

ZW

博士論文

政策形成における生成AIと人間の関係性： 公共交通政策を事例として

Generative AI and Human Relationships in Policy Formation:
A Case Study of Public Transport Policy

氏名：永田 右京

指導教員：○○ 教授

○○大学 大学院 ○○研究科
○○専攻 博士後期課程

2026年○月○日提出

謝辞

本論文の作成にあたり、多大なるご指導とご支援を賜りました〇〇大学教授〇〇先生に、心より感謝申し上げます。先生の温かいご指導と厳しいご助言なしには、本論文を完成させることはできませんでした。

また、〇〇研究科の諸先生方には、研究全般にわたり貴重なご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

〇〇研究所の皆様には、研究の場を提供していただき、有意義な議論を重ねることができました。心より御礼申し上げます。

共同研究者の皆様、特に〇〇様には、多くのデータ収集や分析においてご協力いただきました。深く感謝いたします。

日々の研究生活を共にした研究室の仲間たちには、多くの刺激と励ましをいただきました。皆様との議論は、本研究の発展に不可欠でした。

最後に、私を支え続けてくれた家族に深く感謝いたします。皆様の理解と励ましがあったからこそ、本研究を完遂することができました。

なお、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号：〇〇〇〇〇〇〇〇〇）の助成を受けたものです。

2026年〇月〇日
永田 右京

要旨

本研究は、公共交通政策を舞台に、生成 AI と人間の協調的関係性を探求したものである。

第 1 章では、研究の背景、問題の所在、研究目的を論じた。公共交通政策における「連携・共創」の実装ギャップが、制度的欠陥だけでなく、人間の認知バイアスに起因する可能性を指摘した。

第 2 章では、Human-AI Policy、協調的ガバナンス論、認知バイアスと意思決定、ZK-SNARKs と政策評価に関する先行研究をレビューし、理論的空白を特定した。

第 3 章では、日本の公共交通政策の変遷と制度設計の現状を整理し、Japan MaaS 38 プロジェクトの実証分析を通じて実装ギャップの実態を明らかにした。

第 4 章では、協調ロボット制御モデルを用いた計算論的分析により、現状維持バイアスの閾値効果、確証バイアスの逆説的效果、狭い視野の一貫した負の影響を解明した。

第 5 章では、生成 AI を人間の「執政の創造性」を補完する「杖」として位置づけ、ZK-SNARKs の概念を援用した政策評価システムを提案した。Constitutional AI、市民討議、LLM as a Judge を組み合わせた三層アーキテクチャを設計した。

第 6 章では、認知バイアスへの対処戦略と生成 AI を組み込んだ制度設計への示唆を導出した。

第 7 章では、研究の総括と、都市計画への展開について論じた。

本研究は、生成 AI と人間の関係性を理論的・実証的に探求し、より良い政策形成のための指針を提供した。

キーワード：生成 AI、政策形成、認知バイアス、公共交通政策、ZK-SNARKs、制度設計

Abstract

This study explores the collaborative relationship between generative AI and humans, using public transport policy as an empirical context.

Chapter 1 discusses the research background, problem statement, and objectives. It points out that the implementation gap in "collaboration and co-creation" in public transport policy may be attributable not only to institutional deficiencies but also to human cognitive biases.

Chapter 2 reviews prior research on Human-AI Policy, collaborative governance theory, cognitive bias and decision-making, and ZK-SNARKs in policy evaluation, identifying theoretical gaps.

Chapter 3 examines the evolution of Japanese public transport policy and current institutional design, revealing the reality of implementation gaps through empirical analysis of 38 Japan MaaS projects.

Chapter 4 employs computational analysis using cooperative robot control models to uncover the threshold effect of status quo bias, the paradoxical effect of confirmation bias, and the consistently negative impact of narrow framing.

Chapter 5 positions generative AI as a "staff" that complements human "executive creativity," proposing a policy evaluation system utilizing ZK-SNARKs concepts. It designs a three-layer architecture combining Constitutional AI, citizen deliberation, and LLM as a Judge.

Chapter 6 derives strategies for addressing cognitive biases and implications for institutional design incorporating generative AI.

Chapter 7 summarizes the research and discusses future directions for urban planning applications.

This study provides theoretically and empirically grounded guidelines for better policy formation by exploring the relationship between generative AI and humans.

