

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者		氏 名（ふりがな）	所 属	役 職					
		倉内文孝（くらうちふみたか）	岐阜大学工学部	教授					
②研究 テーマ	名称	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							
	政策	[主テーマ] 3	分科会／ 公募タイプ	タイプI／ソフト分野					
	テーマ	[副テーマ]							
③研究経費（単位：万円）		令和3年度	令和4年度	令和5年度	総 合 計				
※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせる こと		1,229	1,997	1,512	4,738				
④研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）									
氏 名		所属・役職（※令和6年3月31日現在）							
宇野 伸宏		京都大学・教授							
西田 純二		京都大学・特命教授							
田中 貴紘		名古屋大学・特任教授							
中村 俊之		岐阜大学・准教授							
木村 優介		大阪工業大学・特任准教授							
⑤研究の目的									
<p>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し、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、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、C. チャットボット型行動変更提案システムの開発、D. Proactive型交通マネジメント方策の効果検証を実施する。</p>									

⑥これまでの研究経過、目標の達成状況

上記の目的を達成するために、本研究では以下のA.～D.の研究を実施した。研究の全体像を図-1に示す。また、役割分担は、表-1の通りである。以下に達成状況を示す。

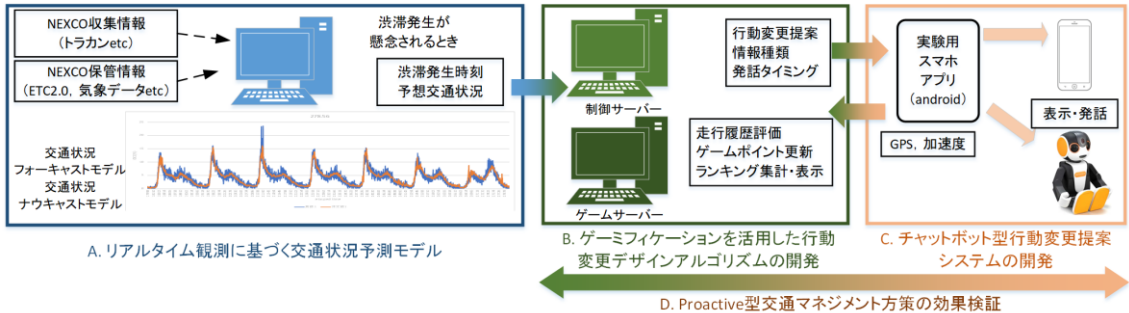


図-1 研究の全体像

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

交通量感知器、ETC2.0などの既存観測技術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。この検討について、西田が主にデータ分析やデータ特性の整理を、倉内がモデリングを担当した。結果として、比較的安定した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

令和3年度には、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持っ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。令和4～5年度には、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「おおいもん勝ち 渋滞緩和ゲーム!!」の構築を実施した。前者の分析については主に宇野、木村が担当し、後者については、主に中村、倉内と研究員として雇用した東が担当した。検討にあたり、令和3年度の調査についてウェブアンケート調査会社に被験者募集および調査実施を依頼し、令和4年度では、被験者を西日本高速道路株式会社の協力により収集可能であったことから調査実施のみを外注した。また、ウェブベースのプロトタイプ版アプリ、スマートフォンアプリの開発についても外注により実施した。

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ているが、予測モデルについてはインプット可能な情報が限定的である点、ゲームデザインについて明示的なマニュアルまで整理できていない点が課題として残った。

C. チャットボット型行動変更提案システムの開発

C.では主にシステム開発を実施している。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が主たる検討内容である。この検討については、システ

表-1 役割分担

	A：交通状況 ナウキャスト モデルの開発	B：行動変容 施策デザイン の開発	C：チャット ボット型行動 提案システム の開発	D：Proactive 型交通マネジ メント方策の 効果検証
倉内文孝	◎	○		◎
宇野伸宏		◎		○
西田純二	◎	○		◎
田中貴紘			◎	○
中村俊之		○	◎	◎
木村優介		◎		○

