2.38)
	業務 (荷物の運搬なし)	-0.451	0.64 (0.35, 1.15)
【分析対象区間の利用実態】			
下り利用時の利用目的 《基準》	出勤・登校	-2.369	0.09* (0.01, 0.59)
旅行先・レジャー先への移動	買い物先への移動	0.059	1.06 (0.60, 1.88)
	家族・友人宅への訪問	0.099	1.10 (0.63, 1.95)
	空港への移動・送迎	0.192	1.21 (0.49, 3.01)
	帰宅・帰社・その他	-0.128	0.88 (0.50, 1.54)
	業務	0.136	1.15 (0.54, 2.43)
上り利用時の交通状況	走行区間全体を通じて交通量は少なく、快適に走行できる	0.450	1.57* (1.03, 2.38)

どで対象を絞らず、分析対象サンプル全 712 サンプルを対象とした。

渋滞緩和ゲームへの参加意向を目的変数としたロジスティック回帰分析の結果を表 4.3 に示す。ここでは、p 値が 0.05 を下回った変数を有意なものとした。表中のオッズ比は、偏回帰係数を自然対数の底で指数変換したものであり、当該説明変数以外が一定のもとで、当該説明変数が 1 増加したときのオッズの比を表す。すなわち、変数のオッズ比が大きいとは、当該説明変数の目的変数への影響度が大きいことを意味する。

推定結果より、利用者の意識については、渋滞回避・メリット型に比べて、渋滞受容・メリット型や渋滞受容・所要時間型の方が、参加意向が低いという結果が得られた。これは、渋滞が気になる利用者の方が渋滞緩和に興味を持つことが一因であると考えられる。スマートフォンアプリ・SNS・ゲームの利用については、非利用型の参加意向が最も低く、さらにオッズ比から、all 利用型 (FPS なし) と all 利用型 (FPS あり) については参加意向が極めて高いことが読み取れる。この結果から、スマートフォンア

プリ利用・SNS 利用・ゲーム利用はそれぞれ参加意向を高め、特にゲームの利用経験は参加意向に大きく影響することが示された。その他の被験者特性として、ゲームの利用経験がある利用者はゲームへの親しみを持っているため渋滞緩和ゲームについても肯定的に捉えたと考えられる。年齢については、若い人ほど参加意向が高く、新しいサービスに比較的敏感な若年層が渋滞緩和ゲームを好意的に捉えたと考えられる。分析対象区間の利用目的については、旅行先・レジャー先への移動目的に比べて出勤・登校目的の参加意向が極めて低く、日常的な自動車利用目的については、旅行・レジャー目的の参加意向が高い。旅行・レジャー目的の利用者は比較的時間に余裕があるため、渋滞緩和ゲームに参加し楽しむ余裕がある一方、出勤・登校目的の利用者は時間的余裕がないため、渋滞緩和ゲームに参加しようとしなないと考えられる。

以上の結果を総括するとゲームに魅力を感じる方は比較的若者でありかつ時間調整が可能な旅行・レジャー目的時の参加意向が高いことがわかる。一方で、今回対象とする朝の通勤時間帯の渋滞において

は、どちらかといえばゲーム参加が難しい対象となっている。そのため、ゲームへの反応は高くない懸念があるが、対象路線の利用者、すなわち 40～50 代の男性を念頭においたゲームデザインが必要と考えられる。

#### 4.4 ゲームデザインの検討

##### (1) ゲームの構成要素

参加者と見込まれる 40 代および 50 代は、レースゲームやアクションゲームなどの経験があり、「走行中や特定の場所でコインを獲得する」ことが親しみやすいと考えられる。ゲーム内で提案する行動の実施を判別してコインを付与するしくみにより本研究の渋滞予測成果に応じた提案を行うことで、行動変化を促すことが可能である。これは、参加者にとって「行動変更ゲーム」であり、アクションゲームのリアル版と捉えることができる。

一方、獲得したコインが何に使えるかが課題となるが、金銭換算しないものでかつ運転中ではなく運転後に楽しめるものである必要がある。運転中以外のタイミングで参加できるものとして 3 択クイズやパズルなどシンプルなゲームを用意し、その参加費にコインを用いることを検討したが、仮に毎日 1 回プレイできるゲームとした場合には、毎日正解があるクイズやパズルを用意する必要があり、ネット検索により正解が導き出してしまう可能性もあるためゲームの魅力に欠けると判断し採用を見送った。代わりに、正解を参加者で決める「投票」を採用し、これにコインを BET (賭ける) して当選者で山分けするしくみを考案した。これにより、Unpredictability を強化する。なお、当選を少数派とする場合はマイノリティゲーム、多数派とする場合はマジョリティゲームとよばれ、渋滞を避ける行動はマイノリティゲームの典型例とされる。一方で、本研究では「より多くの協力 (参加) を得て渋滞を緩和する」ことをめざしているため、人気を予想してコインを BET で増やす「マジョリティゲーム」を採用することとした。マジョリティゲームのモチーフについては、渋滞をはじめとする交通に関する案もあがったが、「みんなの好みや認識」は必ずしも一致しておらず、集計結果を知りたいという好奇心をくすぐることもめざし、特に分野を限定しない 4 択とした。そして、渋滞緩和に関するゲームであることを示し、課題解決への協力を促す機能として、参加者が獲得したコイン合計により「ゲーム内の架空の渋滞を緩和する」達成度を表示し、Social Interaction を強化した。

さらに、多くのゲームに採用されている、行動変更による獲得コインや、獲得コインのランキング機能による Self-expression、特定の行動変更の回数や、投票や当選回数に応じて獲得できるバッジ機能を備え、Ownership、Rewards といった点を強化した。また、全参加者で取り組む達成度表示とは別に、行動変更する人が多いほど得られる個人のメリットとして、行動変更した人数に比例して獲得できる協力

表-4.4 ゲームプロトタイプの構成

主なターゲット	40 代 50 代の運転手
対象者	朝の上り線 [山陽道の広島東から西条方面] の利用者
目的行動	一般道への経路変更, 出発時刻の変更
モチーフ (世界観)	空港までの渋滞とその緩和 みんなの好みや認識への興味
コアアクション (体験)	行動変更ゲーム (提案への回答や実践でコイン獲得) マジョリティゲーム (4 択から人気を予想してコイン BET で増やす)
その他	協力ボーナス ランキング表示 バッジ表示 達成度表示

表-4.5 行動提案の情報と働きかけタイミング

情報	タイミングと表現方法	プロトタイプでの扱い
フォーキャスト 混雑レベル (1~4)	前日の夜, 20~24 時に「画面表示」	混雑レベル (1~4) を日替わりとして, 前日の 20 時に画面表示に反映。
ナウキャスト 混雑レベル (1~4)	当日の朝, ゲーム開始時に「発話」	混雑レベル (1~4) を日替わりとして, 当日の朝に 2~4 で発話。
リアルタイム情報 混雑レベル (1~4)	高速道路走行中, 経路変更推奨地点で「発話」	混雑レベル (1~4) を日替わりとして, 経路変更推奨地点を通過時に発話。

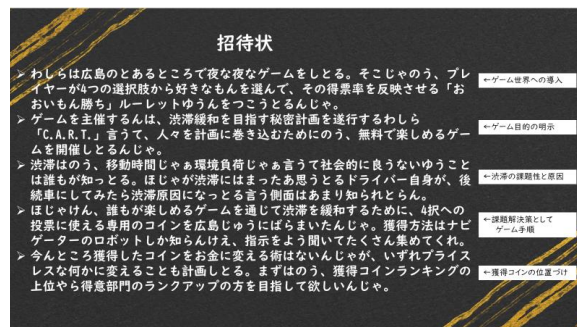


図-4.1 ゲームのストーリー

ボーナスコインも用意し、Self Cooperation の側面も主張する。渋滞緩和とゲームプロトタイプの構成を表-4.4 に示す。

##### (2) 働きかけのタイミングと交通状況予測

第 3 章でも示したとおり、渋滞予測による運転者への働きかけについて、ひとつめのタイミングを前日夜 (20 時~24 時) に設定することとした。この働きかけに用いる混雑予想は、前日に実施する「交通状況フォーキャストモデル」による 4 レベルの混雑レベルである。一方で、一般道への経路変更は当日の朝にも変更可能であると考えられるため、朝の出発前のタイミングで提案する設定とした。この働きかけには、本研究で近い未来の混雑を予想する「交通状況ナウキャストモデル」に基づく 4 段階の混雑レベルとする。加えて、高速道路走行中に一般道利用を提案する場合は、予測ではなくリアルタイム情報による混雑レベルを用いることとする (表-4.5)。

##### (3) ストーリー設定

ゲームを魅力的に見せる手段として、興味をひくストーリー設定 (Narrative) が重要である。一方で、



ここでのゲームは渋滞緩和をめざすことを明示する方針である。これらを満たすストーリー設定を行い、それを「招待状」という形でプレイヤーに示すこととした(図-4.1)。この招待状は、ゲーム参加者にホームページや動画、印刷物を通じてあらかじめ示すことを想定したものである。

#### (4) ゲームの手順と機能

次に、ログインから行動宣言、投票、走行中、振り返り、ランキング、獲得履歴、達成度表示について、手順と各機能を以下に示す。

**ログイン**：ロゴは楽しさをアピールするものとし、スマホ単体で稼働する際にロボホンの代替キャラクターにもなる、お好み焼きのへらをモチーフとした「へらへらロボくん」をデザインした(図-4.2)。また、オープニングのコールや走行中の発話には、広島地域の参加者が親しみを感じられるようにキャラクターボイスを広島弁として、広島弁ネイティブの声優による音源を採用した。参加者は提供されたユーザー名とパスワードによりログインするが、ログイン時には毎回「達成度表示」が示され、渋滞緩和を目的としたゲームであることと、皆で協力してレベルを上げるゲームという側面を伝える。「宣言と投票」ボタンで宣言に進むことができる。

**宣言(20時～24時限定)**：参加者は翌日の走行予定をたずねられ、移動が設定条件を満たすか否かを回答する。移動経路や移動の時間帯を変更した参加者と、もともとエリア内を移動する人とを判別するためのしくみであり、コインが金銭価値を持たない現状での重要性は低いが、将来的にコインと何らかの価値とを交換する場合には必要となる判別である。対象となる渋滞時間帯と、対象者として想定する東広島市への通勤者が使用している代替経路を現地調査した結果を反映し、広島東 IC の東側に赤線を、志和 IC の東側に青線を設置し、この2つの線をまたぐ移動を対象とした(図-4.3)。

次の画面では予想される混雑レベルがイラストで示され(図-4.4)、これを参考に「一般道で行く」、「混雑時間を避けて高速道路で行く」、「そのまま高速道路で行く」の行動選択ボタンから1つを宣言する。**投票(20時～24時限定)**：4つの選択肢が示され、おおいもん勝ちの投票を行う(図-4.5)。皆が選択するものを的中させるのではなく、支持(選択者)が多いほど当選しやすいルーレット抽選を行うため当選には運の要素も影響する。なお、当選時の「山分け」は、不公平にならないよう、当選者全員がBETしたコイン数に応じた割合とした。参加賞として毎日コインは獲得できるため、走行しなくても参加できる。**走行中(6時～12時限定)**：ゲームを起動すると、タイトルコールに続いて黒い発話のみの画面となる。前日の宣言で高速道路を利用する選択をしている場合は、タイトルコールの直後にナウキャストの混雑レベル予測(現状は1～4を仮設定)に基づいて一般道利用を促す発話を行う。また、高速道路を走行中の奥屋PA付近では、現状の混雑状況(現状は仮設定)に基づいて志和ICでの流出を促す発話を行う。アン

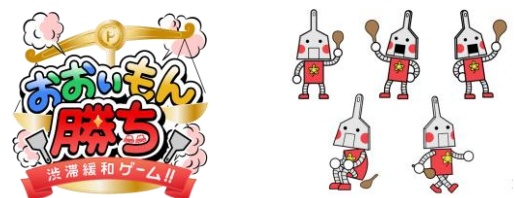


図-4.2 ロゴマークとキャラクター

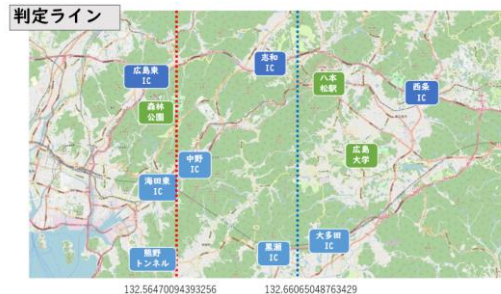


図-4.3 指定区間の移動判定ライン

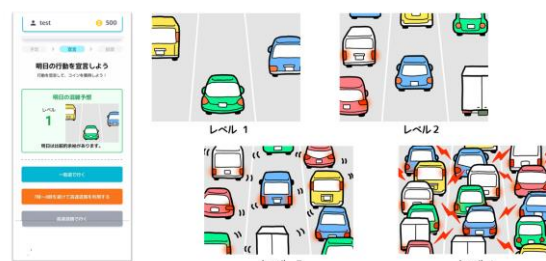


図-4.4 行動を宣言時に示す混雑レベルのイラスト  
宣言と投票の方法②(20時の抽選直後から24時まで)



図-4.5 おおいもん勝ち投票画面

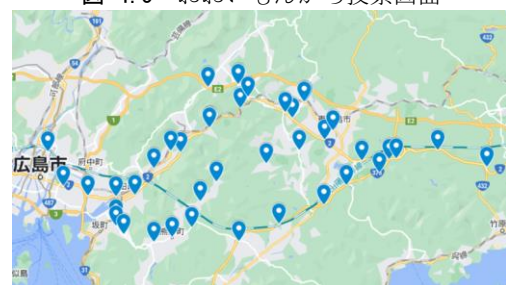


図-4.6 コインの位置

#### 振り返り(20時の抽選直後から翌日20時まで)



図-4.7 振り返り画面

ケート調査や現地調査で確認した代替経路（県道や国道）にコイン獲得スポットを配置しており、通過することでコインを獲得できる（図-4.6）。「運転終了」ボタンで画面を消すことができる。

**振り返り（20時～24時限定）：**走行した日の20時以降に画面を開くことで抽選ルーレットが表示され、当選すると獲得コインが加算される（図-4.7）。前出のとおり、単純に皆が選択する「おおいもん」を当てるのではなく、支持（選択者）が多いほど当選しやすいルーレットであるため、当選には運の要素も影響する。さらに、宣言した行動変更（一般道利用や混雑時間帯の回避）が認められると、行動に応じたコインが付与される。「高速道路を利用して行く」、を選択した参加者（行動変更なし）は参加賞としてコインが付与される。

**ランキング/コイン獲得履歴/達成度表示：**トップ画面からいつでも遷移可能な画面として、ランキング/コイン獲得履歴/達成度表示を用意した（図-4.8）。ランキングは「行動変更の回数」と「獲得コイン数」の2種類とし、それぞれ具体的な行動部門のバッジとして「経路変更の回数」と「時間変更の回数」による銅銀金のバッジ、獲得コイン部門のバッジとして「累計獲得」「参加回数」「当選数」による銅銀金のバッジを備えた。さらに、画面右上の現在のコイン数部分をタップすることにより、コインの獲得履歴画面が表示される。「達成度表示」ボタンでは、渋滞緩和を目的とした協力ゲームとして、架空の世界の道路混雑を緩和して、快適運転レベル（1～4）を向上させるゲームのスコアを示す（図-4.9）。皆が行動変更（参加）するほど参加者の総獲得コイン数が増加して、順に快適運転レベル（1～4）が向上するしくみである。

#### (5) データ収集

データサーバーより取得できるデータは、表-4.6の通りである。

上記で説明したプロトタイプゲームをウェブサーバー上で構築し、ネクソコ西日本中国支社交通計画課、広島国際空港株式会社利用促進部、東広島市産業振興課に協力を依頼し、2022年12月19～23日、および2023年1月10～18日に試行いただいた。その結果も参考にして改善を進め、後述のスマートフォンアプリの構築時に反映した。

#### 4.5 おわりに

本章では、分析対象区間を走行するドライバーへのアンケート調査からターゲットユーザーを設定し、さらには文献調査によりゲームデザイン手法を整理した上で「おおいもん勝ち!!渋滞緩和ゲーム」を開発し、ウェブベースのサーバーに実装した。また、土地勘のある協力者にゲームを試行いただき改良も施している。このプロトタイプ版を参考にして構築したアプリ版ゲームを用い、D.の検討である実証実験を実施する。

#### ランキング&獲得履歴&達成度表示（いつでも確認可能）

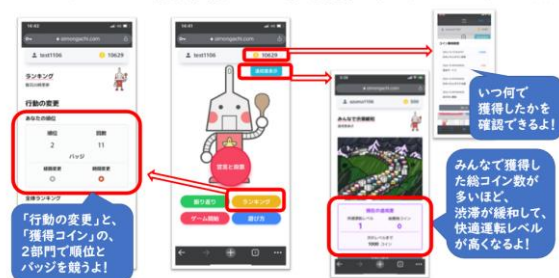


図-4.8 バッジ等確認画面



図-4.9 達成度表示

表-4.6 取得データの一覧

種類	内容
ログイン履歴	日時
赤線から青線の移動	[AREA1] [AREA2] [AREA3] の滞在有無
行動変更の宣言種類	時間変更など
スポット履歴	スポット番号と日時
コイン獲得履歴	増減数、日時、原因
おおいもん勝ちの抽選履歴	各選択肢へのBET数、各選択肢への投票数、当選番号、オッズ
行動変更の判定履歴	日時、時間変更など
フォーキャストのレベル履歴	レベル1～4
ナウキャストのレベル履歴	レベル1～4
リアルタイム情報のレベル履歴	レベル1～4
投票履歴	選択番号、BET数

#### 第4章 参考文献

- 1) Weblio 辞書「デジタル大辞泉」(<https://www.weblio.jp/content/%E3%82%B2%E3%83%BC%E3%83%A0>)，2022/7/1 アクセス
- 2) ジェイン・マクゴニガル：“幸せな未来は「ゲーム」が創る”，早川書房，2011.
- 3) 藤本徹：“ゲーム要素を取り入れた授業デザイン枠組の開発と実践”，日本教育工学論文誌，38(4)，351-461，2015
- 4) Weblio 辞書「デジタル大辞泉」(<https://www.weblio.jp/content/%E3%82%B2%E3%83%BC%E3%83%A0>)，2022/7/1 アクセス
- 5) Horvath, G.: “Play, Games, Sports, and Athletics”，(<https://garyhorvath.com/sports-in-general/play-games-sports-athletics/>)，2022/7/1 アクセス
- 6) Deterding, S, Dixon, D, Khaled, R and Nacke, L: “From Game Design Elements to Gamefulness: Defining “Gamification””，



- Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, 9-15, 2011.9.
- 7) Huotari, K and Hamari, J.: “A definition for gamification: anchoring gamification in the service marketing literature”, *Electron Markets*, 27, 21-31, 2017.
  - 8) Hunnicke, R., LeBlanc, M. and Zubek, R: “MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research”, *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI 4(1)*, 2004.
  - 9) Engelstein, G., Shalev I: 「ゲームメカニズム大全 ボードゲームに学ぶ「おもしろさ」の仕掛け」, 小野卓也訳, 翔泳社, 2020.
  - 10) Khalil, M., Wong, J., de Koning, B. and Ebner, M.: “Gamification in MOOCs: A Review of the State of the Art”, paper presented at the 2018 IEEE Global Engineering Education Conference, Santa Cruz de Tenerife, Spain, 2018.
  - 11) Miller, A. S., Cafazzo, J. A. and Seto, E.: “A game plan: Gamification design principles in mHealth applications for chronic disease management”, *Health Informatics Journal*, 22(2), 184-193, 2016.
  - 12) Tondello, G.F. and Kappen, D.L: “Heuristic Evaluation for Gameful Design”, *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts*, 2016.
  - 13) Yu-kai Chou: “Actionable Gamification - Beyond Points, Badges, and Leaderboards”, *Octalysis Media*, 2015.
  - 14) Marczewski, A.: “Even Ninja Monkeys Like to Play: Gamification, Game Thinking & Motivational Design”, *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2015.