Keywords: Generative AI, Policy Formation, Cognitive Bias, Public Transport Policy, ZK-SNARKs, Institutional Design

Contents

謝辞	ii
要旨	iii
Abstract	iv
発表論文リスト	xi
1 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 生成 AI と人間の関係性という問い合わせ	1
1.1.2 公共交通政策における「連携・共創」の潮流	1
1.2 問題の所在	1
1.2.1 協調的ガバナンスの実装ギャップ	1
1.2.2 人間の認知限界と政策形成	1
1.2.3 生成 AI の可能性と限界	2
1.3 研究目的と意義	2
1.4 論文の構成	2
2 先行研究のレビュー：Human-AI Policy の議論	3
2.1 はじめに	3
2.2 「執政の創造性」とは何か	3
2.2.1 定義	3
2.2.2 政策過程モデルにおける価値判断	3
2.2.3 ウィキッド・プロブレムとの関連	4
2.3 ルーマン理論による基礎づけ	4
2.3.1 なぜルーマンか	4
2.3.2 コミュニケーションの3段階：情報・伝達・理解	5
2.3.3 構造的カップリング：本研究の核心概念	5
2.3.4 「理解の創造性」の定義	5
2.3.5 AI の原理的限界	6
2.4 Human-AI Policy：政策形成における AI と人間の関係性	6
2.4.1 AI 政策論の展開	6
2.4.2 Human-Centered AI の理念	6
2.4.3 AI の「杖」としての位置づけ	7
2.5 協調制御理論と社会システムへの応用	7
2.5.1 協調制御理論の基礎	7
2.5.2 社会システムへの応用可能性	7
2.6 協調的ガバナンス論	7
2.6.1 協調的ガバナンスの定義	7
2.6.2 公共交通における連携・共創	7
2.6.3 実装ギャップの指摘	8

2.7	認知バイアスと意思決定	8
2.7.1	行動経済学の基礎概念	8
2.7.2	政策プロセスにおける認知バイアス	8
2.8	ZK-SNARKs と政策評価	8
2.8.1	ZK-SNARKs の基本概念	8
2.8.2	政策評価への応用可能性	8
2.9	小括：理論的空白の特定	9
3	舞台としての公共交通政策：現状と課題	10
3.1	はじめに	10
3.1.1	本稿の前提	10
3.1.2	先行研究	10
3.2	フィンランドにおける MaaS の勃興：提案初期論文の確認と法改正	11
3.3	3. 日本版 MaaS の展開と捉え方	13
3.4	現在の法体系と「交通まちづくり」	15
3.5	5. 市民参加の捉え方	17
3.6	日本における公共政策上の MaaS の分析	18
3.7	2020 年の日本版 MaaS 推進 36 事業の総攬	18
3.7.1	事例	20
3.7.2	1. 地方版 MaaS の広域連携基盤構築モデル事業（ひたち圏域）茨城交通株式会社	20
3.7.3	I. 指標	20
3.7.4	II. 市民参加状況	20
3.7.5	2. 鞆の浦 MaaS	20
3.7.6	I. 指標	20
3.7.7	II. 市民参加状況	21
3.8	7. 終わりに	23
3.9	Notes	24
3.10	26
3.11	References	26
4	認知バイアスの計算論的分析	28
4.1	はじめに	28
4.1.1	研究の背景と問題設定	28
4.1.2	政策の変遷	28
4.1.3	実装ギャップの実証的証拠	29
4.1.4	研究目的とアプローチ	29
4.2	理論的枠組みと先行研究	29
4.2.1	協調的ガバナンス理論	29
4.2.2	公共サービス提供における共創	30
4.2.3	協調と共創の効果に関する実証的証拠	30
4.2.4	協調制御理論と社会システム	30
4.3	計算論的モデリング・フレームワーク	31
4.3.1	協調制御モデルの構造	31
4.3.2	運動学モデル	31
4.3.3	制御目標と調整メカニズム	32
4.3.4	認知バイアスの統合	32
4.3.5	協調速度の計算	33
4.3.6	関節角度の更新	33
4.3.7	パフォーマンス指標	33
4.3.8	シミュレーション実装プロセス	33
4.4	実験設計	33