ム開発が専門の田中が担当し中村、倉内がそのサポートを行った。ロボット制御サーバーやロボット制御アプリの開発およびウェブ版ゲームアプリ、スマホゲームアプリの開発および今回の実験に即した制御設定などについて、外注により実施している。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。この分析については、関連研究の蓄積が多い田中の助言を得つつ、中村、倉内が担当した。令和3年度には周辺運転条件を整理し、交通量レベル、道路形状、情報提供タイミングの3要因について変化させることとし、実証実験コースを設計した。これを用い、令和4年度にはDSにより36名の被験者を対象に実験を実施した。実験実施は、田中、中村に加えて、研究員として雇用した周、小澤が担当した。結果として、交通量の粗密が最も大きな影響を与えること、情報提供に従うか否かは性別や運転頻度、交通量の影響が統計的に有意であることなどを確認した。令和5年度には、高速道路においてエージェントを搭載した車両を走行していただき、その介入の影響を検証した。DS実験および実走によるロボット介入実験について、調査会社に被験者募集を外注した。また、DS実験の走行路の作成についてもシミュレータ開発会社を外注している。さらに、実走実験支援についても専門の会社を外注している。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、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。

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、主にゲームの効果の実証実験により実施した。そのために、令和3年度には、倉内、西田が中心となり分析対象路線の設定を行った。さらに、令和4年度には、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。この作業は、倉内、中村および東により実施した。これらの結果を踏まえ、ゲームのプロトタイプ構築を令和4年度に実施し、その試行を実施、さらにはアプリ版の開発も行った。令和5年度には、アプリ実証実験を行った。なお、ゲーム実証実験実施支援についても専門の会社を外注している。アプリ実証実験からは、期待したほどには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。

⑦中間・F S評価で指摘を受けた事項への対応状況

中間評価において、以下の指摘をいただいている。また、それぞれについて対応状況を述べておく。

1. 本研究の成果・アプローチが他の地域等にも容易に展開できるよう、適用場面に応じたゲームの設計方法等の一般化や、開発したツールの公開等について配慮をお願いしたい。

(対応)

ご指摘の点について、3年の研究期間では対象区間のアプリ開発で手一杯であり、実現ができていない。一方で、議論の一助となるようシステム開発費の試算を行った。また、令和6年度以降も研究開発は継続予定であり、その中では、汎用性の高いアプリ、特にゲーム設定を誰でも可能となるようなシステム開発を進める予定である。さらに、ゲーム設計方法の一般化については、今後土木計画学研究委員会に設置した「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：倉内文孝）」の中で議論する。

2. 実証実験が実道において実際の道路利用者を対象として実施できなかった場合でも、最終年度の成果がとりまとめられるよう、代替手段等を想定して対応していただきたい。

（対応）

この点について、チャットボット型行動変更提案システムについては令和4年度にドライビングシミュレータ実験を実施し仮想条件での走行を、ゲーム実証についてはビデオ映像を示した上での表明選好調査を実施しこれらが不測の事態の際の成果の担保と想定していた。なお、令和5年度にはいずれの実証実験も実施できている。

3. 「ゲームの中で高得点は獲得しているものの実際の運転挙動としては危険である割合が約43%生じる」という結果について、DSによるバイアスと考えるのか、ゲーミフィケーションを実際に導入することの危険性と考えるのか、について整理が必要。前者であればDSで得られる知見の現実性が問われることになり、後者であれば研究成果の実用化に向けた大きな課題であると思われる。

（対応）

この点については、DSの設定によるところが大きいと考えている。今回のDS実験では、周辺車両は定速走行するものとしており、被験者が運転する車両の挙動に反応しない。また、特に密な交通状況設定では、実際には割り込みが困難であるような車間となっており、そのために負値が多く発生していたと考えられる。