## 第5章 ゲーミフィケーションによる行動変更についての事前予測手法の構築

### 5.1 はじめに

本章では、B.に関連し、渋滞緩和ゲームの導入による行動変更に関して、高速道路利用者特性との関連について分析するとともに、行動変更に対するリワード条件やゲーム要素に対する魅力、交通渋滞に対する当事者意識に着目し、ゲーミフィケーションによる行動変更を促進する要因について分析する。その上で、渋滞緩和ゲームの導入による行動変更可能性の変化に関するロジスティック回帰モデルを用い、ゲーミフィケーションによる行動変更についての事前予測手法を構築する。

### 5.2 アンケート調査の設計

ここでは、行動変更可能性評価のためのアンケート調査における調査全体の設計について述べる。山陽自動車道利用者を対象に2021年2月および3月に実施したゲーミフィケーションに関する予備アンケート調査において、その後の調査への協力意向を示した方及びその紹介者を本アンケート調査の対象とした。主なアンケート調査項目を表-5.1に示す。なお、アンケート調査は前期と後期の2回にわけて実施することとした。

本アンケート調査の中心となる、渋滞緩和ゲームの導入を想定した行動変更可能性に関する表明選好調査の設計について述べる。表明選好調査では、分析対象区間以西を出発地として分析対象区間以東に位置する広島空港に向かうトリップを想定する。調査対象トリップとして出発地の異なる以下の2つのトリップを提示し、被験者それぞれがより想定しやすいなじみのあるトリップを選択して調査に回答する形式とした。

- ・ 広島市街地中心部を出発地として広島空港に向かうトリップ
- ・ 山陽自動車道廿日市IC付近を出発地として広島空港に向かうトリップ

行動選択場面については、経路選択と出発時刻選択を対象とした。経路選択については、出発地から目的地に高速道路を利用して向かうルートと一般道

表-5.1 主なアンケート調査項目（行動変更可能性の評価のためのアンケート調査）

前期アンケート	性別
	年齢
	職業
	日常的な自動車運転頻度
	日常的な自動車の主な利用目的
	SNS等のツールの利用傾向
	日常的なゲームの利用経験・親しみ
	分析対象区間（上り方向）利用時の主な利用入口IC
	分析対象区間（上り方向）利用時の主な利用出口IC
	分析対象区間（上り方向）の主な利用目的
	分析対象区間（上り方向）の利用頻度
	分析対象区間（上り方向）の主な利用曜日
	分析対象区間（上り方向）の主な利用時間帯
	分析対象区間（上り方向）の主な利用車種
	分析対象区間（上り方向）利用条件
後期アンケート	分析対象区間（上り方向）途絶時の対応
	渋滞緩和ゲームの導入を想定した行動変更可能性に関する表明選好調査（1）
	渋滞緩和ゲームの導入を想定した行動変更可能性に関する表明選好調査（2）

路を利用して向かうルートの2つの選択肢を設定し、高速道路利用ルートを選択した場合における料金と距離、ならびに一般道路利用ルートを選択した場合における料金と距離、所要時間を提示した上で、「高速道路所要時間が何分以上になれば一般道路を利用するか」を尋ねた。出発時刻選択については、出発地を予定通りの時刻に出発し高速道路を利用して目的地に向かう場合と、出発地を予定より早く出発し高速道路を利用して目的地に向かう場合の2つの選択肢を設定し、予定通り出発する場合については、所要時間及び混雑のピーク時間帯に通行するという情報、予定より早く出発する場合については、混雑のピーク時間帯を避けて通行できるという情報を提示した上で、「予想される所要時間が何分以下になれば早く出発するか」を尋ねた。なお、設問順序による被験者の回答への影響を考慮し、被験者を2つに分けた上で、一方の被験者には経路選択に関する設問を前期アンケートで、出発時刻選択に関する設問を後期アンケートで尋ね、もう一方の被験者には出発時刻選択に関する設問を前期アンケートで、経路選択に関する設問を後期アンケートで尋ねることとした。また、経路選択における一般道路所要時間お

よび出発時刻選択における出発時刻調整幅については、小、中、大の3つの水準を設け、被験者をさらに3つに分けた上でそれぞれに異なる水準を提示した。

その上で、渋滞緩和ゲーム提示の有無および行動変更に対するリワードの金銭的価値の有無によって4つのパターンを設定し、表-5.2に示すように、渋滞緩和ゲームなしかつ金銭的リワードなしを「基準型」、ゲームなしかつ金銭的リワードありを「金銭追加型」、ゲームありかつ金銭的リワードなしを「ゲーム追加型」、ゲームありかつ金銭的リワードありを「金銭ゲーム追加型」とした。「金銭追加型」「ゲーム追加型」「金銭ゲーム追加型」については、行動変更（経路選択：一般道路を利用，出発時刻選択：予定より早く出発）した場合にコインが獲得できるとし、渋滞緩和ゲームの提示がある場合（ゲーム追加型／金銭ゲーム追加型）には獲得コインをおおいもん勝ちルーレットに投票することができ、行動変更に対するリワードの金銭的価値がある場合（金銭追加型／金銭ゲーム追加型）には10コインを1円相当のポイントに還元できるという設定とした。渋滞緩和ゲームの提示形式については、渋滞緩和ゲーム概要動画の視聴とした。また、これらのパターンの提示方法によって「金銭先行提示グループ」と「ゲーム先行提示グループ」の2つのグループに被験者を分け、「金銭先行提示グループ」では、「基準型」の設問、「金銭追加型」の設問、渋滞緩和ゲーム概要動画、「金銭ゲーム追加型」の設問の順に提示した。「ゲーム先行提示グループ」では、「基準型」の設問、渋滞緩和ゲーム概要動画、「ゲーム追加型」の設問、「金銭ゲーム追加型」の設問の順に提示した。行動変更によるコイン獲得がある「金銭追加型」「ゲーム追加型」「金銭ゲーム追加型」では、行動変更による獲得コイン量を3水準（50コイン／100コイン／300コイン）設け、各パターンにおいて3水準の提示順をランダムにして、水準の異なる設問を3問尋ねた。

図-5.1に行動選択場面の一例を示す。また、被験者のグループ分けを表-5.3に示す。

### 5.3 アンケート調査の実施

アンケート調査はWEB調査として実施した。前期アンケートの実施期間は2023年1月8日～1月15日、後期アンケートの実施期間は2023年1月18日～1月25日である。その結果、前期では144サンプル、後期では74サンプルの有効回答が得られた。

分析を行う前に、アンケート調査データの整理を行った。まず、前期調査と後期調査の回答を被験者メールアドレスを用いて紐づけた。次に、複数回調査に回答している被験者については、2回目以降の回答サンプルを分析対象から除外した。これは、1回目の回答時に渋滞緩和ゲーム概要動画を視聴し、ゲーム概要について理解している状態で2回目以降の回答を行っているためである。さらに、前期調査において回答を途中でやめ、渋滞緩和ゲームの導入を

表-5.2 表明選好調査におけるパターン設定

		リワードの金銭的価値	
		なし	あり
渋滞緩和ゲーム提示	なし	基準型	金銭追加型
	あり	ゲーム追加型	金銭ゲーム追加型



図-5.1 表明選好調査における行動選択場面（例）

表-5.3 表明選好調査における被験者のグループ分け

	行動選択場面		パターン提示順	提示条件 (経路選択：一般道路 所要時間) (出発時刻選択：出発時刻調整幅)	
				前期	後期
	前期	後期			
1	経路 選択	出発 時刻 選択	金銭先行 提示 グループ	小	小
2				中	中
3				大	大
4			ゲーム先 行提示 グループ	小	小
5				中	中
6				大	大
7	出発 時刻 選択	経路 選択	金銭先行 提示 グループ	小	小
8				中	中
9				大	大
10			ゲーム先 行提示 グループ	小	小
11				中	中
12				大	大

想定した表明選好調査に一切回答していないサンプルを分析対象から除外した。以上のデータ整理を行った結果、分析対象サンプル数は124となった。その中で、表明選好調査における経路選択について回答しているサンプル数は101であり、出発時刻選択について回答しているサンプル数は92である。69サンプルは経路選択と出発時刻選択の双方に回答しているサンプルである。

また、これらのサンプルについて、分析対象区間（上り方向）利用時の主な利用入口IC及び出口ICの回答データ、ならびにNEXCO西日本の高速道路ガイドマップに記載されている各高速道路ICのキロポスト情報から、分析対象区間を含む高速道路利用距離を算出した。

### 5.4 基礎集計

得られたデータの基礎集計の結果以下を得た。

- 全体の8割を男性が占める
- 年齢は40～50代がボリューム層
- 全体の7割以上の被験者がほぼ毎日自動車を運転していると回答しており、週に1回以上自動車を運転している被験者は全体の9割超にのぼる。
- 被験者の大半は、通勤・通学目的や業務目的で日常的に自動車を運転している。
- ゲームの利用経験、楽しみについて、アイテムゲーム、すごろくゲーム、パズルゲーム、レースゲーム、アクションゲームについては、楽しくプレ

イしたことがある被験者の方が楽しくプレイしたことがない被験者よりも多い。

- ・ 分析対象区間における主な利用目的、利用頻度、主な利用曜日、主な利用時間帯、主な利用車種について、業務目的で比較的高頻度に平日の午前中～昼間に普通車で利用するサンプルが多い。
- ・ 料金は自己負担であり、60%以上が出発時刻の調整が可能と回答している。

## 5.5 行動変更可能性を対象とした統計分析

### (1) 行動変更可能性の評価指標

経路選択における行動変更可能性を表す指標として、利用経路に関する2つの選択肢間の所要時間差が考えられる。具体的には、経路選択に関する表明選好調査において条件として与えられている一般道路利用時の所要時間から、被験者が回答した高速道路利用時の所要時間を引いた値のことである。所要時間差が大きい場合は、高速道路利用時と比べて一般道路利用による所要時間増加幅が大きかったとしても一般道路への経路変更を行うことを意味しており、利用経路変更可能性が高いといえる。また、利用経路選択における表明選好調査では出発地の異なる2つの調査対象トリップを設定しており、対象トリップにより高速道路利用時の料金が異なる。そこで、利用経路選択における行動変更可能性を表す指標として「単位費用あたりの所要時間差」を用いることによって、2つの対象トリップ間の費用を標準化することとした。

出発時刻選択における行動変更可能性を表す指標として、出発時刻に関する2つの選択肢間の所要時間差が考えられる。出発時刻選択に関する表明選好調査では、予定通りの時刻に出発した場合の所要時間を与えた上で、「予想される所要時間が何分以下になれば予定よりも早く出発するか」を尋ねている。よって、所要時間差が小さい場合は、通常時と比べて出発時刻を早めることによる所要時間減少幅が小さかったとしても出発時刻を早めることを意味しており、出発時刻変更可能性が高いといえる。なお、出発時刻選択における表明選好調査では2つの調査対象トリップ間に費用差はないため、出発時刻選択における行動変更可能性を表す指標は「所要時間差」とした。

### (2) リワードの多寡及び金銭的価値の有無と行動変更可能性に関する分析

ここでは、渋滞緩和ゲームの有無及びリワードの金銭的価値の有無による行動変更可能性の違いとともに、リワード量の違いによる行動変更可能性の違いについて明らかにするため、表明選好調査におけるパターン及びコイン量を2つの因子とする、行動変更可能性に関する二元配置分散分析を行う。表明選好調査では、表-5.2及び表-5.3に示す通り、渋滞緩和ゲーム提示の有無及び行動変更に対するリワードの金銭的価値の有無によるパターンの提示について、「基準型」「金銭追加型」「金銭ゲーム追加型」の

順に提示する「金銭先行提示グループ」と「基準型」「ゲーム追加型」「金銭ゲーム追加型」の順に提示する「ゲーム先行提示グループ」の2つのグループを設定しているためそのグループごとに行う。

1つ目の因子であるパターンについては、グループにより分析対象が異なる。「基準型」「金銭追加型」「金銭ゲーム追加型」の順に提示している「金銭先行提示グループ」については、「金銭追加型」及び「金銭ゲーム追加型」を分析対象とした。一方、「基準型」「ゲーム追加型」「金銭ゲーム追加型」の順に提示している「ゲーム先行提示グループ」については、「ゲーム追加型」及び「金銭ゲーム追加型」を分析対象とした。2つ目の因子であるコイン量については、「金銭先行提示グループ」「ゲーム先行提示グループ」のいずれの分析においても、50コイン、100コイン、300コインの3水準を分析対象とした。

分析対象サンプルについては、表明選好調査において回答を途中でやめ、「金銭ゲーム追加型」までの全てのパターンに回答していないサンプルを分析対象から除外した。さらに、回答したいずれかのパターンにおいて行動変更可能性を表す指標が負となっているサンプルについては、設問の状況を誤って認識している可能性が高いと考え分析対象から除外した。その結果、経路選択に関する二元配置分散分析の対象サンプル数は、「金銭先行提示グループ」が31サンプル、「ゲーム先行提示グループ」が38サンプルとなり、出発時刻選択に関する二元配置分散分析の対象サンプル数は、「金銭先行提示グループ」が38サンプル、「ゲーム先行提示グループ」が38サンプルとなった。

利用経路選択に関する二元配置分散分析の結果を図-5.2(a)～(d)及び表-5.4に示す。上述の通り、利用経路選択については、単位費用あたりの所要時間差が大きいほど行動変更可能性が高く、出発時刻選択については、所要時間差が小さいほど行動変更可能性が高い。まず、二元配置分散分析の因子の一つであるパターンの違いによる行動変更可能性の違いに着目する。表-5.4に示すように、パターンの主効果は認められず、統計的に有意な結果ではないものの、図5.2(a)及び図5.2(c)より、経路選択及び出発時刻選択のいずれについても、「金銭先行提示グループ」において「金銭追加型」と比べて「金銭ゲーム追加型」の行動変更可能性が低いという結果が得られた。すなわち、行動変更に対するリワードに金銭的価値がある状況下では、渋滞緩和ゲームの導入により行動変更が抑制される可能性が示唆されたといえる。この結果は、行動経済学のプロスペクト理論における損失回避性によるものであると解釈できる。損失回避性とは、報酬の獲得よりも損失の回避を重視するという心理作用である。行動変更に対して金銭的リワードが獲得できる状況下においては、渋滞緩和ゲームが導入されると、「おおいもんがちルーレット」の抽選結果によっては本来獲得できていたはずの金銭的リワードを失うリスクが発生する。さらに、渋滞緩和ゲームのプレイを時間的損失と捉える

こともできる。すなわち、行動変更に対して金銭的リワードを獲得できる状況を先に提示すると、渋滞緩和ゲームを、金銭的リワードの損失さらには時間的損失を生み出すリスクがあるものと捉えられてしまうことにより、渋滞緩和ゲームの導入により金銭的リワード獲得意欲が失われて、行動変更可能性が低下したと考えられる。

次に、二元配置分散分析におけるもう一つの因子であるコイン量に着目すると、表 5.4 に示す通り、経路選択及び出発時刻選択のいずれについても、「金銭先行提示グループ」において有意水準 5% でコイン量の主効果が認められた。「金銭先行提示グループ」では、渋滞緩和ゲームの導入より先に金銭的リワードを提示しているため、行動変更により金銭的リワードを獲得できるという情報が強く印象づけられることによって、渋滞緩和ゲームの導入の有無にかかわらず、金銭的価値を持つリワード量に敏感に反応して行動変更可能性が変化したと考えられる。

(3) 利用者特性及びゲーム条件と行動変更可能性に関するモデル分析

ここでは、渋滞緩和ゲームの導入を想定することにより行動変更可能性が高まるような利用者特性及び行動変更に対するゲーム条件について、ロジスティック回帰分析を用いて明らかにする。

ロジスティック回帰分析を行う前に、日常的なゲーム利用に関する利用者特性の明確化を図るため、アンケート調査で尋ねた 13 種類のゲームに対する日常的な利用経験・親しみにについての回答を用いてクラスター分析を行った。クラスターリング手法には階層クラスターリング手法であるウォード法を用いた。また、クラスターリングに用いる各ゲーム利用経験に関する変数については、アンケート調査での回答における「あてはまる」「ややあてはまる」「あてはまらない」「わからない・知らない」を利用経験ありとし、「どちらともいえない」「あまりあてはまらない」「あてはまらない」「わからない・知らない」を利用経験なしとすることによってあらかじめダミー変数化した。

クラスター分析は経路選択及び出発時刻選択のそれぞれのサンプルに対して行った。分析対象サンプルについては、回答した全てのパターンにおいて行動変更可能性を表す指標が負となっているサンプルについて、設問の状況を誤って認識している可能性が高いと考え分析対象から除外した。また、分析対象区間（上り方向）利用時の主な利用入口 IC 及び出口 IC の回答に矛盾があるために分析対象区間を含む高速道路利用距離が算出で

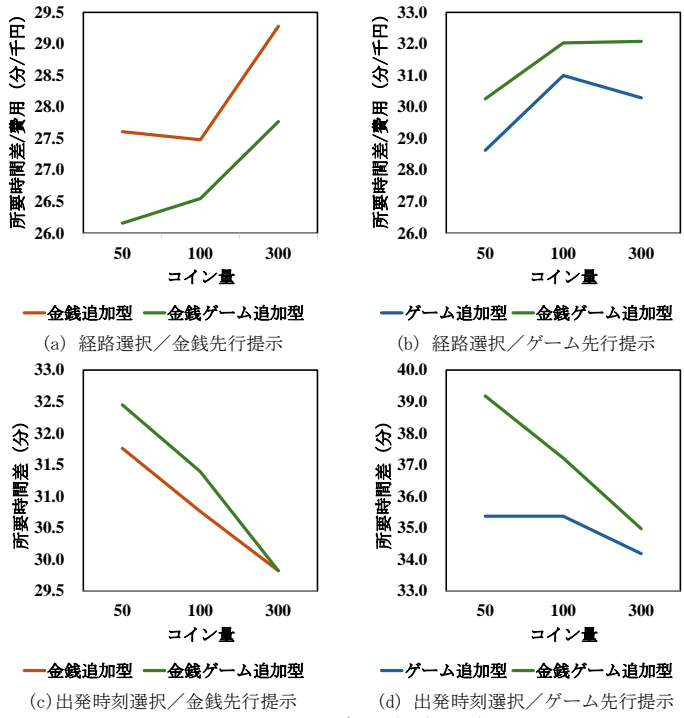


図-5.2 所要時間差 (N=38)

表-5.4 行動変更可能性に関する二元配置分散分析結果における p 値 (\*p<0.05)

	経路選択		出発時刻選択	
	グループ 1	グループ 2	グループ 1	グループ 2
パターン主効果	0.194		0.603	0.184
コイン量主効果	0.018	*	0.024	*
交互作用	0.860		0.710	0.140

表-5.5 日常的なゲーム利用に関する各クラスターにおけるゲーム利用経験ありの割合

	経路選択		出発時刻選択	
	クラスター1 (N=19)	クラスター2 (N=54)	クラスター1 (N=23)	クラスター2 (N=54)
アイテム集めゲーム	78.9%	35.2%	95.7%	40.7%
カードゲーム	68.4%	20.4%	60.9%	24.1%
クイズゲーム	42.1%	20.4%	52.2%	18.5%
すごろくゲーム	73.7%	35.2%	78.3%	31.5%
テーブルゲーム	57.9%	40.7%	52.2%	29.6%
パズルゲーム	94.7%	38.9%	95.7%	29.6%
レースゲーム	89.5%	38.9%	87.0%	31.5%
スポーツゲーム	78.9%	27.8%	78.3%	22.2%
アクションゲーム	94.7%	33.3%	91.3%	25.9%
ロールプレイングゲーム	89.5%	29.6%	87.0%	25.9%
育成ゲーム	94.7%	3.7%	91.3%	5.6%
位置情報ゲーム	52.6%	13.0%	65.2%	13.0%
FPS ゲーム	21.1%	9.3%	4.3%	7.4%
平均	72.1%	26.7%	72.3%	23.5%

きないサンプルについては分析対象から除外した。その結果経路選択に関するクラスター分析の対象サンプル数は 73 となり、出発時刻選択に関するクラスター分析の対象サンプル数は 77 となった。

クラスター分析の結果を表-5.5 に示す。デンドログラム及び各クラスターの特性を確認し、経路選択及び出発時刻選択のいずれの分析についてもクラス



ター数を2とした。その結果、経路選択及び出発時刻選択のいずれにおいても、クラスター2に比べてクラスター1の方がほぼ全てのゲーム利用割合が高くなったため、クラスター1を「ゲーム利用型」としクラスター2を「ゲーム非利用型」とした。