4. 「交通状況ナウキャストモデルをリアルタイムで運用するにはNEXCO西日本のデータサーバからデータを順次入手しなければならず、この機能が実現する目途はたっていない」は、実用化に向けた大きなハードルであると想像される。研究期間内に問題が解決されない可能性もあり、研究期間後も解決に向けて関係者との会合等を重ねるべきと考える。

（対応）

ご指摘の通りであるが、この点は研究開始当初より明らかになっていた。今回は、A.については要素技術開発という視点で実施している。なお、令和5年度の実証実験では、リアルタイム情報を活用した代替手段により情報を提供した。

⑧研究成果

以下に研究テーマA.～D.ごとの成果をまとめる。

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リアルタイムに観測される交通状況を元に数十分先の近未来を予測した上で行動変更提案が効果的なタイミングを検知することが重要となる。交通量感知器、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。

令和3年度には、モデルインプット情報として利用可能な観測データについて整理した。ETC2.0データのリアルタイム利用を想定し個々の車両の走行軌跡データから交通量、空間平均速度を算出し、車両感知器データのそれと比較したところ、車両感知器データと遜色ない形でデータが取得され、なおかつ面的に連続なデータとなることが確認できた（図-2）。

また、交通状況ナウキャストモデルについて、令和

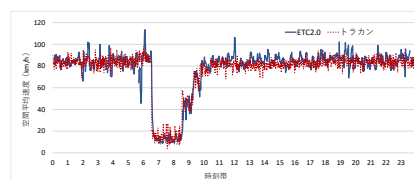


図-2 ループトラカンとETC2.0 空間平均速度の比較

3年度には、1)の利用可能データを踏まえた上で、まずどのような構造を用いるかを検討した。モデル構造としては、LSTMモデルをベースとすることが適当と判断し、様々な活性化関数を検証した結果、入力変数セットにより最適な活性化関数に変化することが明らかとなった。以上の知見に基づき、令和4年度に交通状況ナウキャストモデルの構築を行った上で、令和5年度にはそれまで使用していなかったデータを活用し、モデルの安定性について検証し、比較的安定性も高いモデルであることを確認した（表-2）。

表-2 最終モデルの予測結果

	レベル	予測			
		1	2	3	4
実際	1	34	213	14	6
	2	587	5688	272	136
	3	8	179	10	20
	4	10	295	19	36
		639	6375	315	198
					7527

表-3 モデルの比較検証

	モデル構築に使用したデータ	検証レベルの定義	モデルの検証に用いたデータ	正解率	最適小評価率
1	2019, 2020年（9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	0.8515

令和4年度には、渋滞緩和ゲームにおける行動変更提案のタイミングにあわせ交通状況予測のニーズを再検討した結果、交通状況ナウキャストモデルに加えて、翌朝の交通状況予測するフォーキャストモデルの構築も必要であると判断し、新たにモデル開発を進めた。結果として、過小評価しない比率を表す「非過小評価率」が0.85となり信頼のおける予測を提供可能なモデルの開発ができた（表-3）。

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

令和3年度には、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持っ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。令和4～5年度には、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の構築を実施した。

1) 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

渋滞緩和ゲームの導入による行動変更に積極的な高速道路利用者特性及びゲーミフィケーションによる行動変更を促進する要因を明らかにするため、アンケート調査を用いた統計分析を行うとともに、モデル分析を用いて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した。令和3年度実施のアンケート調査から行動変更が促進されやすい利用者層を特定した上で、令和4年度にはプロトタイプアプリの動作画面を示したうえで実施した表明選好調査結果を用い、行動変更に対するリワード条件を因子とする、行動変更可能性に関する二元配置分散分析を行うとともに、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行った（表-4）。ドライバーの選好意識を明らかにするとともに、得られた推定結果を用いることで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ことを確認した。