ロジスティック回帰分析の目的変数については、渋滞緩和とゲーム導入想定前後の行動変更可能性の変化とした。行動変更可能性を表す指標については、上述の通り、経路選択については単位費用あたりの所要時間差を用い、出発時刻選択については所要時間差を用いる。「金銭追加型」「ゲーム追加型」「金銭ゲーム追加型」については、表明選好調査において行動変更に対する獲得コイン量を3水準提示し、それぞれのコイン量に対し行動変更可能性を尋ねている。本分析では、行動変更可能性として、それらの3水準における値を平均したものをを用いた。

分析対象サンプルについては、表明選好調査において回答を途中でやめ、「金銭先行提示グループ」では「金銭ゲーム追加型」まで、「ゲーム先行提示グループ」では「ゲーム追加型」までの全てのパターンに回答していないサンプルを分析対象から除外した。次に、回答したいずれかのパターンにおいて行動変更可能性の値が負であるサンプルについて、設問の状況を誤って認識している可能性が高いと考え分析対象から除外した。さらに、分析対象区間（上り方向）利用時の主な利用入口IC及び出口ICの回答に矛盾があるために分析対象区間を含む高速道路利用距離が算出できないサンプルについては分析対象から除外した。その結果、分析対象サンプル数は、経路選択について61サンプル、出発時刻選択について68サンプルとなった。ここでは、これらのサンプルをまとめた計129サンプルを用いてロジスティック回帰分析を行う。

説明変数については、その候補として以下の変数を挙げた。

- ・ 被験者の個人属性：性別，年齢，職業
- ・ 被験者の基本特性：日常的な自動車運転頻度，日常的な自動車の主な利用目的，SNS等のツールの利用傾向，日常的なゲーム利用（クラスター）
- ・ 分析対象区間（上り方向）における利用実態：利用距離，利用目的，利用頻度，広島都市圏IC利用有無，利用曜日，利用時間帯，利用車種，利用時の移動条件
- ・ 表明選好調査条件：調査対象ルート，行動変更負担，金銭的リワードの有無，行動変更種類

これらの変数候補に対して，ステップワイズ法を用いて変数選択を行った。ステップワイズ法におけ

表-5.6 渋滞緩和とゲーム導入想定前後の行動変更可能性の変化に関するロジスティック回帰分析結果（N=129，判別的中率：89.1%，\* $p<0.05$ ）

設問	項目	偏回帰係数	オッズ比	VIF
（切片）		1.241	3.46	
【被験者の基本特性】				
自動車の主な利用目的 《基準》 通勤・通学	＜カテゴリー＞ 業務	2.042	7.71 *	1.88
	その他	2.459	11.69 *	2.24
日常的なゲーム利用 《基準》 ゲーム非利用型	＜ダミー＞ ゲーム利用型	1.418	4.13 *	1.47
【分析対象区間の利用状況】				
広島都市圏 IC 利用有無 《基準》 利用なし	＜ダミー＞ 利用あり	-2.383	0.09 *	2.56
分析対象区間利用距離 ＜連続値＞		-0.015	0.98 *	1.99
分析対象区間利用車種 《基準》 普通車・軽自動車	＜ダミー＞ 特大型車・大型車・中型車	-2.740	0.06 *	2.11
【表明選好調査条件】				
表明選好調査対象ルート 《基準》 廿日市 IC 付近発	＜ダミー＞ 広島市街地中心部発	-0.369	0.69	2.09
行動変更負担 《基準》 負担小	＜ダミー＞ 負担大	-1.342	0.26	1.47
金銭的リワードの有無 《基準》 金銭的リワードなし	＜ダミー＞ 金銭的リワードあり	-1.626	0.20 *	1.29
行動変更種類 《基準》 経路選択	＜ダミー＞ 出発時刻選択	0.743	2.10	1.07

るモデルの評価指標には，AIC（Akaike's Information Criterion，赤池情報量規準）を用いた。ステップワイズ法によって選択された変数のうち，カテゴリー変数については，選択されなかったカテゴリーも含めた全カテゴリーを説明変数とした。表明選好調査条件に関する変数については，目的変数に対する影響について明らかにするため，全ての変数を強制的に説明変数としてモデルに投入した。ロジスティック回帰分析の結果を表-5.6に示す。ここでは，p値が0.05を下回った変数を有意な変数とした。なお，説明変数の1つである広島都市圏IC利用有無は，分析対象区間（上り方向）利用時の主な利用入口ICとして，広島都市圏内にある五日市IC，広島IC，広島東IC，東雲ICのいずれかを回答しているか否かを表すダミー変数である。分析対象区間利用車種については，特大型車，大型車，中型車を1とし，普通車及び軽自動車を0としてダミー変数化している。表明選好調査条件の一つである行動変更負担については，利用経路選択では一般道路所要時間とし，出発時刻選択では出発時刻調整幅とした。なお，表明選好調査では一般道路所要時間及び出発時刻調整幅のいずれについても3水準を設定し，被験者を3つに分けてそれぞれに別々の水準を提示した上で行動変更可能性について尋ねている。ここでは，それら3水準のうち，最も行動変更負担が小さい水準を0とし，それ以外の2水準をまとめて1とすることでダミー変数化している。

日常的なゲーム利用に関しては，ゲーム利用型のオッズ比が1を上回っており統計的に有意である。すなわち，日常的なゲーム利用者の方がそうでない人に比べて渋滞緩和とゲームに反応して行動変更可能性が高まりやすいことを表している。

分析対象区間利用距離については，オッズ比が1を下回っており有意である。分析対象区間利用車種については，特大型車・大型車・中型車のオッズ比が

1 を下回っており有意である。すなわち、利用距離については短距離利用者の方が、利用車種については普通車・軽自動車の方が渋滞緩和ゲームに反応して行動変更可能性が高まりやすいといえる。これらの利用者は比較的運転の負担が少なく、ゲーム参加への体力的・心理的負担が小さいために、渋滞緩和ゲームの導入を肯定的に捉えて行動変更が比較的促進される可能性が考えられる。

金銭的リワードの有無に関しては、金銭的リワードありのオッズ比が1を下回っており統計的に有意である。すなわち、金銭的リワードがない状況の方が金銭的リワードがある状況下よりも渋滞緩和ゲームに反応して行動変更可能性が高まりやすいことを表している。上述の通り、金銭的リワードがある状況下で渋滞緩和ゲームが導入されると、渋滞緩和ゲームへの参加によって発生しうる損失を回避しようと考え、行動変更意欲が失われる可能性が考えられる。したがって、渋滞緩和ゲームを用いて高速道路利用者の行動変更を促進させるには、金銭的リワードがない状況下において渋滞緩和ゲームを導入することがより効果的であるといえる。

## 5.6 ゲーミフィケーションによる行動変更についての事前予測

ここでは、構築した渋滞緩和ゲーム導入想定前後の行動変更可能性の変化を目的変数としたロジスティック回帰分析を用いて、ゲーミフィケーションによる行動変更に関してモデル化を行う。渋滞緩和ゲームの導入によって行動変更が促進される確率を  $p$  とすると、表-5.6 よりロジスティック回帰モデルは以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \log(p/1-p) = & 1.241 + 2.042x_1 + 2.459x_2 + 1.418x_3 \\ & - 2.383x_4 - 0.015x_5 - 2.740x_6 \\ & - 0.369x_7 - 1.342x_8 - 1.626x_9 \\ & + 0.743x_{10} \end{aligned}$$

ただし、

- $x_1$  : 業務(自動車の主な利用目的)〈カテゴリー〉
- $x_2$  : その他(自動車の主な利用目的)〈カテゴリー〉
- $x_3$  : 日常的なゲーム利用〈ダミー〉
- $x_4$  : 広島都市圏IC利用有無〈ダミー〉
- $x_5$  : 分析対象区間利用距離 (km) 〈連続値〉
- $x_6$  : 分析対象区間利用車種〈ダミー〉
- $x_7$  : 表明選好調査対象ルート〈ダミー〉
- $x_8$  : 行動変更負担〈ダミー〉
- $x_9$  : 金銭的リワードの有無〈ダミー〉
- $x_{10}$  : 行動変更種類〈ダミー〉

である。

ここでは、渋滞緩和ゲーム導入想定前後の行動変更可能性の変化を目的変数としたロジスティック回帰分析において統計的に有意な説明変数の中から

表-5.7 日常的なゲーム利用及び金銭的リワードの有無に着目した渋滞緩和ゲーム導入による行動変更促進確率

条件	着目した説明変数の値	渋滞緩和ゲーム導入による行動変更促進確率 $p$
「ゲーム非利用型」かつ「金銭的リワードなし」	$x_3 = 0$	$p = \frac{1}{1 + e^{-(1.241 + 1.418 \times 0 - 1.626 \times 0)}} = 0.776$
	$x_9 = 0$	
「ゲーム利用型」かつ「金銭的リワードなし」	$x_3 = 1$	$p = \frac{1}{1 + e^{-(1.241 + 1.418 \times 1 - 1.626 \times 0)}} = 0.935$
	$x_9 = 0$	
「ゲーム非利用型」かつ「金銭的リワードあり」	$x_3 = 0$	$p = \frac{1}{1 + e^{-(1.241 + 1.418 \times 0 - 1.626 \times 1)}} = 0.405$
	$x_9 = 1$	
「ゲーム利用型」かつ「金銭的リワードあり」	$x_3 = 1$	$p = \frac{1}{1 + e^{-(1.241 + 1.418 \times 1 - 1.626 \times 1)}} = 0.737$
	$x_9 = 1$	

「日常的なゲーム利用」及び「金銭的リワードの有無」に着目し、これらの変数が渋滞緩和ゲームの導入による行動変更促進可能性に及ぼす影響を予測する。まず、着目する2変数以外の説明変数については、ダミー変数及びカテゴリー変数については基準カテゴリーであると仮定し、連続値をとる変数についてはその値を0とする。すなわち、ロジスティック回帰モデルにおいて「 $x_1 = x_2 = x_4 = x_5 = x_6 = x_7 = x_8 = x_{10} = 0$ 」とする。その上で、日常的なゲーム利用及び金銭的リワードの有無に関する説明変数については、それぞれ0と1の両方の値を取ると仮定し、各条件における渋滞緩和ゲーム導入による行動変更促進確率  $p$  を求める。その結果を表-5.7に示す。

この結果から、日常的なゲーム利用の有無や金銭的リワードの有無による、渋滞緩和ゲームの導入時の行動変更促進可能性の差異などを予測できる。したがって、日常的なゲーム利用といった高速道路利用者特性や、行動変更に対する金銭的リワードの有無といったゲーム条件を設定した上で、このロジスティック回帰モデルを用いることにより、ゲーミフィケーションによる行動変更についての事前予測が可能であるといえる。

## 5.7 おわりに

本章においては、ゲーミフィケーションによる行動変更について、事前に予測可能なモデルをウェブアンケート調査による表明選好調査により実施することを試みた。ゲームを嗜好するユーザーを明らかにするとともに、リワードの有無、ゲーム利用の有無ごとのアンケート調査を実施し、その結果からそれぞれの条件における行動変更促進確率を算定可能なモデルを構築した。このモデルにより一定の行動変更促進可能性については議論可能であるものの、コインの多寡の影響やその他のゲーム要素の影響などを検討できるモデルとはなっておらず、今後より精緻なモデルの構築を検討する必要があると考えられる。

## 第6章 チャットボット型行動変更システムおよびスマートフォンアプリゲームシステムの開発

### 6.1 はじめに

本章では、B. およびC. に関連し、チャットボット型行動変更システムならびにAndroidスマートフォン上での「おおいもん勝ち!! 渋滞緩和ゲーム」システムの開発について述べる。次章以降の実証実験においてこれらは切り離して実施しているが、アプリとしては既存システムを有効利用すること、将来的に2つのシステムの融合を検討したいことから同一システム上で構築している。

### 6.2 システムの構成と機能

本研究で開発するチャットボットシステムは、先行研究<sup>1)</sup>を参考に開発を行っている。本システムの構成を図-6.1に示す。システムは、クラウド上のサーバー（ナウキャストモデル/ゲーミフィケーション）とスマートフォンにインストールした開発アプリ（以下、スマホアプリ）、およびロボホン（シャープ製コミュニケーションロボット、図-6.2）にインストールした開発アプリ（以下、ロボホンアプリ）から構成される。各デバイス間の関係は次の通りである。まず、サーバーからのデータまたはコマンドをスマホアプリで受信する。受信情報がドライバーへ表示情報である場合は、スマホ画面にて情報提示を行う。受信情報がドライバーへの働き掛けである場合は、エージェント制御機能を介して、ロボホンアプリと通信し、ロボホン制御コマンド・データを送信することで、ロボホン本体の発話・動作を行い、ドライバーへ通知を行う。

### 6.3 クラウドシステムの構築

クラウド上にユーザー管理、運転支援、ゲームサーバーの機能を実装し、スマホアプリがゲームインタフェース、走行データ取得、運転支援、ロボット制御の各機能を持つことで、スマホアプリをハブとした簡便なシステム構成を実現した。チャットボット型行動変更提案システムの構成を図-6.3に示す。

#### (1) クラウドサーバー開発

クラウド（Amazon AWS+EC2）上にサーバーを用意

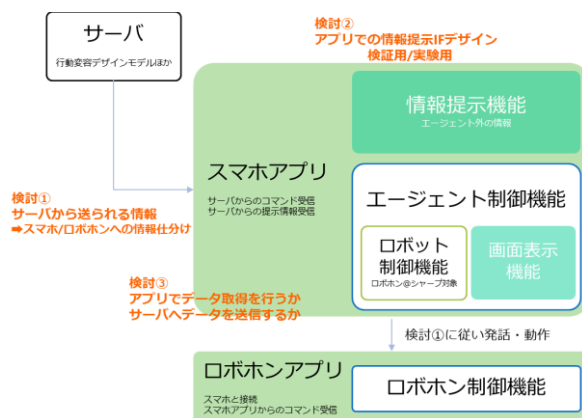


図-6.1 チャットボットシステムの構成と機能



図-6.2 商用小型コミュニケーションロボット  
ロボホン（シャープ株式会社）

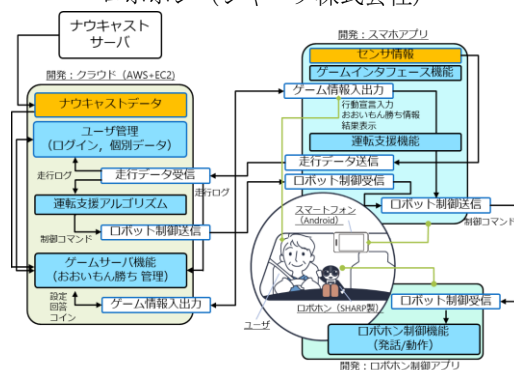


図-6.3 チャットボット型行動変更提案  
システムの構成

し、ユーザーのログイン管理およびユーザー毎の個別データ（ゲームコイン数や行動宣言などのゲーム関連情報、走行位置・走行距離や車速などの運転関



連情報)を管理する機能を実装した。ゲーム(おおいもん勝ち)サーバー機能として、おおいもん勝ちゲームを実装し、スマホアプリからユーザーが入力するゲーム関連情報を受け、結果等を出力としてスマホアプリに送信する。ナウキャストデータは同クラウド上に格納される予定であり、クラウド内で参照される。また、ドライバーが運転に移行(運転モード)にした場合は、スマホアプリから適宜アップロードされる運転情報(車速や位置情報など)を受信しユーザー毎に格納する。さらに、運転支援アルゴリズムに従い、必要となる運転支援や情報提示等を制御コマンドしてスマホアプリに送信し、チャットボット(ロボホン)を介してドライバーへ働きかける。

## (2) スマホアプリ開発

スマホアプリはユーザー(ドライバー)からゲームに関する情報の入力(行動宣言など)を受け付け、スマホアプリ内にゲーム情報を表示する。また、走行記録に基づき、ロボホンを介してユーザーへフィードバックを行う。ゲーム関連情報は、グループBの事前検討の基づくプロトタイプシステムをベースに、渋滞緩和に関する行動宣言の入力や、おおいもの勝ちゲームに関する情報、コインベット等のゲーム操作やその表示をAndroidスマートフォン用のアプリとして実装を行っている。図-6.4にゲーム実行画面を示す。アプリを起動すると、(a)メニュー画面が表示される。ユーザーはここから様々な情報の入出力を行う。まず、(b)明日対象エリアを走行するかどうか予定の選択やロボホンとの接続を行う。対象エリアを走行する場合、(c)行動の宣言を行う。次に、(d)おおいもん勝ちゲームの選択肢とベットするコインの量を入力して投票を行う。(e)入力に問題なければサーバーに送信する。渋滞緩和の達成度も確認することができ(f)、また自身の(g)履歴やランキング情報も確認することができる。運転を開始(ゲーム開始選択)した場合は、スマホアプリの表示がディストラクションを起こさぬように黒い画面に最低限の数値が表示される(h)。

なお、行動宣言の際に表示する混雑レベルについて、現時点ではA.の検討結果を直接リアルタイムシステムで活用することは困難であった。そのため、以下のような対応をとった。

### 交通状況フォーキャストモデル

民間のリアルタイム所要時間情報を元とし、さらには京セラコミュニケーションシステム株式会社が提供するKCCS APIデータ配信サービスを使って翌朝の降水量予測を入手し、これらのインプットデータを3章で示したフォーキャストモデルに入れ込み混雑レベルに変換する。

### 交通状況ナウキャストモデル

近未来の状況であることから、民間のリアルタイム所要時間情報を元に、図-3.2の閾値を参考にして混雑レベルに変換する。

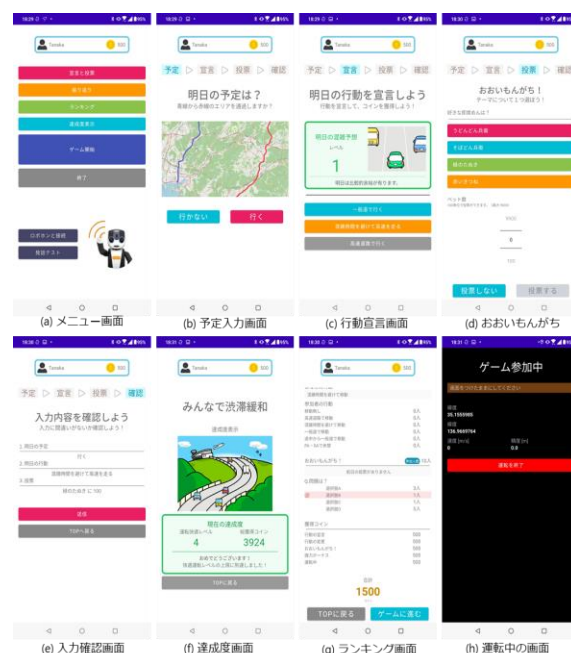


図-6.4 開発中のスマホアプリ画面

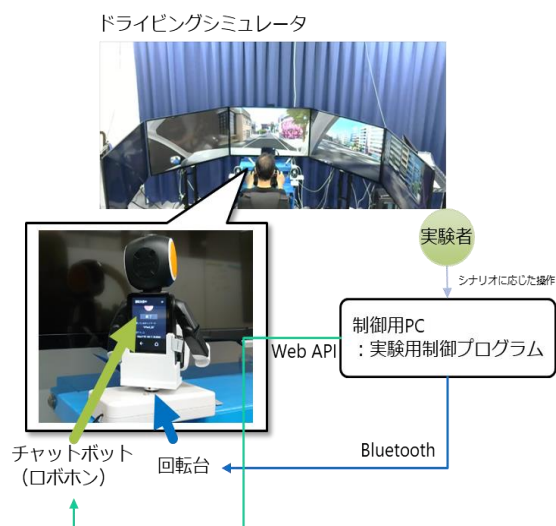


図-6.5 DS 実験用ロボットインターフェースの構築

## 6.4 ロボットインターフェースの構築

### (1) 運転支援コンテンツの実装

運転中は、スマホアプリから適宜送られてくる制御コマンドに従い、チャットボット(ロボホン)を介してドライバーへ働きかける。ドライバーへの働きかけコンテンツは、大きく分けて、ゲームに関する情報提供(コイン獲得通知など)と行動変更促進情報の2種類である。行動変更促進には、渋滞緩和と行動促進と安全運転行動促進の2種類を検討している。行動変更促進情報はチャットボットを介して提供する。