2) 渋滞緩和ゲームアプリの構築

令和3年度のアンケート調査結果を参考に渋滞緩和ゲームの作り込みを実施した。令和4年度にはWebベースでプロトタイプアプリを開発した。まず、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、そして効率的なゲームデザイン手法を整理し、それに則ってゲームをデザインした。ウェブベースのプロトタイプとして開発した上で、Androidスマートフォンで実行可能なアプリを開発した。構築したアプリの基本動作について、問題ないことを検証した上で、D.で説明する実証実験の実施を行った。

C. チャットボット型行動変更提案システムの開発

C.では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ムアプリおよびサーバー構築を行った。

1) チャットボット型行動変更提案システム

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（以下エージェント）を活用した発話による行動変更提案システムを開発した。

表-4 渋滞緩和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, 判別率的中率: 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 <カテゴリー>	業務	2.042	7.71 *	1.88
《基準》 通勤・通学	その他	2.459	11.69 *	2.24
日常的なゲーム利用 <ダミー>	ゲーム利用型	1.418	4.13 *	1.47
《基準》 ゲーム非利用型				
【分析対象区間の利用状況】				
広島都市圏 IC 利用有無 <ダミー>	利用あり	-2.383	0.09 *	2.56
《基準》 利用なし				
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 <ダミー>	特大大車・大型車・中型車	-2.740	0.06 *	2.11
《基準》 普通車・軽自動車				
【表明選好調査条件】				
表明選好調査対象ルート <ダミー>	広島市街地中心部発	-0.369	0.69	2.09
《基準》 廿日市 IC 付近発				
行動変更負担 <ダミー>	負担大	-1.342	0.26	1.47
《基準》 負担小				
金銭的リワードの有無 <ダミー>	金銭的リワードあり	-1.626	0.20 *	1.29
《基準》 金銭的リワードなし				
行動変更種類 <ダミー>	出発時刻選択	0.743	2.10	1.07
《基準》 経路選択				

令和3年度においては、B.との連携方法の検討と、チャットボット型行動変更提案システムのフレームワーク、および、開発システムの基礎部分である、受信データに応じたエージェントの発話制御機構の実装を行った。また、制御サーバー（クラウド）の機能検討とクラウド環境の整備、スマホアプリとロボホンアプリによるチャットボット型行動変更提案システムの基本システムの実装を行った。制御サーバーの実装は、Amazon AWS（主に制御）とAmazon EC2（データ保存）を組み合わせ、制御プログラム（Python）を動作させる（図-3）。また、令和4年度のドライビングシミュレータ（DS）実験を、令和5年度の山陽自動車道での実走実験に対応するために、アプリ、システム開発を実施し、問題なく動作することを確認した。

2) 渋滞緩和ゲームアプリおよびゲームサーバーの構築

スマートフォンアプリについては、令和4年度には、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た（図-4）。構築したスマホアプリによる実証実験に先駆け、2023年7月～9月にかけて、