### (2) DS実験用ロボットインターフェースと実験環境整備

C.では、チャットボットを介して運転行動変更を促すことができるシステムの開発を行った。前述したシステムは、実際の走行データに基づいて動作す



るため、DS 実験による特定のシナリオでの効果検証にそのまま使用することができない。そこで図-6.5で示す通り、DS 実験用に別途開発したロボット制御プログラムをベースに、ロボホンアプリ（チャットボットにインストール）を Web API で制御し、また回転台（ロボットの Yaw 回転制御用デバイス、ロボットの向きを変える）を Bluetooth にて制御することで、DS 実験時にチャットボットがドライバーへ振り向きながら音声と動きで情報提示する環境（Python）を構築した。これにより、DS 実験にて、実験者の制御による実験を可能とし、これを用いて D. にて DS 実験を実施した。

### (3) 実走実験環境の整備

令和 5 年度に実施する高速道路における実走実験では、チャットボット型行動変更提案システム（ドライバーエージェント）を車両に搭載し、高速道路上の走行地点に基づいて、システムからドライバーに対し働きかけを行う。そして、働きかけに対するドライバーの反応や主観評価によってシステムの評価を行っている。

高速道路上の様々な情報に関しては地図情報に設定されていないため、ドライバーへの支援コンテンツやタイミングを決定するためには、GPS 座標に基づきそれぞれ定義する必要がある。そのため、特定の GPS 座標に支援コンテンツを紐づけてドライバーに提示するシステムへ改良を行った。図-6.6 に実走実験用システム構成を示す。従来クラウド側に実装されていた発話選択機能を、GPS 座標に基づく発話リストを参照するようスマホアプリを変更することで、実走実験の実施を実現した。次節にて実走実験における発話リストと GPS 座標の関係について述べる。

### (4) 高速道路上のGPSに戻づく運転支援コンテンツの指定機能の実装

実走実験では、走行中の GPS 座標に基づきドライバーに 3 種類（注意喚起、アイスブレイク、案内）の支援を行う。また、走行経路は上り・下りを計 4 回走行し、走行回数ごとにエージェントからの働きかけ数を変化させる。これを実現するため、上り・下りでそれぞれ緯度・経度と発話内容を定義し、車載したロボット（ロボホン）からドライバーに提示できるよう改良を行った。実験用スマートフォンアプリから、現在の走行回数（第 1 走～第 4 走）を指定することで、実験条件に合わせて発話リストから該当する発話をピックアップしてロボットが発話を行う機能を実装した。

## 6.5 チャットボット型行動変更提案システムの機能検証

開発システムを実車両（トヨタ・カローラツーリング）のダッシュボード上に設置を行った（図-6.7(a)）。実験では、第 1 走行・第 3 走行（上り）、第 2 走行・第 4 走行（下り）として、各被験者が計 4 回の走行を行い、予め設定された地点に車両が到

達すると自動でドライバーに対し発話を提示する。試験走行により、予め指定された GPS 座標に基づき、チャットボットを通じて指定の発話を提示することが可能であることを確認した（図-6.7(b)）。さらに、後述する実走実験においても指定した場所にて発話が行われていることを確認している。

また、実験実施に先駆けて、ロボットを搭載した試験車両を、広島県警察本部・高速道路交通警察隊に確認頂いた。警察隊からは「チャットボットの配置について特段問題がない」こと、また、「中国運輸局への説明を行い、問題がないことを確認すること」との意見を頂いた。これを受けて、国土交通省中国

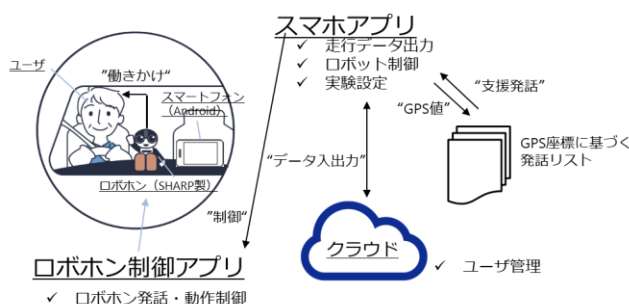


図-6.6 実走実験用システムの構成



図-6.7 開発システムの実車両への搭載の様子

運輸局・自動車技術安全部技術課に確認頂き、「チャットボットをダッシュボードに直接固定しているわけではないため車両法に抵触しない」こと、また「視界の妨げにならないよう気を付ける」ようコメントを頂いた。

## 6.6 おわりに

本章では、C.に関連したシステム開発について述べた。本章で開発したシステムを用い、次章以降で示した仮想環境でのDS実験および実環境での実走実験を実施している。

## 第6章 参考文献

- 1) T. Tanaka et.al: Study on Driver Agent based on Analysis of Driving Instruction Data - Driver Agent for Encouraging Safe Driving Behavior (1)-, IEICE Transactions on Information and Systems Vol.E101-D, No.5, pp.1401-1409, 2018.
- 2) Fraser, N.M., Gilbert, G.N. : Simulating speech systems, Computer Speech and Language, Vol.5, No.1, pp.81-99, 1991.

## 第7章 チャットボット型行動変更提案システムの効果検証

### 7.1 はじめに

本章では、D.に関連し、チャットボット型行動変更提案システムの開発に関連する成果をまとめる。ドライビングシミュレータ（DS）実験を通じた評価と、山陽自動車道で実施した実走実験による評価についてとりまとめる。

### 7.2 DS実験の実施と評価

本節においては、Proactive 型交通マネジメント方策の1つとして、走行中の運転手へドライバーエージェントから行動変更に関する介入があった場合の影響に関して、ドライビングシミュレータ実験を通じて評価する。具体的には、高速道路走行中のドライバーに対して、チャットボット型のロボットから、サービスエリアへの誘導を促す情報を提供した際の挙動分析を行う。単に情報提供に対して従うのではなく、交通密度や情報提供のタイミング、道路線形を要因として、ドライバーが情報提供に対して、安全な行動をとった場合に報酬が与えられることを企画したDS実験を実施する。本実験で使用するチャットボットは、シャープ株式会社のロボット製品「RoBoHoN」（以下ロボホン）であり、ロボホンが発話し、ドライバーには情報提供を行う。

#### (1) DS実験の実験環境

DS 実験は、株式会社フォーラムエイトの UC-win/road (ver13.0) を用いて、仮想的な VR 道路空間を構築する。実験で用いるシミュレーション環境は、2 車線の高速道路を想定したコースで、高速道路上には複数の流出部を設けている。実験では、VR シミュレーション上に存在する車両の速度は、実験被験者車両を除き、100km/h を保ち走行するように設定している。実験被験者の走行速度は実社会での自動車の運転同様に、アクセル、ブレーキ操作により変化する（図-7.1）。

#### (2) DS実験の実施手順

実験での具体的な流れについては以下に記す5つのステップからなる。

1. 実験開始時に被験者は高速道路の右車線を走行している。
2. 被験者はロボホンからの情報提供があったときに SA に入るか入らないかを自らで判断する。
3. ロボホンからの指示への応答や走行の安全性を考慮して、走行にポイントが与えられる。
4. 道路形状や交通量、情報提供のタイミングが異なる環境下で、合計 16 回走行を実施する（各被験者は 3 要因 2 水準からなる 8 通りのシナリオを前半後半に 8 回ずつランダムな順番で合計 16 回走行する。1 回あたりの走行時間は 5～6 分程度である）。
5. 被験者は全 16 回の走行終了時の合計ポイントに応じて、景品が得られる。

実験では、道路形状、交通量、情報提供タイミングの3要因に関して、それぞれ2水準設定しており、全部で8シナリオとなる。実験のイメージと各水準とシナリオの関係を示したものが図-7.2である。

各要因の水準について説明する。道路形状はロボホンの指示が与えられたときの道路形状を指し、直線およびカーブの道路形状である。交通量は左車線（走行車線）の交通量が疎であるか密であるかを指し、疎であるときは左車線の車間距離が 50m、疎であるときは左車線の車間距離が 35m としている。シミュレータ実験という特性上、車間距離は狭く設定している。情報提供タイミングとして、ロボホンが情報提供を行うタイミングが早いか遅いかを示すものであり、早いタイミングは SA への分岐部から前方 1km 時点で情報提供を行い、遅いタイミングは SA への分岐部から前方 500m 時点でドライバーへ情報提

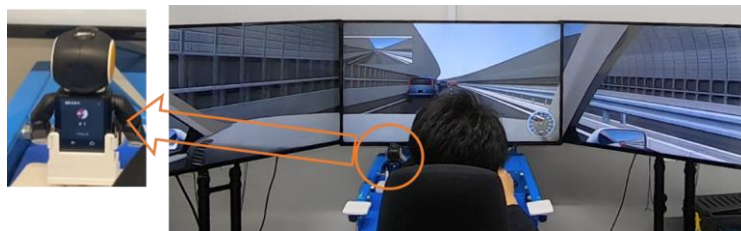


図-7.1 DS 実験の様子

供が行われる。

各回の走行で被験者が獲得できるポイントは、ロボホンからの情報提供に対して安全に従いSAに入ることができた場合は5点、ロボホンからの情報提供に対して従ったが走行に危険が生じた場合は1点、ロボホンからの情報提供に対して指示に従わずに車線変更しなかった場合は3点を与えた。ここで、ロボホンからの情報提供に従った際の安全か危険かの判断基準については、車線変更によって他の車両に衝突したかどうか、適切な区間でSAに入流入できたかどうかといった点から判断している。安全か危険かの判断基準を甘めに設定している理由としては、被験者がポイント獲得のために危険であるにもかかわらず行動変更するか否かを分析することを意図したものであり、シミュレータから得られた運転挙動データから危険性指標を用いて分析を行うためである。

被験者が最終的に得られる景品は、事前に複数の景品を用意していることを伝えるが実際の景品内容はわからない状態として、獲得するポイントに応じて、ランクが高くなるほど、最終的に景品の選択肢が増えることを伝えた。被験者はランクが高くなるほど、自分の好みの景品が得られる確率が高まるため、行動変更する動機が高くなるように設計した。

被験者への事前教示内容としては、実験開始前に「実際に走行しているつもりで安全に配慮して運転をしてください」というアナウンスと、毎回の走行前に獲得ポイントの配点、走行前に現在の獲得ポイントと現在のランク、残りの走行回数、次のランクまでに必要な点数を口頭で説明しており、被験者間で教示に差が生じないようにマニュアルを用いて、実験補助者が説明した。

実験終了時アンケート調査も行い、被験者の属性や実験時に意識したことについて回答を得ている。アンケート項目は、被験者の基本特性に関して5問、高速道路でのゲーミフィケーションに関して1問、実験中に意識したことについて2問とした。

### (3) DS実験の実施と被験者

被験者は週1回以上自動車を運転し、月1回以上高速道路を運転すること、被験者の年代は20代から50代までの4つの年代各9名の36名、性別の偏りはないことを条件に調査会社を通じて募集し、2022年10月13日～2022年11月6日の期間に名古屋大学にてDS実験を実施した。

### (4) DS実験により得られたデータの分析方法

実験により得られたデータ分析について、設定した3要因（道路形状・交通量・情報提供のタイミング）・2水準と実験で獲得したポイントについて分散分析により検証する。次に、実験の走行について情報提供に対する応答を被説明変数とする二項プロビットモデルを用いて情報提供への応答分析を行う。最後に、走行の危険性についてコンフリクト指標を

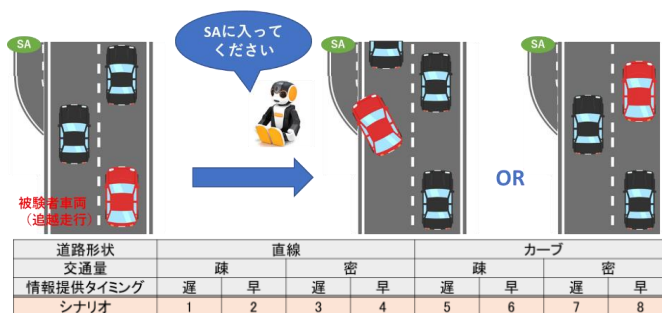


図-7.2 DS実験のイメージと要因・水準の関係

表-7.1 2次の交互作用の検定結果とモデル適合度

変数名	SS	MS	MSe	偏η <sup>2</sup>	95%CI	F値	df1	df2	p値
道路形状	2.507	2.507	2.129	.002	.000, .016	1.178	1	568	.278
交通量	112.007	112.007	2.129	.085	.046, .129	52.615	1	568	.000 **
情報提供タイミング	0.562	0.562	2.129	.000	.000, .010	0.264	1	568	.607
形状*交通量	3.674	3.674	2.129	.003	.000, .018	1.726	1	568	.189
形状*情報提供タイミング	0.007	0.007	2.129	.000	.000, .002	0.003	1	568	.954
交通量*情報提供タイミング	4.340	4.340	2.129	.004	.000, .020	2.039	1	568	.154
形状*交通量*情報提供タイミング	10.562	10.562	2.129	.009	.000, .030	4.962	1	568	.026 *

表-7.2 2次の交互作用の検定結果とモデル適合度

	SS	df	MS	p値
モデル	133.660	7	19.094	.000
誤差	1209.167	568	2.129	
全体	1342.826	575		

表-7.3 単純交互作用の検定結果

	変数名	SS	MS	偏η <sup>2</sup>	F値
C=遅	A*B	13.347	13.347	.022	6.270
C=早	A*B	0.889	0.889	.001	0.418
B=疎	A*C	5.556	5.556	.009	2.610
B=密	A*C	5.014	5.014	.008	2.355
A=直線	B*C	14.222	14.222	.023	6.681
A=カーブ	B*C	0.681	0.681	.001	0.320

A=道路形状, B=交通量, C=情報提供

用いた分析を行い情報提供による安全性を評価する。

### (5) 要因間の影響度に関する分散分析

実験では、道路形状、交通量、情報提供のタイミングの3要因において、各2水準からなる8通りのシナリオを設定した。ここでは、獲得ポイントと要因間の影響度を把握する。2次の交互作用の検定結果およびモデル適合度を表-7.1, 7.2に示す。これらより、(道路)形状\*交通量\*情報提供タイミングの交互作用が有意であることが確認できる。次に道路形状\*交通量\*情報提供タイミングの交互作用について単純交互作用の検定の結果を表-7.3に示す。単純交互作用とは、他の要因の一つの水準に限った場合の交互作用のことである。情報提供タイミングが遅い水準での道路形状\*交通量が5%で有意であり、道路形状が直線である水準の交通量\*情報提供タイミングが1%有意となった。

続いて、道路形状\*交通量\*情報提供タイミングの交互作用についての単純・単純主効果の検定結果を示す。表-7.4より、交通量が密で情報提供タイミングが遅い時における道路形状の効果 ( $F(1, 568)=5.219$ ,  $p=0.023$ ) が5%有意であった。また、道路形状が直線で情報提供タイミングが早い時における交通量の効果 ( $F(1, 568)=23.018$ ,  $p<0.001$ ) が1%有意であった。また、道路形状がカーブで情報提供タイミングが遅い時における交通量



の 効 果 (  $F(1, 568) = 21.934$ ,  $p < 0.001$ ) が 1% 有意であった。次に道路形状がカーブで情報提供タイミングが早い時における交通量の効果 ( $F(1, 568) = 15.084$ ,  $p < 0.001$ ) が 1% 有意であった。最後に道路形状が直線で交通量が密の時における情報提供タイミングの効果 ( $F(1, 568) = 4.228$ ,  $p = 0.040$ ) が 5% 有意であった。

最後に、シナリオ別の平均獲得ポイントを確認する。交通量が密の時において獲得ポイントが低く、危険な走行が多く生じていたことが考えられる。情報提供のタイミングについては、遅いときに危険性が高まると予想されたが、道路形状が直線の時を見ると、早い時よりも遅いときに獲得ポイントが高くなっている。これは、情報提供のタイミングが遅いことで危険を冒さず、情報提供に従わない判断をした被験者が多くいたことが考えられる。3 要因分散分析の結果からは交通量に関する要因が比較的支配的な要因であることが明らかになった。

#### (6) 情報提供への応答分析

実験では、被験者は毎回の走行でロボホンからの「SA に入ってください」という情報提供に対して SA に入るか否かを判断し、その指示への応答と走行の安全を考慮してポイントが与えられた。ここでは、ロボホンからの情報提供への応答について「指示に従う」か「指示に従わないか」を被説明変数とした二項プロビットモデルを用いて、ポイント獲得ができるといった情報提供がなされた状況下で、ドライバーが高ポイントを獲得しようと指示に従うのかどうかに関する行動変更可能性を検証する。

二項プロビットモデルの推定結果を表-7.5 に示す。性別については有意な差があり、男性であるときに推定値が正であることから女性よりも男性のほうが指示に従う傾向があることがわかる。年齢については有意な差はみられなかった。次に、運転頻度については有意に差があり推定値がどちらとも負を示している。つまり運転頻度が多いほど指示に従わない傾向がある。走行回数については、実験で実施した計 16 回の走行のうち 4 分割している。1 回目から 4 回目の走行を基準とするとその後の走行はいずれも有意であり、走行回数が進むにつれて指示に従っていない傾向がある。反対に走行の序盤はほとんどの被験者が指示に従うことが示されている。

要因に関しては、情報提供タイミングと交通量について有意に差があった。どちらも推定値が負であ

表-7.4 単純・単純主効果の検定結果

	変数名	SS	MS	偏 $\eta^2$	F 値	p 値
B=疎、C=遅	A	3.361	3.361	.011	1.579	.209
B=疎、C=早	A	2.250	2.250	.007	1.057	.304
B=密、C=遅	A	11.111	11.111	.035	5.219	.023 *
B=密、C=早	A	0.028	0.028	.000	0.013	.909
A=直、C=遅	B	2.778	2.778	.009	1.305	.254
A=直、C=早	B	49.000	49.000	.139	23.018	.000 **
A=カーブ、C=遅	B	46.694	46.694	.134	21.934	.000 **
A=カーブ、C=早	B	32.111	32.111	.096	15.084	.000 **
A=直、B=密	C	9.000	9.000	.029	4.228	.040 *
A=直、B=疎	C	5.444	5.444	.018	2.558	.110
A=カーブ、B=密	C	0.028	0.028	.000	0.013	.909
A=カーブ、B=疎	C	1.000	1.000	.003	0.470	.493

A=道路形状, B=交通量, C=情報提供タイミング

表-7.5 二項プロビットモデルによる推定結果

		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>  z )
(Intercept)		1.75	0.296	5.921	0 ***
性別(女性=0)	男性	0.358	0.177	-2.024	0.043 *
年齢	30代	0.218	0.23	0.948	0.343
(20代=0)	40代	0.333	0.255	1.305	0.192
	50代	0.208	0.242	0.859	0.39
運転頻度	毎日	-0.498	0.244	-2.041	0.041 *
(週1回以下=0)	週2-5回	-0.42	0.238	-1.767	0.077 .
高速道路利用頻度	月に2.3回以上	0.113	0.153	0.739	0.46
(2か月に1回以下=0)					
ゲーム経験(なし=0)	あり	0.118	0.163	0.725	0.469
DS走行回数	5-8回目	-0.554	0.274	-2.023	0.043 *
(1-4回=0)	9-12回目	-1.232	0.432	-2.85	0.004 **
	13-16回目	-1.72	0.61	-2.822	0.005 **
道路形状(直線=0)	カーブ	0.104	0.145	0.716	0.474
情報提供タイミング	遅い	-0.454	0.149	-3.046	0.002 **
(早い=0)					
交通量(疎=0)	密	-0.541	0.15	-3.61	0 ***
累積獲得ポイント		0.047	0.013	3.671	0 ***
安全に従うことで次のランク到達場面		-0.207	0.293	-0.706	0.48
指示に従わなくても次のランク到達場面		-0.136	0.289	-0.473	0.636
自身の走行の失敗確率		-1.516	0.322	-4.706	0 ***

Significance level: \* 10% \*\* 5% \*\*\* 1%

ることから、情報提供のタイミングが遅い場合や交通量が密であったときに指示に従わない傾向があることがわかる。この結果は被験者が危険な状況を判断し、安全のために指示に従わない判断をしたことと考えることができる。