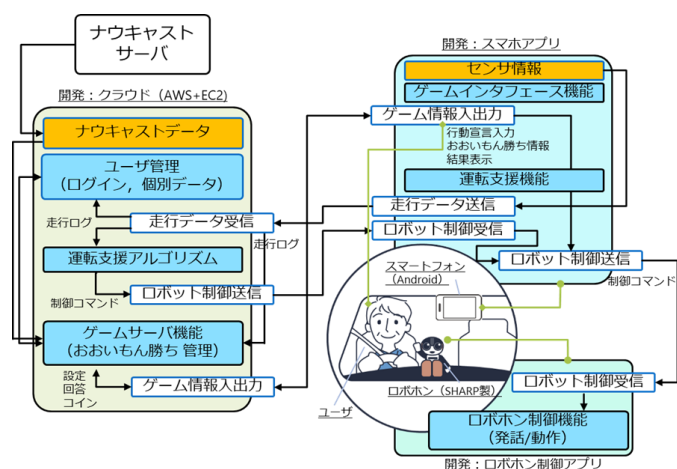


図-3 制御サーバーの概要

改良箇所について順次機能検証を行った。それぞれの想定している機能が間違いなく動作していることを確認した。

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。

1) チャットボットによる行動変更提案システムの機能検証

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する。令和3年度には周辺運転条件を整理し、交通量レベル、道路形状、情報提供タイミングの3要因について変化させることとし、実証実験コースを設計した。これを用い、令和4年度にはドライビングシミュレータ (UC-win/road) により、36名の被験者を対象に実験を実施した。一連の実験で得られたデータを用い、獲得ポイントの推移や実験条件による相違、分散分析による獲得ポイントと要因間の影響度の関係、情報提供に從うか否かの2項プロビット分析および情報提供への運転挙動の安全性分析を実施した (表-5)。結果として、交通量の粗密が最も大きな影響を与えること、情報提供に從うか否かは性別や運転頻度、交通量の影響が統計的に有意であること、ポイント評価と安全性指標 (PICUD値) との関係分析では、危険が生じる程度の狭い車間での走行を設定していることもあり、安全に走行している状況でもPICUD値がマイナスであることが多いが、危険判定走行では多くの負値が観測されたことが明らかとなった。なお、ドライビングシミュレータで示した設定値 (例えば交通量レベルを表現する車両密度など) についての絶対的な影響は、実走の際のそれと同一とはいえないため、今後慎重に設定した上で実走実験に反映する。

令和5年度には、高速道路においてエージェントを搭載した車両 (図-5) を走行してい



図-4 ゲームの流れと画面

表-5 2項プロビットモデル推定結果

		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)		1.750	0.000***
性別 (男性=0)	女性	-0.358	0.043*
	30代	0.218	0.343
	40代	0.333	0.192
年齢 (20代=0)	50代	0.208	0.390
	毎日	-0.498	0.041*
	週2-5回	-0.420	0.077.
運転頻度 (週1回以下=0)	月に2,3回以上	0.113	0.460
	あり	0.118	0.469
ゲーム経験 (なし=0)	5-8回目	-0.554	0.043*
	9-12回目	-1.232	0.004**
	13-16回目	-1.720	0.005**
道路形状 (直線=0)	カーブ	0.104	0.474
情報提供タイミング (早い=0)	遅い	-0.454	0.002**
	密	-0.541	0.000***
交通量 (疎=0)	累積獲得ポイント	0.047	0.000***
安全に從うことで次のランク到達場面		-0.207	0.480
指示に從わなくても次のランク到達場面		-0.136	0.636
自身の走行の失敗確率		-1.516	0.000***



図-5 エージェント設置位置 (運転席から)



図-6 実験区間の地図

表-6 検定結果

	エージェント		カーナビゲーショ		有意差 判定確率
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
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

ただき、その介入の影響を検証した。実験は、令和5年9月6日から29日の平日に合計24名の走行を依頼した。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（図-6）を選定し往復2走行を行っていただいた。実験時には、アイトラッカーにより視行動を、CANより運転挙動を入力するとともに、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。得られたデータを用い、安全性評価、エージェントの受容性評価、および介入の視行動への影響調査を実施し、エージェントにより安全性に悪影響を及ぼす可能性は小さいことが確認できた（表-6）。その他、ほとんどの被験者がエージェントに対して好感を持っていることから、人型のロボット形態であるエージェントの特性が、受容性を高め、好ましいと判断された理由であると推測できる。

2) 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

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、主にゲームの効果の実証実験により実施した。研究対象区間としては、渋滞が深刻であり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、利益享受者が明確であることを基準とし、その対象区間として、山陽自動車道の広島市街から広島空港までの区間を選定した。

また、文献調査結果に基づき、ゲームデザインヒューリスティクスに基づいたゲーム評価アンケートを実施し、B.で説明したゲームのプロトタイプによりゲームが有効にデザインされているかを確認した。また、調査では開発したゲームのプロトタイプを題材として、ゲームに盛り込んだ要素を紹介する動画を製作し、回答者は動画を視聴して設問に回答するよう依頼した。調査結果より、ゲームを楽しむ行為についてのハードルは低い、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-7）。