累積獲得ポイントの推定値が正に有意であることから、累積獲得ポイントが高い被験者ほど、指示に従う傾向がある。これは累積獲得ポイントが高い被験者ほど、さらにポイントを獲得しようと指示に従うことを示している。自身の走行の失敗確率についての推定値が有意に負であることから、これまでの走行で失敗した回数が多い被験者ほど指示に従わない傾向があり、被験者が自身の走行技術を鑑みて危険を及ぼさないように判断をしたものと考えられる。

#### (6) 情報提供への運転挙動の安全性分析

今回の実験での安全か危険かの判断基準は、車線変更によって他の車両に衝突したかどうか、適切な区間で SA に流入できたかどうかといった点のみから判断をしており、実際の挙動との乖離も想定される。ここでは、DS 実験により実際に得られた挙動デ



ータを用いて、安全かつ指示に従い高いポイントを獲得した走行において、どの程度危険性が生じていたのかに関してコンフリクト指標を用いて分析する。

分析で用いるコンフリクト指標は、PICUD (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration) である。PICUD 指標は、式(7.3)で示され、前方車両が急減速した際、後方車両が反応遅れを伴って急減速をし、完全に停止した状態での車間距離を表したものである。通常、PICUD 指標が 0 以下であるときは衝突を意味するものであり、急減速が発生した場合に両車両が衝突する潜在危険性が高いことを示している。一方本実験ではシミュレータ上で設計の都合上、実際の車間距離よりも小さい設定としている。そのため、0 以下の数値が多く出現する。その点を考慮して、本分析では PICUD 指標を相対的に捉え、より小さな数値であれば危険な状態であるとの認識のもとに分析する。なお、多くの被験者が左車線流入時に速度を落としていたことを考慮し、衝突危険性の高い後続車両との PICUD を算出している。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + S_0 - \left( V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (7.1)$$

ただし、

- $V_1$  : 先行車(被験者車両)の減速開始時の速度
- $V_2$  : 先行車の減速開始時の後続車の速度
- $S_0$  : 先行車急減速時の車間距離
- $\Delta t$  : 反応遅れ時間(s)：本研究では1.0sで設定
- $\alpha$  : 減速時加速度(m/s<sup>2</sup>)：本研究では-2.2m/s<sup>2</sup>で仮定

である。

PICUD 指標の割合を示した結果が図-7.3 である。凡例は本実験でのシミュレータ上における PICUD 指標の危険性について示したものである。PICUD 値がマイナスに大きいほど危険性が高い指標である。ポイント獲得時に、危険であると判定された走行と安全であると判断された走行における比較からは、危険であると判定された走行は安全であると判定された走行よりも PICUD 指標がマイナスに大きい値の占める割合が大きいことがわかる。一方で、安全であると判定された走行の PICUD 指標もマイナスに大きい値の占める割合が大きく、実際には危険性が生じていたことが示された。

次に安全であると判定された走行に対して、どのような形で危険性が生じたのかについて分析を行う。図-7.4 は安全であると判定された走行における、実験の交通環境要因である交通量が疎の時と密の時の PICUD 指標の割合を示したものである。

交通量が疎の時よりも密の時に PICUD 指標にマイナスに大きい値の占める割合が大きい。つまり、安全であると判定された走行において、交通量が大きい(密)であるときに、ロボホンからの情報提供に従った走行は危険性が生じる可能性が高いことが示されている。次に安全であると判定された走行における車線変更時点の他車両との相対速度を PICUD 指標別に分布したものが図-7.5 である。

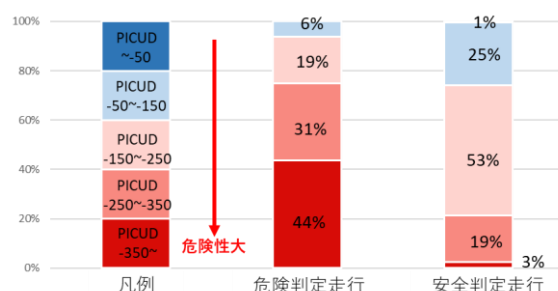


図-7.3 危険と安全の判定走行の PICUD 指標割合

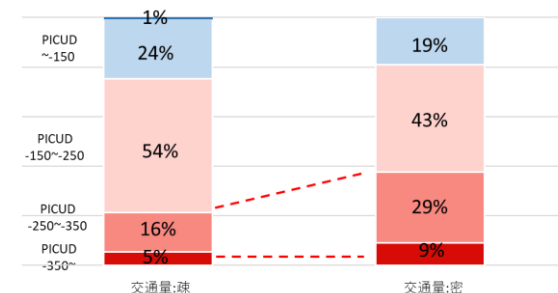


図-7.4 安全判定走行時の交通量別 PICUD 指標割合

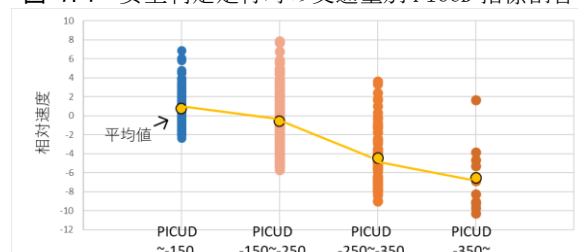


図-7.5 安全判定走行における PICUD 指標別の相対速度分布

PICUD 指標がマイナスに大きくなるにつれて、相対速度が小さくなっていることがわかる。それぞれの平均値を確認すると、PICUD 値が-150 以上の群の相対速度の平均値は 0.78、PICUD 値が-150 未満-250 以上の群の相対速度の平均値は-0.58、PICUD 値が-250 未満-350 以上の群の相対速度の平均値は-4.47、PICUD 値が-350 未満群の相対速度の平均値は-6.54 であった。以上より、安全であると判定された走行において、車線変更のために速度を大幅に落とした走行は危険性が生じる可能性が高いことが示された。

#### (7) DS実験を通じて得られた知見と課題

ドライビングシミュレータ実験では、ロボホンからの情報提供による行動変更の可能性とそれによって生じる走行の危険性について分析を行った。安全性について重視する被験者もあり、自身の走行技術や交通環境が厳しい状況では指示に従わずに行動変更しなくなる傾向も明らかとなった。一方で、走行の危険性について運転挙動データを用いて分析したところ、指示に従い、高いポイントを獲得した走行においても高い危険性が生じていたことがわかった。特に交通量が密であるような交通状況下、自身の車両速度が周辺車両速度より大幅に減速された状況下において危険性が高い。この結果は、ポイント獲得をするために危険な状況においても、情報提供に従

うことを優先し、その結果として安全性が損なわれた走行が生じていることを示唆していた。つまり、情報提供によって行動変更が促されることが確認されたが、それに伴う危険性も生じており、ゲーム性を持たせることで楽しさや報酬の効果から、安全性よりもゲーム性に意識を置く被験者も存在し、走行に危険も生じる可能性も生じる。実際に高速道路での運用を考える場合（情報提供を行う際）には、周辺の車両状況やドライバーの車両速度を考慮することが必要なのはいうまでもない。

### 7.3 実走実験の実施と評価

本節では、一般道と比較して速度帯や道路線形、勾配など運転環境の厳しい高速道路を対象とした場合でも、エージェント介入による効果を検証する。なお、本研究は岐阜大学大学院医学系研究科医学研究等倫理審査委員会にて審査・承認され、工学研究科長の許可を得た上で実施している。

#### (1) 実験の概要

**実験期間**：2023年9月6日（水）～9月29日（金）の平日を対象として、各日①9:00～②13:30～の各1名、1日あたり2名を対象として実験を行った。

**実験区間**：本研究における実験区間はICへの流入が複雑でない山陽自動車道の広島IC～西条ICの約31.4kmを選定した（図-7.6）。この区間は比較的多くの交通量を有しており、渋滞および交通事故の観点からも道路管理者である西日本高速道路株式会社は多くの対策を実施しており、実験に伴い、道路管理者の協力を取り付けている。なお、当区間は、広島東ICと志和ICの間に奥屋パーキングエリア（以下、PAと呼称）が存在し、介入の一部でPAについての情報提供を行っているが、実験走行中にPAに立ち寄ることは無い。本区間の道路線形は、上り線は上り坂、下り線は下り坂が比較的多い構造になっている。以下より本報告書内では、上り線と下り線をそれぞれ、「東行き」、「西行き」と表現する。実験協力者は当該区間を上下線各2回、2往復し、1走行ごとにアンケートへの回答を行い、休憩を取る。協力者1名あたり3時間程度の実験を行う。

**実験協力者概要**：本実験では、調査会社を通じて以下の条件で24名の被験者を選定した。

- ・実験趣旨に賛同できる協力的な方
- ・日常的（週1回以上）自動車の運転をしており、高速道路の運転頻度もある（月1回程度）方
- ・指定した実験車両を運転可能な方
- ・年齢20～64歳
- ・その他：裸眼もしくはコンタクトによる視力矯正者（アイマーカーレコーダー装着のため）
- ・対象区間内の指定したIC（NEXCO西日本事務所）まで直接お越しいただける方

実験協力者は実験区間である広島市在住の方が22名、他に呉市・廿日市市が1名ずつである。性別については、女性11名、男性13名と可能な限り男女均等とした。なお、実験走行前には、被験者に対して実



図-7.6 実験区間の地図



図-7.7 エージェント設置（運転席から）

表-7.6 カテゴリー別働きかけ回数

走行回数	A 案内	B 注意喚起	C その他	合計働きかけ回数
1	3	5	2	10
2	3	10	5	18
3	3	10	5	18
4	3	12	12	27

験概要の説明、ならびに実際のエージェントからの発話や動きの確認を行っている。

#### (2) 実験車両内の環境

ドライバーへの提示は、エージェントシステムを通じて行う。エージェントシステムは、エージェント、回転台、スマートフォンで構成されており、エージェントを回転台に乗せたものをダッシュボード上に設置する。ダッシュボード上に設置した小型ロボットとロボット回転台座を用いて介入を行う。実験車両に搭載したエージェントは、SHARP 製 RoBoHoN®を使用した。エージェントの設置位置については、中央からやや助手席よりの位置に固定している（図-7.7）。設置位置に関しては、画像表示装置ガイドラインに即して運転行動の邪魔にならない位置であることを考慮した。また、ロボットの顔がドライバーに向いている場合、ドライバーが注視してしまうことが危惧される。そのため、走行中は、ロボットの顔は前方を向くように設定している。

後部座席には運転席後方に調査員1名が同乗し、助手席後方には実験機器を搭載して実験を行った。実験車両はトヨタ自動車 COROLLA TOURING である。

#### (3) 働きかけの概要

エージェントからの働きかけの内容は、道路管理者である西日本高速道路株式会社と協議を行い、A. 案内、B. 注意喚起、C. その他の3カテゴリーに分類し設定した。

働きかけカテゴリーと働きかけ回数は走行毎に変化させており、その影響を分析する。カテゴリーごとの回数を表-7.6に示す。1走目は、エージェント及び走行に対しての慣れを考慮し、最も少ない働きかけ回数である、10回を設定している。2走目及び3走目に関しては、走行方向が異なるため、同数（18回）の介入、最終走行の4走目では、働きかけ回数の増加に対する影響を分析するために、27回と大幅

に増加させた働きかけを行う。この走行においては、合計働きかけ回数増加に付随し、注意喚起及びその他のカテゴリーも増加させている。

介入の地点は、現地での試走を通じて決定した。主に道路上の標識や、道路環境を考慮したうえで設定し、それらに対応した働きかけが行われる。働きかけの内容の例として2走目の内容を表-7.7に記載する。同地点においての介入の有無や、連続的な速度注意を設け、それらに対するドライバーの挙動、主観調査を分析する。さらに、PA 情報について、どのような情報がドライバーに対して魅力的に感じるのかを調査する。

#### (4) 取得データと分析手法

##### 視行動データ

視行動データは運転中の注視点や視線の移動を把握する目的で取得し、主にエージェント設置及び介入の安全性を評価する。さらに、介入内容に対するドライバーの視線挙動を調査することで、エージェントの働きかけ内容に即した視線移動をしているか否かを評価する。視行動は、眼鏡型のアイトラッカーを用いて収集する。使用したアイトラッカーは、約 1(ms)毎の視線計測結果を算出することができる。

注視点はドライバーからの視界に対して、図-7.8のように領域を定義し、領域内への注視時間、注視回数を算出する。領域に関しては、サイドミラー、速度メータ、バックミラー、エージェント、ナビゲーション、右上、左上、右下、左下、前方の10個の項目を設定し、主にエージェント、カーナビゲーション、速度メータへの注視について分析および考察する。なお、注視点データを分析するにあたって、2名の被験者は走行中に、アイトラッカー装着位置の不具合が生じたため、注視点分析は、その2名を除いた22名での分析を行う。

##### CAN データ

エージェント介入に際する働きかけとして、速度注意や合流注意の情報提供をしている。これらの情報に対して、働きかけに即した運転挙動をとるのか否か、危険な運転挙動が無いかどうかを把握するために収集している。運転席ハンドル下部の OBD に機器を設置し、速度、加速度、時刻、緯度・経度、ハンドル操舵角やアクセル・ブレーキ強度を計測する。

##### アンケート調査データ

被験者自身が主観的な評価をするためのアンケート調査を行った。エージェント介入の際の発話内容や介入回数への評価と運転中の注意点を調査することで、被験者の意向を分析する。さらに、本研究では搭載しなかった機能に対する要望を尋ねることにより、エージェントの魅力や、使用意向を高めるための評価資料とすることを目的とする。

5件法の設問14問と自由回答1問を各走行後に計4回、さらに、5件法の設問9問と自由回答の設問1問を最終走行後に1回の計5回紙媒体でのアンケートを行った。また、最終走行後には被験者の運転特性に関しても調査している。エージェント設置・介入による運転への妨げの有無や、エージェントの魅力度・

表-7.7 働きかけの内容 (2 走目)

No.	働きかけ内容
1	広島インターチェンジまで運転してね
2	速度は大丈夫かな
3	トンネルが終わったね
4	速度に注意してね 介入無し
5	トンネルでは特に速度に注意してね
6	制限速度は何キロかな？ 介入無し 介入無し
7	パーキングエリアでもカーブグッズを貰えるよ
8	合流地点だね
9	パーキングエリアのラーメンがリニューアルしたよ 介入無し
10	トンネルでは特に車間距離を広くとってね 介入無し 介入無し
11	下り坂では速度に注意してね 介入無し 介入無し
12	このあたりは下り坂が続くね 介入無し 介入無し
13	合流地点があるね
14	白線の間隔は決まっているらしいよ
15	速度の上昇に注意してね
16	広島インターチェンジまであと2キロだね 介入無し
17	広島インターチェンジの出口だね
18	運転お疲れ様。駐車場まで戻ってね



図-7.8 分析領域の設定

好感度などについて主観評価を分析する。

#### (5) エージェントの安全性評価

視行動データにおける安全性評価をするため、以下の仮説を掲定し、検証する。

- ① エージェントに対する注視時間及び注視回数はカーナビと比較して少ない。
- ② エージェントに対する1度の注視における注視時間は2秒未満である。
- ③ 働きかけ内容・介入回数は、エージェントに対する注視行動に影響を及ぼさない。

アイトラッカーより抽出した注視点データから、エージェント設置の安全性を評価する。具体的には、運転席からの視界を領域ごとに区分し、それぞれの領域への視行動について分析、考察する。主に、エージェント及びカーナビゲーションの領域について調査する。なお、走行中のカーナビゲーションの表示については、画面上に地図を表示させ、音声などによる情報提供を行わないように設定している。



ここで、視行動については、領域内の注視時間を実験区間の注視時間で除した「注視比率」、領域内への注視の合計回数を算出した「注視回数」、領域内への合計注視時間を注視回数で除した、1度の注視あたりの注視時間を表す「平均注視時間」の3点から評価する。

領域内への注視をカーナビゲーションとエージェントで比較、統計検定した結果を表-7.8に示す。注視比率、平均注視時間において、カーナビゲーションと比較してエージェントに対する注視の低さを確認できた。さらに、注視回数について、相対的に、エージェントに対する注視回数が低いことが明らかになった。したがって、【仮説①：エージェントに対する注視時間及び注視回数は、カーナビゲーションと比較して少ない。】は支持された。

また、1度あたりの注視におけるエージェントに対する平均注視時間の平均値は0.149(s)、最大値は0.321(s)であった。この結果について、最大値は2(s)に比べて非常に低い注視時間を示していることから、エージェントの安全性を確認することができる。したがって、【仮説②：エージェントに対する1度の注視における注視時間は2秒未満である。】は支持され、ロボット形態のエージェントによる介入が、運転阻害になる可能性が低いことが示唆された。

働きかけ内容や介入回数の多寡が、エージェントの注視への影響を及ぼすかどうかを評価するため、エージェントに対する注視について、走行回数毎の平均値を比較し、走行毎のばらつきを調査した。注視比率、注視回数、平均注視時間のいずれにおいても1-2走目間、2-3走目間、3-4走目間と、東行き(1-3走目間)、西行き(2-4走目間)で有意な差が無いことが示された。情報提供内容や、介入回数を変化させた条件においても、走行毎の差がみられなかったことから、エージェント注視への影響が低いことが示された。この結果より、【仮説③：働きかけ内容・介入回数は、エージェントに対する注視行動に影響を及ぼさない。】は支持された。

各走行後および最終走行後のアンケートにおいて、被験者のエージェントに対する評価を尋ねた。「ロボホンの発話により、危険を感じたことはありましたか」の設問に対しての調査結果を図-7.9に示す。「あった」と回答した人の数は1走目、2走目で1名ずつ存在した。1走目において「あった」と回答した被験者は、自由記述において「注意喚起のアナウンスは効果的と感じた一方で、煩わしく感じる情報もあった」と回答しており、最終走行後のエージェントに対する印象調査において、エージェントへの印象が他の被験者に比べて比較的低い評価である。特に、エージェントが働きかけをすることについて「あまり魅力を感じない」と回答し、雑談に対する評価についても「魅力を感じない」と答えている。

2走目において「あった」4走目において「ややあ

表-7.8 検定結果

	エージェント		カーナビ		t 値(p-値)
	M	SD	M	SD	
注視比率	0.19	0.24	0.32	0.47	0.01*
平均注視時間	0.15	0.06	0.17	0.08	0.03*
注視回数	12.34	14.44	16.82	21.19	0.06**

\*p<0.05, \*\*p<0.10

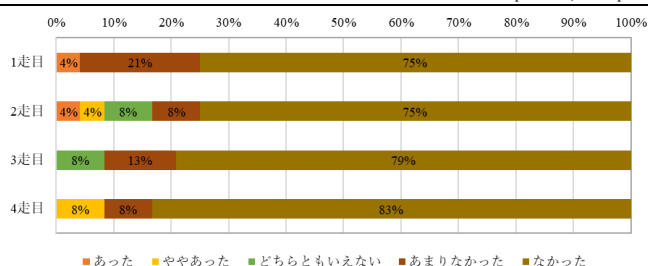


図-7.9 危険な走行の有無についての調査結果(n=24)

った」と回答した被験者は、エージェントの印象に対しては非常に高評価であった。2・4走目において介入回数を増加させたことや、西行き(下り)の下り坂である道路線形が影響している可能性がある。

#### (6) エージェントに関する受容性評価

運転時のエージェント介入によって、安全運転への意識向上や、運転行動改善を促すには、「ロボット形態」のエージェント及びエージェントによる情報提供内容が、ドライバーに受け入れやすいものである必要がある。そこで本研究では、エージェントに対する好ましさの評価と、受け入れやすい働きかけであったかどうかの主観評価を「エージェントの受容性評価」と位置付け分析を行った。エージェントの受容性について以下の仮説を掲げ評価する。

- ① エージェントに対する好感は走行を重ねる毎に増加する。
- ② ドライバーは、エージェントからの注意喚起を受け入れる。

各走行後のアンケートにおいて、エージェントに対して好感を持てたかどうかの質問をしている。計4回のアンケートで、「あまり持てなかった」、「持てなかった」と回答する被験者は0%であった。走行回数を重ね、エージェントと共に過ごす時間経過とともに生じた慣れや愛着が影響していると推測できる。これらの結果から、【仮説①：エージェントに対する好感は走行を重ねる毎に増加する。】は支持された。

働きかけに対する魅力度調査では、魅力的だと思う、「やや思う」が88%(n=21)を占めた。働きかけ内容を3カテゴリー(注意喚起・その他・案内)に分類しており、カテゴリー別の魅力度について調査した。運転中の注意喚起については全被験者が魅力を感じ、「感じる」、「やや感じる」と回答していた。したがって、【仮説②：ドライバーは、エージェントからの注意喚起を受け入れる】は支持された。

#### (7) 視行動への影響調査

以下の3つの仮説を掲げ検証する。

- ① 注意喚起により、指定した標識や看板への視線誘導を増加させる。



- ② エージェント体験回数の増加に伴い、介入の運転行動への影響が大きくなる。
- ③ PA についての具体的な情報提供は、PA への立ち寄りの動機付けになる。

同地点において、走行毎に「介入あり」と「介入なし」を設け、ドライバーの挙動を比較し、エージェント介入による視行動の変化を分析する。注意喚起に対して、標識や看板への注視を計測することによりドライバーの注意喚起内容への意識変化を見る。

分析区間は西日本高速道路株式会社から提供された資料を参考に、東行き（上り線）の事故多発区間を対象とした。区間内では、速度注意及び合流注意の計 2 回の働きかけをしているが、ここではこのうち速度注意箇所について述べる。介入に対する注視対象箇所への注視の有無を計測、考察する。KP275.7 付近に設定した「速度は大丈夫かな」の介入に関して考察する。1 走目では「介入なし」、3 走目では「介入あり」の設定をした。対象注視物は携帯型表示板と速度標識に加え、速度メータへの注視について注視の有無を評価する（図-7.10）。速度標識の制限速度は 80km であり、携帯型表示板では、「車間確保」などの注意喚起を提示している。発話開始～速度標識通過の区間を注視分析対象区間と設定する。

速度注意に関して、注視の有無について調査した結果、速度メータについては、1 走目（介入なし）で 16 名、3 走目（介入あり）においては 15 名が注視をしており、注視人数は減少した。一方、携帯型表示板と速度表示板と速度標識については、注視人数の増加を示した（図-7.11）。さらに、被験者個人内で注視行動に改善がみられたかどうかを評価したところ、携帯型表示板及び速度標識について、全体 22 名のうち 3 割の被験者に改善効果がみられた（図-7.12）。合流注意でも一定の効果が見られ、仮説①：注意喚起により、指定した標識や看板への視線誘導を増加させる。】について、視行動改善の効果には個人差があるものの、介入をすることによって、ドライバーの注意意識を向上させ、視線誘導を増加させる可能性があることが示唆された。

また、仮説②について紙面の都合上結果は割愛するが、有意な差こそはみられなかったものの、平均値の増加傾向から、速度に対する意識づけの可能性があったことが示唆された。また、仮説③についても支持されている。

#### (8) 実走実験により得られた知見と課題

安全性の検証を行った結果、注視の傾向に個人差があるものの、エージェントの存在及び介入が運転を阻害する可能性が低いことが示された。アンケート調査による主観評価からは、エージェントの受容性を評価した。エージェントに対して、走行当初から好感を持っている被験者が多く存在し、エージェントと共に過ごす時間や走行回数を重ねるにつれて、好感度が上昇する傾向を示した。

また、介入により期待する影響が、運転挙動や行動変更に顕れるかどうかを調査した。注視点調査より、介入をしなかった場合と比較して、半数以上の

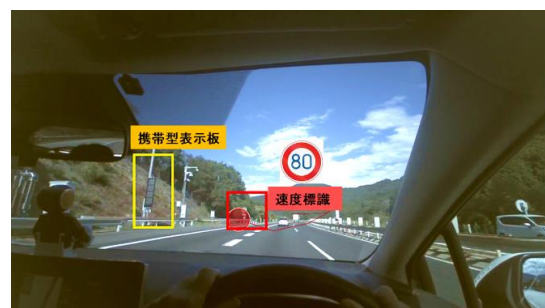


図-7.10 速度注意対象注視物

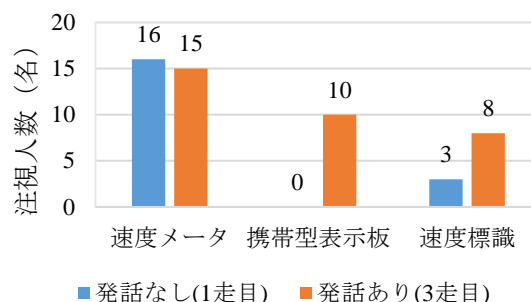


図-7.11 各対象への注視ありの人数  
(速度注意) (n=22)

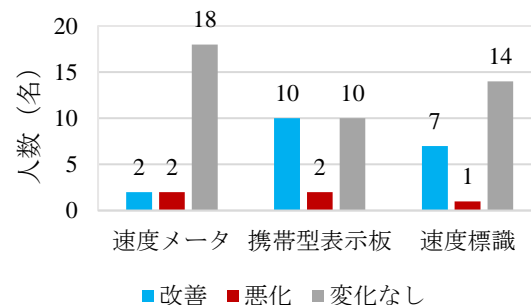


図-7.12 介入の有無における被験者毎の評価  
(速度注意) (n=22)

被験者において、介入をした場合に介入内容に即した視線移動が確認された。さらに、エージェント体験回数の増加に伴い、運転行動に対する影響が大きくなることが示唆された。加えて、PA についての情報提供について考察した。被験者にとって具体的な、特に食に関する情報が有益であると推測された。

これらの分析結果から個人差は大きくみられるものの、ドライバーエージェントの受容性の高さと安全性が確認された。さらに、ドライバーの運転挙動に影響を及ぼし、働きかけにより期待する挙動を促すことが確認され、ドライバーエージェントを活用した情報提供は交通マネジメント方策の一つの可能性として示唆されたと考える。

#### 7.4 おわりに

以上より、チャットボット型行動変更提案システムは、安全上も大きな問題なく、かつユーザーはより提案に従いやすいことが確認できた。行動支援を強化する手段として有効といえるだろう。

## 第8章 ゲーミフィケーションによる行動変更促進効果に関する検証

### 8.1 はじめに

本章においては、D.に関連し、ゲーミフィケーションについてのスマートフォンアプリによる行動変更促進効果について検証を加える。これに先立ち、4章で示したゲームデザインが期待するエッセティクスの発現が期待されるのかどうかをアンケート調査と表明選好調査にて検証する。さらには、ゲームアプリに関する実証実験の結果を分析する。

### 8.2 ゲームデザインヒューリスティクス評価

4章において、ゲームデザインヒューリスティクスにしたがってゲームをデザインした。その後アンケート調査において、プロトタイプ版のゲームの動画を閲覧してもらい、ゲームデザインヒューリスティクスに示された効果が発現するのかについてアンケート調査を実施した。ここでは、その結果を分析し確認を行う。

#### (1) 調査の概要と基礎集計結果

調査対象は分析対象路線を西日本高速道路の提供する情報サービス i-Highway でマイルート登録されているドライバーとする。ゲームを評価する方法として Tondello and Kappen<sup>1)</sup>による28のゲームデザインヒューリスティクスを用いる。まず、a)ストーリー、b)コイン収集、c)おおいもん勝ち、d)バッジ・ランキング、e)ゲーム全体の5つの項目に分類してアンケートを作成する。回答は5段階【とてもそう思う、そう思う、どちらでもない、あまりそう思わない、全くそう思わない】で設定する。また、

表-8.1 ゲーム評価調査項目とヒューリスティクスの評価

	調査項目	ヒューリスティクス
ストーリー	ゲームのストーリー（招待状）など設定が面白い	I15
コイン収集	行動変更コインを得るために行動変更（一般道への変更や出発時刻変更）をする	I8, I10
	コインを収集することは達成感を得られそう	I6, I7, C1
	コインを収集するためにいろいろな道を使う	I5, C5
	コインを獲得することはゲームのやる気を高める	E2
マジョリティゲーム	投票に参加するために行動変更（一般道への変更や出発時刻変更）をする	I8, I10
	投票でコインを獲得することは達成感を得られそう	I6, I7, C1
	よりたくさんのコインで勝負（投票）したくなる	I5
バッジ・ランキング	ランキング表示はゲームのやる気を高める	I13
	行動の変更バッジを得るために行動変更（一般道への変更や出発時刻変更）をする	I8, I10, E2
	獲得コインバッジを得るためにおおいもん勝ちでより勝負する	I5, I8, I10
	行動変更した人数で協力ボーナスコインを獲得できるのが良い	I12
	達成度表示（ゲーム世界内の快速運転レベル1～4に貢献）はやる気を高める	I16
ゲーム全体	ゲーム渋滞予測情報は魅力的である	I2
	ゲームづくり（4択の拡充）への参加は魅力的である	C6
	コインをプライスレスなサービスなどに交換できたら魅力的である	E3, E4
	ゲームにたくさんの人が参加することで「現実の」渋滞が緩和する	I1

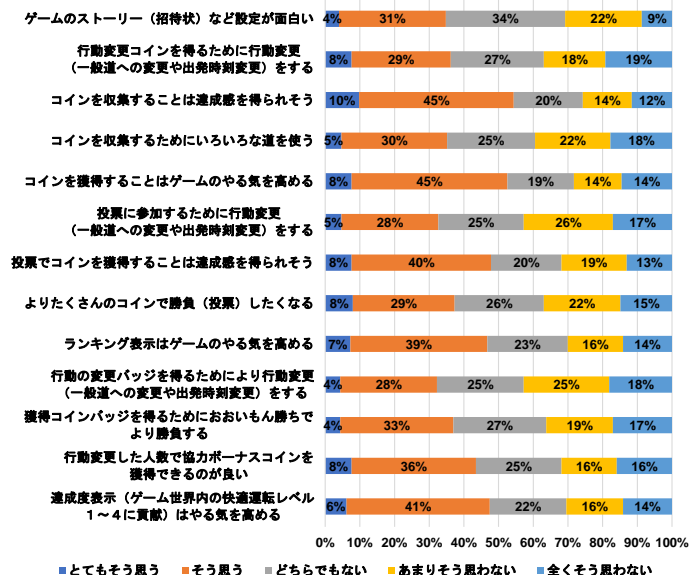


図 8.1 ゲーム要素評価の結果

現段階でゲームを実際を使用することは難しいため、参考動画の視聴を通して評価できるものに限る。表-8.1 に設問と関連するヒューリスティクスを示す。ヒューリスティクスは表-4.2 の英数字に準ずる。

基礎集計結果より、ゲームを楽しむ行為についてのハードルは低いが、実際の行動変更に関してはより困難といえる。また、ゲーム全体の評価を確認すると、渋滞予測情報が魅力的である、ゲーム参加による現実の渋滞緩和もプラス評価が多く、ゲームに参加することで周囲と関わる、貢献することは魅力的といえる（図-8.1）。

## (2) ゲーム評価の共分散構造分析

次に、因子分析を行い、ゲーム評価結果を少数の因子に要約した。結果を表-8.2に示す。F2について、因子負荷量が0.4以上のものに注目すると投票やランキング、協力ボーナスなど他者との関わりがあるメカニクスが多く含まれている。F3では、行動変更を要するものが多くプレイヤー自ら意思決定をしなければいけないメカニクスである。F4は達成感、やる気といった感情がゲームによって得られることを示している。これらについて、自己決定理論<sup>2)</sup>を参考に、F2が関係性、F3が自律性、F4が有能感の基本的心理欲求に合致していると解釈した。自己決定理論とは、動機付け理論の一つであり、これら3つの因子がドライバーの行動変更動機づけの内在化に寄与すると指摘している。つまり、ゲーミフィケーションが行動心理学の理論と整合することが確認できた。最後に、F1はゲーム全体に関するものが多く含まれており、ゲームアプリによって得られるメリットや社会貢献要素の因子であると解釈できる。これは、ゲームの内容とは別の因子であり、ゲームをプレイする動機づけとしての機能が大きいと考えられる。ゲーミフィケーションでは一般的なゲームとは異なり、社会貢献としての意識をプレイヤーに高めることも動機づけの内在化につながるのではないかと考えられる。各設問の共通性は低く、各因子の因子負荷量の二乗和、寄与率、累積寄与率を示すが

表 8.2 因子分析の結果

		設問	因子負荷量				共通性
			F1	F2	F3	F4	
ストーリー	a1	ゲームのストーリー（招待状）など設定が面白い	0.44	0.03	0.13	0.18	0.25
コイン収集	b1	行動変更コインを得るために行動変更（一般道への変更や出発時刻変更）をする	0.05	-0.16	0.71	0.31	0.64
	b2	コインを収集することは達成感を得られそう	0.19	0.10	0.07	0.61	0.42
	b3	コインを収集するためにいろいろな道を使う	-0.09	0.12	0.43	0.48	0.43
	b4	コインを獲得することはゲームのやる気を高める	0.14	0.28	-0.07	0.62	0.49
マジョリティゲーム	c1	投票に参加するために行動変更（一般道への変更や出発時刻変更）をする	0.05	0.08	0.89	-0.09	0.80
	c2	投票でコインを獲得することは達成感を得られそう	0.04	0.53	0.13	0.30	0.39
	c3	よりたくさんのコインで勝負（投票）したくなる	0.00	0.64	0.21	0.11	0.46
バッジ・ランキング	d1	ランキング表示はゲームのやる気を高める	0.08	0.74	-0.03	0.19	0.59
	d2	行動の変更バッジを得るために行動変更（一般道への変更や出発時刻変更）をする	0.04	0.31	0.73	-0.10	0.63
	d3	獲得コインバッジを得るためにおいもん勝ちでより勝負する	0.04	0.70	0.24	0.01	0.55
	d4	行動変更した人数で協力ボーナスコインを獲得できるのが良い	0.27	0.69	0.01	-0.03	0.55
	d5	達成度表示（ゲーム世界内の快速運転レベル1～4に貢献）はやる気を高める	0.20	0.75	-0.02	0.05	0.61
ゲーム全体	e1	ゲーム渋滞予測情報は魅力的である	0.84	0.04	0.01	0.02	0.71
	e2	ゲームづくり（4択の拡充）への参加は魅力的である	0.74	0.13	0.19	-0.09	0.61
	e3	コインをブライズレスなサービスなどに交換できたら魅力的である	0.86	0.01	-0.09	0.09	0.76
	e4	ゲームにたくさんの人が参加することで「現実の」渋滞が緩和する	0.76	0.10	0.05	-0.01	0.59
因子負荷量の二乗和			3.046	3.045	2.198	1.330	
寄与率			0.169	0.169	0.122	0.074	
累積寄与率			0.169	0.338	0.460	0.534	

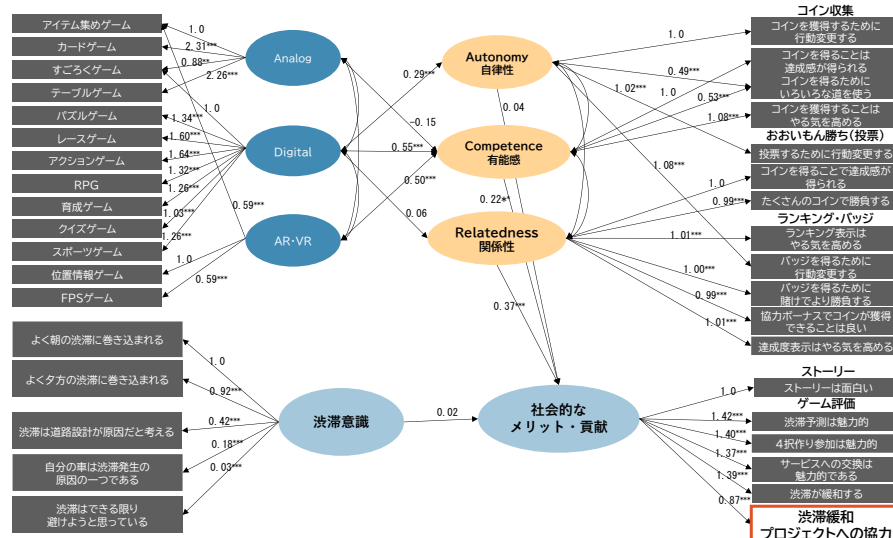


図 8.2 共分散構造分析パス図

寄与率もかなり低いいため、明確に分かれているというわけではないが、ゲーム要素と心理欲求に関連がある一端を示した。以上より、ゲームデザインヒューリスティクスに基づいたゲームデザインにより、想定した効果が発現することが確認できた。さらに、共分散構造分析を実施し、デジタルゲームの経験という変数は心理欲求との相関がみられ、デジタルゲームへの親しみがある人は基本的心理欲求を得やすい特徴があること、心理欲求の中でも有能感と関係性は社会的なメリット・貢献に影響を与えていることなどが明らかとなった（図-8.2）。



以上の分析から、ゲームデザインヒューリスティクスを用いることで効果的なゲームデザインが可能であることが確認できた。

### 8.3 スマホゲームアプリを用いた実証実験

#### (1) 実証実験の概要

本研究の対象区間を利用しているドライバーを対象に、日常生活の中で渋滞緩和とゲームアプリを利用する実証実験を実施した。ゲームのプレイから渋滞緩和ゲームの行動変更とゲーム要素の関係、プレイヤーのタイプ、展開方法について調査を行った。被験者は、本研究を実施しているプロジェクトで過去に実施したアンケート調査の回答者を中心に、広島の実験者や工業団地企業への発信、SNSの広告などからメール配信し、対象区間を日常的に利用しているドライバーを募集した。調査は実証実験1前期（10/10～11/2）と実証実験1後期（11/6～11/17）、追加実験である実証実験2（12/1～12/31）の計3回実施し、実証実験1では同一被験者についてリワード無しの前期と有りの後期で、プレイの違いを確認する。実証実験2は前期と後期に分けることはせず、リワード有りとする。リワードとしてコインを金銭と交換するのは本研究の目的とは相反するため、獲得コイン数に応じて対象区間周辺施設での体験や商品と交換できるものとする。また、調査協力による報酬はゲームのプレイに影響が生じると考え設けていない。アンケート調査やクイズ形式の説明には、SurveyMonkey®のアンケートシステムを使用した。

募集について、実証実験1では関係事業者や工業団地企業への発信、SNS、プレスリリース、メール登録者（555名）への配信で行った。過去のアンケート調査にてメールアドレスを登録している候補者が多数存在したため、主にメール配信による募集とした。実証実験1において被験者確保に難航したため、実証実験2では、より多くの参加を得るべく、チラシやサイネージ映像も用いた接点増加に務めると共に、実施期間内であれば期間途中からの参加を歓迎することとした。

また、ゲーム実験の内容を理解いただくために、ゲームの実施前にクイズ形式の説明を行い、さらには属性等の参加者アンケート調査を実施した。

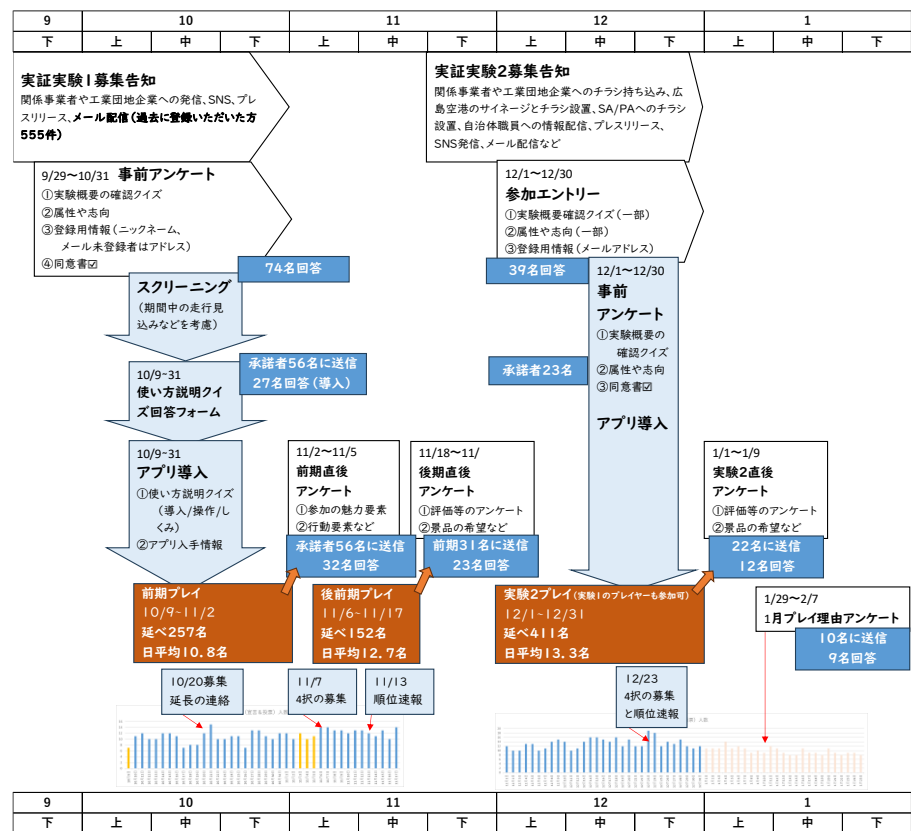


図 8.3 実証実験のプロセス

このアンケートに回答した方に対してアプリのインストール方法を教示した。

また、実証実験1では、前期終了時にゲーム評価アンケートを実施した。実証実験2では前後半を分けていないことから、実験終了時にアンケートを実施した。調査回ごとに異なる質問項目を設定している。