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。各設問の因子負荷量より、関係性、自律性、有能感の基本的心理欲求に加え、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が抽出された。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）。

令和5年度には、本研究の対象区間である広島ICから西条IC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

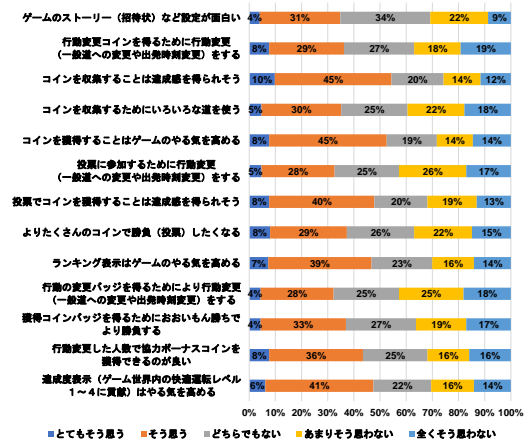


図-7 ゲーム要素評価の結果

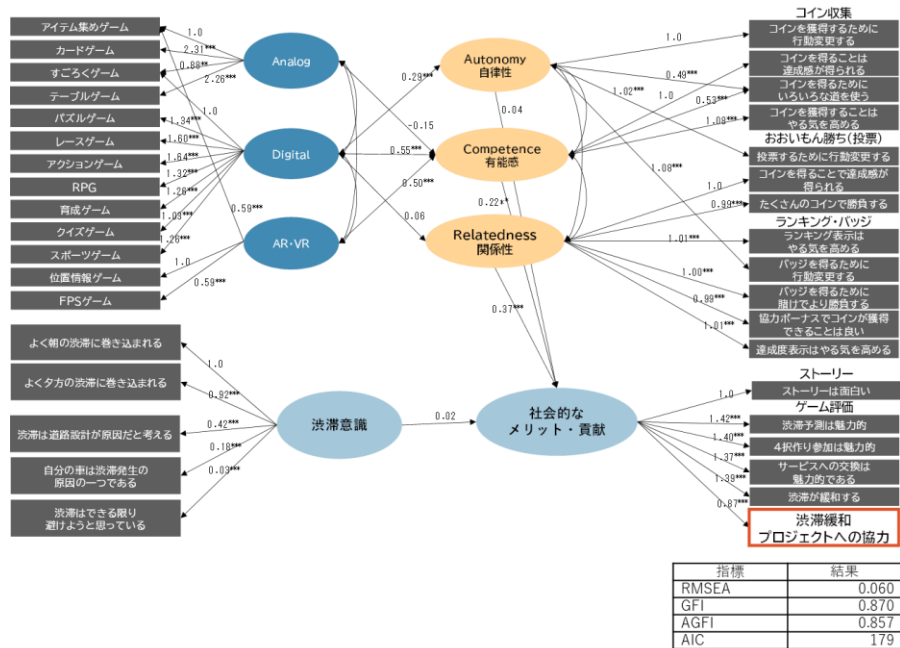


図-8 共分散構造分析の結果

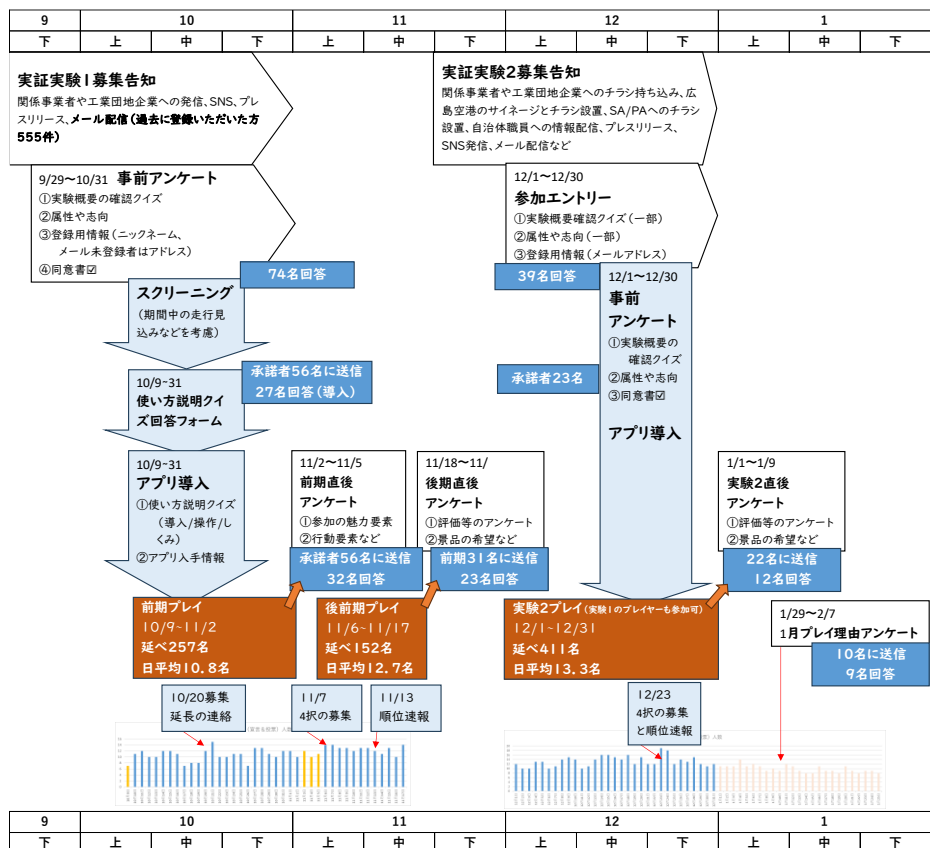


図-9 実証実験のプロセス

レイから渋滞緩和と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（図-9）。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回実施した。代替経路となる一

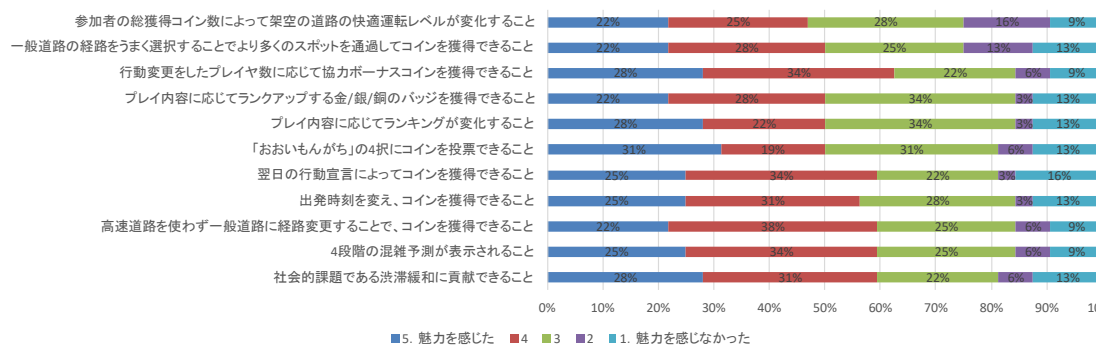


図-10 ゲームの魅力（前期の割合、n=32）

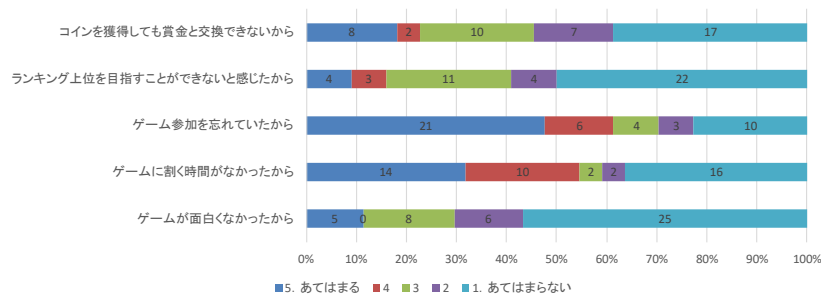


図-11 ゲームに参加しなかった日の理由（割合、n=4）

般道路区間にコインをちりばめ収集可能とした。また、出発時間変更に対してもコインを付与している。

実験の1日あたりの参加人数は10～13名程度であり、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。実験終了時のアンケート調査からは、各ゲーム要素についての魅力やゲームに参加しない理由を整理した（図-10, 11）。さらに、ゲームの継続利用条件についての自由記述から、対象区間の拡大、公共交通利用の考慮、コインの金銭化、ゲーム条件の緩和などの要望が確認でき、今回設定したゲーム参加条件が厳しかった可能性がある。

⑨研究成果の発表状況

査読付き論文2編および国際会議にて1編発表した。

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. 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.
3. 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巻20号, 掲載可, 2024.

⑩研究成果の社会への情報発信

以下の学会にて発表を行っている。

1. 柴垣太郎, 倉内文孝, “Proactive型交通マネジメントの実現に向けた交通状況ナウキャストモデルの構築”, 令和3年度土木学会中部支部研究発表会, 2022. 3 (30名程度)

2. 松尾悠, 木村優介, 宇野伸宏, “渋滞緩和ゲームに対する高速道路利用者の参加意向とその要因”, 2022年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-4, 2022. 5 (40名程度)
3. 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 (30名程度)
4. 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 (60名程度)
5. 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”, 土木計画学研究・講演集, 66, 2022. 11 (60名程度)
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 (60名程度)
7. 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予測モデルの構築”, 令和4年度土木学会中部支部研究発表会, IV-32, 2023. 3【優秀講演者賞受賞】(40名程度)
8. 浅岡琢視, 中村俊之, 周戸輝, 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 (50名程度)
9. 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, 14-03, 2023. 11. (50名程度)