#### (2) 参加人数の推移

実証実験1では、被験者を募集した結果、74名から申し込みがあり、重複の回答やスクリーニングによって56名に使い方の説明とインストール情報を送信した。最終的にアプリをインストールした被験者は27名であった。当初は10/20に前期調査を終了する予定であったが、想定以上に利用者数が少なかったため、期間延長し募集を強化した。その結果、10/21には調査期間で最大の14名が参加（宣言と投票）している。1日あたりの平均参加人数は前期調査が10.8人、後期調査が12.7人であった。実証実験2では、被験者募集のプロセスを見直し、入口であるエントリーで回答すべき項目を削減した。加えて、ゲーム参加に必要なアカウント登録を、運営側ではなくユーザー自身ができるものとして、参加意向の表明からプレイ開始までの待ち時間を削減した。また、実証実験1の参加者も継続参加できるものとした。被験者を募集した結果、39名から申し込みがあり23名が承諾書内容を承諾した。その結果、1日最大19人、のべ411人、1日あたりの平均参加人数は13.3人であった。図-8.3に被験者募集から事後アンケート調査までのプロセスと回答者数を示す。



実証実験では、参加に関する移動区間と時間帯、そして端末種類があてはまらないことにより、興味を持った人の多くが参加できなかった。日ごとの実験参加者数では、運営側から順位速報やゲーム内の4択設問の募集など、メール配信による増加反応が見られ、ゲーム運営における働きかけの重要性が確認できた。また、実証実験1の参加者には、調査期間でない日にもプレイした記録が確認できており、一部の被験者はアプリで宣言・投票を習慣的に実施していることがうかがえる。

### (3) 基礎集計結果の考察

ここでは、ゲーム参加に関するアンケートの結果を示す。図8.4は、実験への参加理由についての集計結果である。これより、実験の主旨や交通渋滞の解決など社会的意義を理由に参加を決めた方が多いことがうかがえる。

図8.5は、実験終了時のアンケートで質問したゲームについての魅力への回答結果である。相対的に5,4の回答が多いのは、「協力ボーナスコインを獲得できること」、「翌日の宣言によってコインが獲得できること」などであった。さらに、図8.6はゲームに参加しなかった日の理由を示しているが、「参加を忘れていたから」、「割く時間がなかった」など、ゲーム自身の問題ではないことが多いようである。最後に、ゲームに参加しつづけたいかは、61%が肯定的(5段階評価の5と4)に回答しており(図8.7)、ゲーム要素が変更あるいは追加された場合に、よりゲームに参加しようと思うか尋ねた設問では、獲得コインを

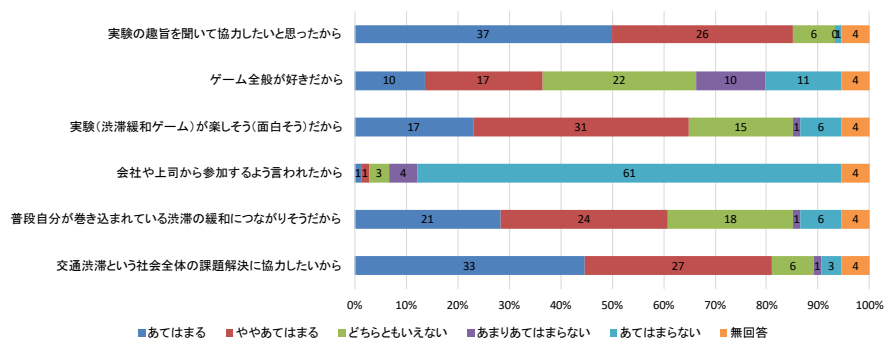


図 8.4 実験への参加理由 (N=74)

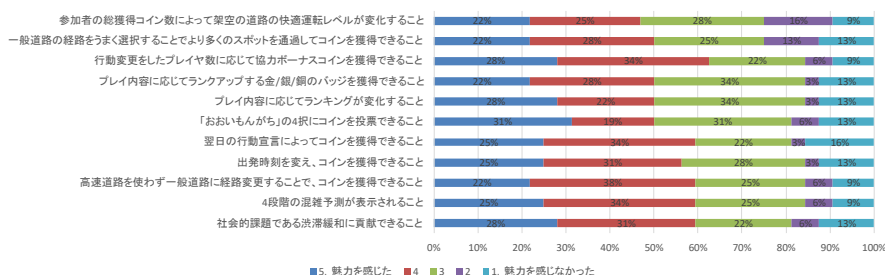


図 8.5 各ゲーム要素についての魅力 (N=32)

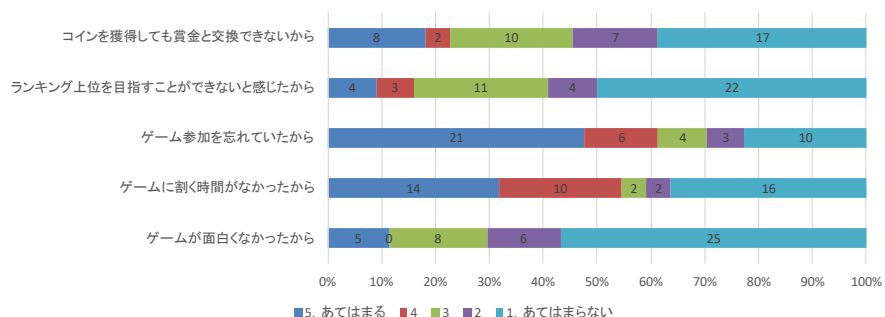


図 8.6 ゲームに参加しなかった日の理由 (N=44)

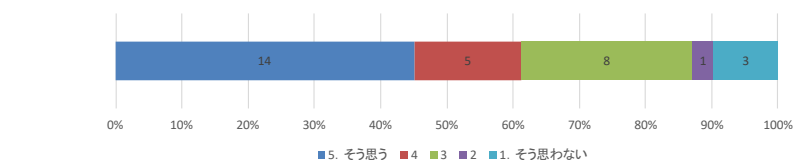


図 8.7 ゲームに参加し続けたいか (N=31)

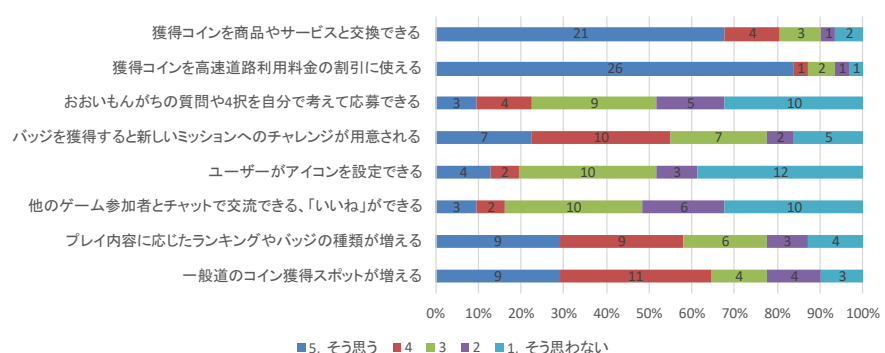


図 8.8 どのゲーム要素が変化するときよりゲームに参加しようと思うか (N=31)

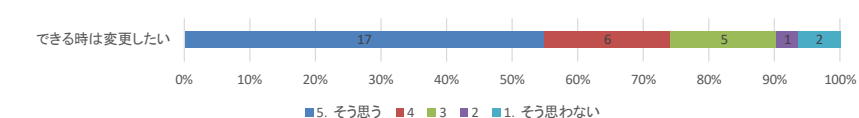


図 8.9 できる時は一般道への変更や出発時間変更をしたいか (N=31)

ゲーム外での価値に交換あるいは利用できることに肯定的に回答した合計が8割以上となった。一般道のコイン獲得スポットが増えることと、プレイ内容に応じたランキングやバッジの種類が増えることも、約6割が肯定的に回答している(図8.8)。このゲームに参加しつつけて、できる時は一般道への変更や出発時間変更をしたいかは、74%が肯定的に回答している(図8.9)。以上のことから、ゲームがもくろんだ行動変更が促進される可能性が確認できた。

#### (4) 行動変更結果の分析

被験者の細かい動きについて考察を加える。実証実験1におけるゲーム評価アンケートで完全回答が得られた20名を抽出し集計と分析を行った。図8.10に、ゲーム利用状況を示す。毎日ログインする人数が10～13名と限定的であるものの、日によっては4名程度、全体の3割程度が行動変更を行っていた。

この20名について、行動ログから分類を試みる。ここでは、表8.3で示した変数を用い、クラスター分析を実施した。距離尺度は変数がすべて数値データであり、カテゴリカルデータを含まないで、一般的なユークリッド距離を使用した。距離の測り方は分散が最小になるようにクラスターリングすることで、データ全体がバランスよく分類されやすいという特性からワード法を用いた。ここでは、4クラスターで分析を進めることとした。表8.4に、各クラスターの被験者の属性とゲーム利用傾向について示す。なお、クラスター4'は本来1名ずつのクラスター4、5について、行動が類似していたことからクラスター4'としてまとめたものである。

クラスター1は対象エリア、対象区間ともに走行する頻度が少ない。またゲームも1名がスマホゲームを利用しているのみで、ゲームをしているプレイヤーが少ない。クラスター2は利用目的が旅行先・レジャーの割合が高く、利用頻度も少ないことから非日常的な利用の被験者が多い。クラスター3は半数以上のプレイヤーがスマホゲームを利用しており、利用頻度が高いプレイヤーも一部いることが確認できる。クラスター4'は対象エリアの利用頻度が週に1回以上、主な利用時間帯は午前7時で、利用目的も通勤や業務といった日常的なものである。さらに、ゲーム機やPCでゲームをしていることから本調査のターゲットに合致する被験者であったといえる。ゲームログと属性情報から、それぞれのクラスターの特性は表8.5のように整理できる。クラスター1～3は継続的にゲームを楽しんだプレイヤーで、特に4'の2名は積極的にゲームに参加している。

実験終了後には、8.2で示した表明選好調査と同様の調査を実施している。ここで、表8.2の因子負荷量と各クラスターの5段階評価の回答を元に、実証実験の各クラスターがどの因子についてどのように評価しているかを測ることができる。なお、因子負荷量ごとに最大値は異なるため、ここではすべてが最高評価(5)であった場合の因子負荷量の合計に対する比率により評価することとした。図8.11に



図 8.10 分析対象者のゲーム利用状況

表 8.3 クラスターリングに用いた変数

変数	備考
最大コイン	集計時の最大コイン数
平均コイン	集計時の平均コイン数
ログイン	ログイン回数
移動無し	移動無し回数
一般道	一般道利用回数
時間	時間変更回数
高速	高速道路利用回数
途中	途中から一般道に流出した回数
最大行動変更ボーナス*	行動変更ボーナスコインの最大値
平均行動変更ボーナスコイン*	行動変更ボーナスコインの平均値
最大配当コイン	マジョリティゲームの最大配当コイン
平均配当コイン	マジョリティゲームの平均配当コイン
最大協力ボーナス	協力ボーナスの最大値
平均協力ボーナス	協力ボーナスの平均値
最大一般道獲得コイン	一般道経路上獲得コインの最大値
平均一般道獲得コイン	一般道経路上獲得コインの平均値
最大賭けコイン割合	所有コインに対するベットコインの割合の最大値
平均賭けコイン割合	所有コインに対するベットコインの割合の平均値

※一般道利用は経路上で同等のコインが獲得できるため、付与されない。

表 8.4 クラスターごとの属性

設問	クラスター1 n=3	クラスター2 n=4	クラスター3 n=11	クラスター4' n=2
ゲームのプレイ	スマホゲーム	33%	50%	55%
	ゲーム専用機器	0%	25%	100%
対象エリア (赤線から青線区間) の移動頻度	PCゲーム	0%	0%	50%
	ほぼ毎日	0%	0%	50%
	週に4、5回	0%	0%	0%
	週に2、3回	0%	25%	9%
	週に1回	0%	0%	50%
	月に1、2回	33%	50%	0%
	2、3ヶ月に1回	0%	25%	0%
	半年に1回	33%	0%	0%
	1年に1回	33%	0%	0%
	その他	0%	0%	0%
対象区間利用頻度	週に4、5回	0%	0%	9%
	週に2、3回	0%	25%	0%
	週に1回	0%	0%	9%
	月に1、2回	33%	50%	0%
	2、3ヶ月に1回	0%	25%	50%
	半年に1回	33%	0%	0%
	1年に1回	33%	0%	0%
	その他	0%	0%	0%
利用時間帯	午前6時台	0%	0%	0%
	午前7時台	0%	25%	100%
	午前8時台	67%	0%	0%
	午前9時台	0%	25%	0%
	午前10時台	33%	0%	0%
	上記以外	0%	50%	0%
	通勤・通学	0%	25%	27%
	業務・荷物の運搬あり	0%	0%	0%
利用目的	業務・荷物の運搬なし	33%	0%	0%
	家族・友人宅への訪問	33%	0%	18%
	旅行先・レジャー	0%	75%	0%
	送迎	33%	0%	0%
	その他	0%	0%	0%
	その他	0%	0%	0%

表 8.5 クラスターの整理

番号	説明
1	対象区間を走行する頻度が少ないため行動変更はしないが、ログインと宣言で獲得したコインを賭けることでコインを増やしているプレイヤー
2	行動変更の対象にはあまり適合しないが、時間変更を中心に行動し、ログインやマジョリティゲームで地道にコインを増やすプレイヤー
3	普段からスマホゲームを利用しており、行動変更回数がとても少なく、獲得コインも少ないため、渋滞緩和とゲームが魅力的に映らなかったプレイヤー
4'	本調査のターゲットとして合致するプレイヤーであり、一般道でのコイン獲得を中心に、期間中何度もゲームをプレイし、コインを増やしたプレイヤー

結果を示す。図より、特に積極的にゲームに参加したクラスター4'の方は、F4(有能感)やF2(関係性)に高い評価を与えていた。逆に、あまりゲームを楽しまなかったクラスター3に着目したときに、それぞれの評価が低いわけではないことが興味深い。ゲームの内容自身は一定評価するものの、個人として興味を持たなかったという状況の可能性もある。

最後に、周囲の人間にどの程度勧めたいか尋ねるレコメンド指標、さらにそのスコアを付けた理由について質問した結果を示す。これはマーケティングで顧客満足度を測る指標としてよく用いられる評価方法である。表 8.6 にクラスターごとの指標の平均値とその理由を示す。クラスター4'は非常に高い評価を与えていることが確認できる。また、自身はあまり楽しんでいなかったクラスター3も一定の評価をしていることが確認できる。一方で、理由の欄をみると、設定が複雑や難しい、万人向けではないといった指摘もあり、今後ルールをよりシンプルにするなどの工夫が望まれる。

## 8.4 おわりに

本章では、D.に関連し、ゲーミフィケーションによる行動変更促進効果について、プロトタイプ版のアプリの動画を閲覧させ実施した表明選好調査およびスマホアプリを用いた実証実験により検証を試みた。表明選好調査について、ゲームデザインヒューリスティクス評価に則りアンケート調査により検証した。その結果、ゲームを楽しむという点でのハードルは低いものの、実際の行動変更を促進するには若干ハードルが高いことが確認できた。また、回答結果を因子分析したところ、その因子として自己決定理論で示されている動機付けの3つの基本的心理欲求と整合した軸が得られており、ゲーミフィケーションが行動心理学的フレームとも整合することが確認できた。

さらに、開発したスマホアプリ版の渋滞緩和ゲームを用い、実際の行動変更について考察を加えた。今回の実証実験においては、教示ビデオの閲覧や複数回のアンケート調査の実施など、被験者に多くの負荷をかけたためか、最終的にゲームを楽しんだ被験者は限定的であった。ここでは、限定された20名ではあるが、ゲームを継続的に楽しんだプレイヤーについての分析を進めた結果、有能感、関係性の評価が高く、これらの感情を励起することが行動変更促進に効果的である可能性が高い。

今後の展開としては、よりルールを簡略化し参加しやすいゲームデザインの検討を実施する必要があるといえる。

## 第8章 参考文献

- 1) Tondello, G.F. and Kappen, D.L: “Heuristic Evaluation for Gameful Design”, Proceedings of the 2016 Annual Symposium

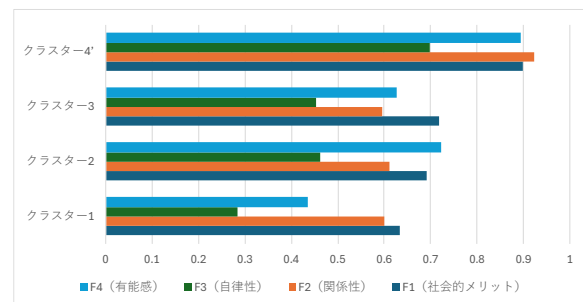


図 8.11 因子負荷量の合計

表 8.6 レコメンド指標

クラスター	指標	理由
1	5.33	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 半分以上にすすめしたい</li> <li>・ 渋滞を回避することでポイントかもらえる等のメリットもあり、結果的に渋滞が緩和されるため社会貢献の意味もあり、とても良い企画だと思った。</li> <li>・ 通勤とかで移動しているわけではないので急に思い立ったりする時には宣言しなくて参加できなかったり、このゲームのために…という行動は取りにくいと感じた。</li> </ul>
2	7.25	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 面白い</li> <li>・ 渋滞緩和に貢献できるから</li> <li>・ 行動を見直すきっかけになるため</li> </ul>
3	7.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スマホゲーム好きなら勧められる。</li> <li>・ 万人向けではないように思いました</li> <li>・ 色々ルールがありすぎてわかりにくかった</li> <li>・ 今までにないゲームなので。</li> <li>・ 渋滞緩和に貢献できることは良いことだから</li> <li>・ 周りに同ルートの人がいないから</li> <li>・ 結構、複雑</li> <li>・ 自分自身に時間の余裕が無いと実施出来ないところ。</li> </ul>
4'	8.50	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 通勤の運転で放ったらかしでもいいから</li> <li>・ ゲーム性の部分は正直よくわからないが、明日の経路選択に使えるそうなので。</li> </ul>

on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts, 2016.

- 2) Ryan, R.M. and Deci, E.L.: “Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being”, American Psychologist, 55(1), 68-78, 2000.