10. 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. (50名程度)
11. 柴垣太郎, 倉内文孝, 中村俊之, 東善朗, “高速道路における渋滞緩和をめざしたゲーミフィケーションデザインとその要素評価”, 令和5年度土木学会中部支部研究発表会, IV-58, 2024. 03. 【優秀講演者賞受賞】(40名程度)
12. 廣田柚月乃, 中村俊之, 倉内文孝, “高速道路におけるドライバーエージェント介入の影響に関する実証分析”, 令和5年度土木学会中部支部研究発表会, IV-65, 2024. 03. (40名程度)

また、令和4、5年度に開催された第66回、68回土木計画学研究発表会・秋大会にて、それぞれ「ゲーミフィケーションの活用」、「社会課題解決のためのゲーミフィケーション」の企画セッションを企画したところ、6件、5件の発表登録があり、また多くの聴講者を集めた。また、令和5年6月より「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）を発足させ、令和8年5月まで活動予定である。この小委員会について、24名の参加表明があり、ゲームの活用に興味のある研究者が議論できる場を構築している。

⑪研究の今後の課題・展望等

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、また実証実験の実施結果から、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。以下が本研究で残された課題と考えている。

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、本研究の研究機関である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である。

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する必要がある。

⑫研究成果の道路行政への反映

今後の実務への波及効果について、得られた成果を2024年7月に建設コンサルタンツ協会中部支部の講演会にて基調講演を行い、本研究の成果を広く公表する予定である。さらに、岐阜国道事務所と岐阜大学は令和6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仕組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。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。

⑬自己評価

前述のとおり、本研究で設定した目標は概ね達成できたと考えている。特に、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。なお、いただいた研究費を有効に展開するためにも、ゲーミフィケーションデザインのマニュアルの作成や、構築システムの公開を検討していきたい。また、ゲーミフィケーションの実務展開を進め、社会課題解決の新たな手段として認識されるよう今後も努力する所存である。