## 第9章 今後の継続，展開に向けた検討

### 9.1 広島実験協力機関の反応と実験継続に関するコスト試算

本研究で用いた，ゲーミフィケーションによって行動変化を促すアプローチでは，参加者の課題意識を前提としておらず，一般の運転者にゲームとの接点を創出する必要がある。この接点創出においては，通常のゲーム商品のマーケティングとは異なり，社会課題解決という目的をともにする事業者や機関の協力が期待される。また，施策としてのゲーム実装や持続性の向上についても，事業者や機関の協力が期待されるが，実際にゲームに関わった上でどのような反応が得られるかは推測の域をでない。ここではまず，ゲーミフィケーションを実装する際に必要な協力体制について，実際に広島での実証実験で協力いただいた内容を整理し，次に実験後の協力機関の反応を把握する。最後に，実験継続や他地域への展開の手がかりとなるゲーム提供に関するコスト試算を行う。

#### (1) 広島実験協力機関の協力内容

本研究のゲーム実証実験では，協力機関として研究体制に参画した西日本高速道路株式会社以外に複数の事業者や機関に協力いただいた。具体的には，行動変更を働きかける対象である一般の運転者にゲームとの接点を創出する部分や，ゲームを通じて獲得できる報酬を用意する場合の連携など，施策としてゲーミフィケーションを実装する際に期待したい協力内容である。表-9.1 に広島での実証実験で事業者や機関に協力いただいた内容を整理した。

本研究での協力獲得には芽づる式の側面があり，研究初年度に西日本高速道路株式会社中国支社から，当該路線のリムジンバスの遅延を課題と考える広島国際空港株式会社を紹介いただき，そこから空港周辺事業者である株式会社空・道・港，その紹介で空港立地自治体である三原市へとつながった。また，各協力機関との意見交換から，当該路線利用事業者を多く抱える工業団地が立地する，東広島市の産業振興部署に協力を得るアイデアを得た。

結果的に，道路の混雑という社会課題への対応を，業務に含んでいる事業者や機関に限定されず協力を得られている。協力を打診した多くの事業者や機関の一部が協力するのではなく，課題に関する意見交換と協力可能性の検討をお願いするスタンスで訪問し，高確度で協力を得ることができており，効率的

表-9.1 広島実証実験で協力いただいた内容

事業者や機関	協力いただいた内容
西日本高速道路株式会社	・プロジェクト全体への協力 ・実証実験参加募集として <b>SA/PA</b> での <b>PR</b> や <b>チラシ設置</b>
広島国際空港株式会社 (空港運営会社としてリムジンバス運行)	・試行協力 ・実証実験参加募集として <b>空港サイネージ</b> での <b>PR</b> や <b>チラシ設置</b>
東広島市産業振興課 (物流拠点や工業団地を抱える自治体)	・試行協力 ・ <b>職員への実証実験参加募集</b> ・ <b>工業団地の企業紹介</b>
株式会社 空・道・港 (三原市の観光地域づくり法人 (DMO))	・試行協力 ・ <b>空港周辺事業者の協議会</b> における実証実験参加協力の呼びかけ ・ <b>参加賞品としての体験プログラム</b> や <b>地元産品の手配協力</b>
西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社	・試行協力 ・ <b>職員への実証実験参加募集</b>
三原市広報戦略課	・実証実験参加募集を新聞，テレビ，通信社 23 社に <b>リリース</b>
広島市広報課	・実証実験参加募集を市政記者クラブで新聞，テレビ，通信社 18 社に <b>リリース</b>
東広島市内事業者 (道の駅のん太の酒蔵，西條商事，ダイキョーニシカワ，ベバストジャパンなど)	・実証実験参加募集の <b>チラシ設置</b> や <b>従業員配布</b>

な協力獲得方法として他地域への展開にも援用可能である。また，道路関係者に限らない協力の獲得は，コスト軽減にも役立つことが期待できる。

#### (2) 広島実験協力機関の実験後の反応

実験後に協力機関の反応をお聞きするため，5 つの協力主体と意見交換させていただいた。主な内容は，道路の渋滞緩和に向けた行動を促進するゲームについて，より良くするための課題や改善案と可能な関わり方や要件についてであり，結果を表-9.2 に整理した。負担感の低い協力として，参加募集を職員に情報提供することがあげられた。また，どの程度の規模で展開すれば関わるメリットがあるかについては，そもそも社会課題解決に向けた取り組みとして関わる価値があるという意見や，商業的には接点を持てるユーザー数が多ければ宣伝効果としてゲームの運営費用負担も検討できることが確認できた。

実験後の協力機関全般の反応として，本研究のゲーミフィケーションをどのようにしたら社会課題の解決に役立てることができるかという視点や姿勢があった。また，それぞれの事業者や機関の立場で関与するための要件としては，混雑緩和という社会課



表-9.2 渋滞緩和に向けた行動を促進するゲームについての意見交換

意見交換の対象	より良くするための課題や改善案	可能な関わり方や要件
東広島市産業振興課 (試行協力や職員への参加募集、工業団地の企業紹介) 2024/1/31	・事業者の大きな課題は「納入までの時間」だが、志和 IC からバイパスへの経路や、旧 375 号との交差点など、 <u>2 号バイパスこそ課題という面もある。</u>	・(道路渋滞に関する) 課題を明確にして企業に持ち込むと、市としてつなぎやすい。 ・物流機能の改善が重要な課題である。 ・ <u>市職員への配信協力は、個人利用イベントなら難しくない。</u> ・(道路渋滞に関する) 課題調査に協力できる。
株式会社空・道・港 (試行協力や空港周辺事業者への協力呼びかけ、ゲーム賞品の手配協力) 2024/1/31	・ <u>朝夕の渋滞は住民課題であり、参加する意義や、やりがいがあ</u> る。一方で、広島/東広島/三原で課題感には温度差がある。	・価値を感じる接点数としては、 <u>認知度などを調べるアンケートに用いる 300~500 人</u> だろう。 ・商圈や接点数をもとに支出しなくて済む広告費と比べるのが良い。 ・事業者として渋滞には困っていたが、これまで声にはあげなかった。他にも困っているところがあると思う。 ・ <u>事業者側が知り得ない(渋滞に関する)情報を提供してくれることに意義を感じる。</u> ・ <u>エリアの混雑課題の解決には、売上よりも、来店数や滞在時間、地域住民の許容度向上のメリットがある。</u>
広島国際空港株式会社 (試行協力や空港サイネージでの PR など参加募集に協力) 2024/1/31	・山陽道に特化していた課題 ・ <u>国道 2 号線バイパスの利便性が向上して渋滞しなくなった</u> 課題 ・入口にあるアンケートや、ゲームのやり方がハードルだった課題 ・ <u>iPhone では参加できない課題</u>	・ <u>所要時間や CO2 の削減という課題設定で、試行や液晶サイネージ表示など今回のような協力はできる。</u> ・今作っている <u>レンタカーステーションでゲームを読み込めて、簡単に登録できると良い。</u> ・ <u>参加見込み 1 万人で協賛金 100 万円だと一人あたり 100 円といった具合ですね。→確かにそれなら検討しやすい。</u> 免許証保有者 100 万人(事後確認したところ広島市+東広島市+三原市程度)の 1% など、協賛による発信力を数字で示せると検討しやすい。
西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 (試行協力や職員への参加募集) 2024/1/31	・端末の都合でできなかった課題 ・ <u>前日宣言しなくてはならない</u> 課題	・ <u>運転中の人に対する広報は、視覚だけでなく、ラジオやロボホン、アプリなど、聴覚に訴えるものも加えた方が効果的では、</u> という意見がある。 ・チラシ、WEB サイト、情報板等で迂回や利用時間帯の変更を促す <u>広報にゲーム的要素が加わると、更に迂回を促せるのではないか。「耳」へ働きかけるゲームアプローチを紹介できる。</u> ・ <u>観光地の渋滞対策</u> を多く見かけるようになった。そこへゲーム的要素が加わると、更に効果的になるのではないか。
西日本高速道路株式会社(プロジェクト全体への協力) 2024/2/27	・可能性のある魅力的な取り組みであるが、参加者が少なかったのが課題。 ・今後参加者を増やすための努力が必要。 ・ <u>前日宣言したのみ参加、という少し条件が厳しい。</u>	・現地条件に合った整理(どの渋滞、誰をターゲット? など)が必要。

表-9.3 実験継続に関するコストの試算

条件	費用(内訳 4 要素)
【ケース 1】 1) 2023 年の実験で用いた Android アプリをそのまま用いる 2) 登録 500 人以下(走行者 100 名以下)のユーザーで実施する 3) 参加募集は 2023 年と同様に協力機関によるものとする 4) 参加賞品は無しとする。	210 万円 (50+100+60+0)
【ケース 2】 1) 現状で参加ハードルを高くしていると指摘されていた、ゲームへの参加条件を緩和する。具体的には、WEB 版であるプロトタイプをベースに時間制限と行動区域制限を外し、行動変更しなくても参加できるゲームとしつつ、提案された行動変更が確認された場合にボーナス的な扱いをするゲームへと改修する。 2) 登録 500 人以下(走行者 100 名以下)のユーザーで実施する。 3) 参加募集は 2023 年と同様に協力機関によるものとする。 4) 参加賞品は 2023 年と同規模で提供する。	570 万円 (400+100+60+10)
【ケース 3】 1) ケース 2 と同様にゲーム参加条件を緩和したものをクロスプラットフォームにて新規構築する。 2) 登録 2,500 人以下(走行者 500 名以下)とする。 3) 2023 年実験と同様の協力に加え、SNS 広告やキャンペーン開催を行う。 4) 参加賞品は 2023 年と同規模で提供し、産品等の PR として賞品に半額の協賛をいただく。	925 万円 (600+200+120+5)

題解決に取り組む意義をいずれの担当者も述べており、組織として対応するための要件として社会課題解決の部分が重要であることが推察できた。

意見交換では、今回の実証実験の経験を踏まえて、様々な点を改善したゲームを用いて他事例に展開することにも言及した。その結果、高速道路の混雑緩

和に限らず一般道の混雑緩和に援用する場合の対象地域や、スポーツ施設や商業施設、観光施設に関する混雑緩和といった他事例への展開案などが指摘された。道路に関する課題にゲーミフィケーションを用いるという選択肢が、今回の実証実験を通してゲーミフィケーションに触れた協力者に認識されたとと言える。ゲームの検討段階から関係者として巻き込んでいくことを含めて、ゲーミフィケーションが課題解決の手段として認識される機会を準備していくことも、社会課題の解決策として用いる際に役立つと考えられる。

### (3) 実験継続に関するコスト試算

実験継続に関するコスト試算を実施した結果を表-9.3に示す。登録者数を増やすことで期待できる協賛（開発費や運営費に充当可能な規模）については盛り込んでいないため、場合によっては少ない費用で実践できる可能性もある。開発費や運営費に充当できる資金を持続的に得るためには、社会課題についての共通認識を持ち、それぞれが強みを持ち寄ってその解決に貢献できるような実行委員会をあらかじめ組織化し、その中に事業者や機関巻き込んでいくことも方法の1つと考えられる。一方、協力が全く期待できないフィールドでは、より高コストな施策になることが予想できる。いずれにしても本項の試算は、他事例への適用の参考にできるだろう。

## 9.2 他地域への展開についての検討

### (1) 岐阜国道事務所との意見交換

本研究で構築したゲームアプリの展開可能性を探るため、2023年12月21日（木）に国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所を訪問し意見交換を行った。意見交換会では、松實崇博所長および木村昭雄計画課長および計画課の関係職員にご参加いただいた。

現在、岐阜国道事務所管内では国道21号岐大バイパス改築事業、すなわち岐阜市内を東西に結ぶ主要幹線の国道21号を立体化する事業が進められている。沿線開発がすでに進んでいる状況の下で立体化を進めるため、工期も長く、かつ交通規制も複雑になることから渋滞悪化の懸念がある。これを受け、岐阜国道事務所を中心に、工事期間中の渋滞緩和をめざし、「岐阜県TDMプロジェクト」を推進している。岐阜県TDMプロジェクトは、市内立体の工事の影響による渋滞について、交通分散を図ることを目的として、令和4年度から進められている。しかしながら、令和4年度の取り組みの結果として、TDM施策の認知度の低さや、企業において在宅勤務・時差出勤等の制度が十分に整えられていないといった課題が明らかとなり、TDMの認知向上や社会全体としての機運向上のために、継続して広報していくことが重要であることが確認された。このような背景のもと、我々の活動に関する期待の言葉をいただいた。

さらに、今後の連携協力を高めることを目的とし、2024年4月26日に「連携協力に関する協定」を締結し、岐阜県TDMの取り組みの効果を高め、平常時だけで

なく災害時にも有効となるしくみを構築することとなっている。この連携協力のもと、ゲーミフィケーションを活用した岐阜県TDMの取り組みを今年度より実施予定である。

### (2) 京都国道事務所との意見交換

世界的観光都市である京都市では、近年オーバーツーリズムの問題が顕在化しており、様々な交通問題も顕在化している。例えば、交通渋滞については、11月下旬の観光の再繁忙期においては、東山五条から祇園の区間において夕方に激しい渋滞が発生している。また、公共交通の混雑も激しい。特に近年問題視されていることが、特定観光地への集中であり、観光需要の時空間的分散の促進が望まれている。

上述の観光需要の増加に伴う、道路交通を始めとした交通面での課題に対応するため、国土交通省近畿地方整備局が中心的役割を担い、「京都エリア観光渋滞対策実験協議会」が平成30年2月に設立されている。この協議会では、観光地周辺で広域的に発生する渋滞を解消し、回遊性が高く、円滑な移動が可能な魅力ある観光地を創造するため、ICT・AI等の革新的な技術を活用し、警察や観光部局とも連携しながら、交通需要制御などのエリア観光渋滞対策の実験・実装を推進・支援する地域（観光交通イノベーション地域）として平成29年9月に京都市が選定されたことを受けて当該協議会が設立され、ICT・AI等を活用した実験の計画的・効率的な実施を推進してきた。

当該実験協議会での取り組みの一つの柱は、道路交通情報（渋滞予測等）の充実を図りつつ、観光交通対策として京都市が取り組んでいる諸対策を支援するための情報提供を進めることである。対象となる対策としては、1) 特定観光地への集中の時空間的分散の促進、2) 路線バスを始めとした公共交通混雑緩和を目指した交通手段の分散化、3) 交通渋滞緩和を目指した自家用車等の流入抑制、駐車需要の管理（P&Rの有効活用）等をあげることができる。上記のいずれの対策についても、観光客の行動変更が必要となるものであり、情報提供の充実に加えて、さらなる働きかけの手段として、ゲーミフィケーションによる行動変更促進は、可能性を秘めたものといえる。このような状況を踏まえ、2024年4月17日に国土交通省京都国道事務所を訪問し、尾崎所長、今城事業対策官ならびに西計画課長と意見交換を行った。皆様ゲーミフィケーションの活用に大いに興味を持っていただき、今後より詳しい話をつめていくことで合意できている。

観光という活動の本質は遊びにあると考え、ゲーミフィケーションと観光は親和性が高いと推察される。一方、本研究で提案してきたゲームの枠組みとは異なり、1日単位で完結するゲームを考案する必要がある。その点は、「京都エリア観光渋滞対策実験協議会」をはじめとして、京都市等にも働きかけつつ、観光交通対策としてのゲーミフィケーション適用の可能性、ならびに、本研究と実務的な取り組みの連携について模索していく予定である。

# 第10章 まとめ

## 10.1 本研究の成果

本研究では機動的料金の導入を視野に入れつつそれと同程度の効果が期待できるゲーミフィケーションによる効果的な行動変更提案の選択肢をデザインし、さらにはチャットボットにより安全かつ効果的に行動変更提案を行うことで、高速道路走行中の利用者の行動変更を積極的に促進するProactive(=積極的)型の交通マネジメント方策を構築することをめざし研究開発を進めた。本年度に得られた知見を以下に整理する。

### A. リアルタイム観測に基づく交通状況予測モデルの開発

交通量検知器、ETC2.0などの既存観測技術に加え、スマホから収集されるプローブ情報など他のデータのリアルタイム活用の可能性を探り、近未来の交通状況を把握するための交通状況ナウキャストモデルの開発を進めた。また、これに加え、移動前日における行動変更をあらかじめ検討する際の材料とするために、翌日の交通状況を予測する交通状況フォーキャストモデルの構築も併せて行った。結果として、比較的安定した4段階の渋滞レベルを予測可能な、翌朝の交通状況を予測する交通状況フォーキャストモデルならびに45分先の交通状況を予測する交通状況ナウキャストモデルの構築を達成できた。

### B. ゲーミフィケーションによる行動変更デザインアルゴリズムの開発

既存のマーケティング調査およびウェブアンケート調査から、渋滞緩和ゲームに協力的でありかつ行動変更が可能なターゲット層を明らかにするとともに、ターゲット層が親しみを抱いているゲームを質問することでゲーム要素の絞り込みを行った。これらの基礎的検討を踏まえ、ゲーミフィケーションによる行動変化を事前検討できる方法論の構築と実証実験のためのゲームアプリ「おいもん勝ち 渋滞緩和ゲーム!!」の構築を実施した。結果として、ゲーミフィケーションの事前効果の予測可能なモデル構築およびゲームデザイン手法の整理をした上でゲームの開発

が実行できた。

### C. チャットボット型行動変更提案システムの開発

Proactive型交通マネジメントの実現のための、チャットボット型行動変更提案システムならびにゲーミフィケーション実証実験のためのゲームアプリおよびサーバーの構築を行った。検討の結果、チャットボットを柔軟に制御可能な行動変更提案システムおよびゲームシステムが構築できた。

### D. Proactive型交通マネジメント方策の効果検証

提案したProactive型交通マネジメント方策の効果については、大きくエージェントによる行動変更提案システムの機能検証とゲーミフィケーションによるProactive型交通マネジメントの効果検証の2つの視点で検討を実施した。まずはドライビングシミュレータ(DS)実験によりエージェント介入の運転挙動への影響を検証した。さらに、山陽自動車道東広島IC～西条IC間でエージェント介入の実走実験も実施した。DS走行実験および実走実験データの分析の結果、ドライバーの安全運転挙動に悪影響はなく、かつ働きかけにより期待する挙動を促すことが確認され、ドライバーエージェントを活用した情報提供は積極的に行動変更をする交通マネジメント方策を強化する手段として有効といえることが明らかとなった。

また、ゲーミフィケーションを活用したProactive型交通マネジメントの効果検証は、表明選好調査ならびに実証実験により実施した。ゲームデザインおよびその期待される効果を予測するために、文献調査によりゲームデザイン手法や評価手法をまとめた。これらの結果を踏まえ、ゲームのプロトタイプを構築しその試行を実施、さらにはアプリ版の開発も行い、これを用いて実証実験を行った。アプリ実証実験からは、期待した以上にゲーム参加者が集まらなかったが、限定された被験者の中では継続的にゲームを楽しみに、そして行動変更につながる被験者もいたことが明らかとなった。ゲームを用いた渋滞緩和というアイデアに対しては好意的な意見も多く、ゲーミフィケーション効果の一定の可能性を見いだ

すことができた。

## 10.2 今後の課題

最後に、課題についてまとめることで本研究を閉じる。

### 1) 交通状況フォーキャストモデル、ナウキャストモデルのリアルタイム情報との接続

本研究において、交通状況フォーキャストモデルおよびナウキャストモデルを構築したが、これらは本来リアルタイムの情報を入手した上で予測をすることを企図したものである。そのため、データのリアルタイム収集の可能性なども加味しつつモデル構築を進めていたが、本研究の研究期間である3年のうちにそのようなシステム改築を西日本高速道路株式会社に依頼することは困難であり、本研究では過去データを活用したモデル構築を進めることしかできなかった。また、D.の実証実験においては、フォーキャストモデルは活用できたものの、ナウキャストモデルの適用は困難であったため、他の情報リソースにより代替した。今後、システム上でのリアルタイム予測が可能となることを検討すべきと考えている。

### 2) ドライバーエージェント実験の充実

本研究では、24名の被験者に4回ずつ走行していただく実走実験を実施したが、回数が限定的であるため、順序効果の除去やドライバーエージェントの有無による違いについて明確な形で実験を実施できていない。今後、被験者数を増やし、実験を充実させることが必要と考えている。

### 3) スマートフォンアプリおよび実証実験の改良

スマートフォンアプリを用いたゲーミフィケーション実験についても最大の課題はサンプル数が少なかったことである。今回は、明示的に渋滞緩和に直結するサンプルに限定したゲームの設定を行うため参加条件をかなり厳しく設定してしまっていた。この理由により、参加者数がかなり少なくなってしまった。また、前日の行動宣言などゲームのルールも縛りが多かった。今後、柔軟な設定でのゲームデザインを検討し、より多くの方が楽しめるゲームへと改良を加える必要がある。

### 4) 渋滞緩和ゲームの展開

本研究で対象とした道路区間だけではなく、その他の地点への展開を検討したい。9章に示したとおり、岐阜県のTDMプロジェクトや京都の観光対策など今後関係者と調整し、様々な導入事例を進めることで、本研究で提案したProactive型交通マネジメントの実現を進めたい。



道路政策の質の向上に資する技術研究開発 成果報告レポート No.2021-3  
高速道路における Proactive 型交通マネジメント方策についての研究開発

2024.05