4.4.1	実験の概要	33
4.4.2	バイアス実験	35
4.4.3	統計分析方法	35
4.5	実験結果	35
4.5.1	統計分析結果	35
4.5.2	包括的バイアス効果分析	35
4.5.3	関節別分析	35
4.5.4	実験結果の要約	35
4.6	効果的な協調と共創のための制度設計フレームワーク	39
4.6.1	制度設計の理論的基盤	39
4.6.2	三層制度アーキテクチャ	39
4.6.3	インターフェース管理メカニズム	40
4.7	考察	40
4.7.1	理論的含意	40
4.7.2	実践的含意	41
4.7.3	研究の限界	41
4.8	小括	41
5	生成 AI と人間の関係性：ZK-SNARKs 型政策評価システム	42
5.1	はじめに	42
5.1.1	研究の背景	42
5.1.2	従来手法の限界	42
5.1.3	本研究の目的	43
5.2	ZK-SNARKs と秘匿証明	43
5.2.1	ZK-SNARKs の技術的基礎	43
5.2.2	政策提案への適用可能性	45
5.2.3	ZK-SNARKs vs STARKs：文脈依存性の必然	45
5.3	Constitutional AI と LLM as a Judge	46
5.3.1	LLM as a Judge の概念と発展	46
5.3.2	LLM as a Judge の限界と課題	46
5.3.3	Constitutional AI：訓練手法の理論的基礎	47
5.3.4	Constitutional AI 訓練による LLM as a Judge の実現	48
5.4	システムアーキテクチャと技術統合	49
5.4.1	全体アーキテクチャの概要	49
5.4.2	ZK-SNARKs 秘匿証明特性の LLM 実装：秘密情報の秘匿化処理	49
5.4.3	秘匿性と再現性を高める工学的アプローチ	50
5.4.4	システムの運用フロー	51
5.5	期待される効果と今後の展望	52
5.5.1	期待される効果	52
5.5.2	今後の課題	53
5.5.3	今後の展望	53
5.6	結論	54
5.6.1	参考文献	54
6	制度設計への示唆	56
6.1	理論的含意	56
6.1.1	第 4 章のシミュレーション結果からの設計原則	56
6.1.2	第 5 章の ZK-SNARKs システムからの制度的含意	56
6.2	各バイアスへの対処戦略	56
6.2.1	現状維持バイアス：小さな変化の積み重ね	56
6.2.2	確証バイアス：多様な視点の構造的導入	56
6.2.3	狭い視野：全体目標の可視化	56

6.3	生成 AI を組み込んだ制度設計	57
6.3.1	政治的-行政的インターフェース	57
6.3.2	行政的-事業的インターフェース	57
6.3.3	ZK-SNARKs 型システムの制度的位置づけ	57
6.4	「連携・共創」の再設計	57
6.4.1	三層制度設計 (S-T1-T2-O) の再考	57
6.4.2	生成 AI を「杖」として活用するガバナンス	57
6.5	小括	58
7	結論：都市計画への展開	59
7.1	研究の総括	59
7.1.1	研究目的の達成	59
7.1.2	核となる主張	59
7.2	理論的貢献	59
7.2.1	認知バイアスの計算論的分析手法の政策科学への導入	59
7.2.2	ZK-SNARKs 概念の政策評価への応用	59
7.2.3	生成 AI の「杖」としての理論的位置づけ	60
7.3	実践的貢献	60
7.3.1	制度設計への提言	60
7.3.2	ZK-SNARKs 型政策評価システムの設計指針	60
7.4	今後の課題：都市計画を舞台にした実証	60
7.4.1	より複雑な政策領域への適用	60
7.4.2	ZK-SNARKs システムの社会実装	60
7.4.3	生成 AI と人間の協調的関係性の継続的検証	60
7.5	結び	60
A	付録	63
A.1	協調ロボット制御モデルの数式展開	63
A.1.1	運動学モデル	63
A.1.2	協調係数の計算	63
A.2	Japan Maas プロジェクト分析の詳細	63
A.2.1	分析対象プロジェクト一覧	63
A.2.2	評価指標のコーディング基準	63
A.3	ZK-SNARKs 型政策評価システムの実装詳細	64
A.3.1	システム構成	64
A.3.2	技術的仕様	64

List of Figures

3.1	Hekkilä(2014)で提唱される MaaS の主体関係モデル(Reorganized Mobility Scheme、筆者翻訳・作成)	13
3.2	日本版 MaaS における要素技術の状況	19
3.3	日本版 MaaS における目標値決定状況	22
4.1	ステークホルダー調整をロボットアーム制御を通じて分析するための 6 段階の方法論を示すシミュレーションプロセスフロー	34
4.2	異なる認知バイアスがステークホルダー調整パターンにどのように影響するかを示すアニメーションシナリオ	34
4.3	確証バイアスの建設的効果：調整パフォーマンスへの影響	36
4.4	現状維持バイアスの閾値効果：強度 0.25 前後での急激な変化	36
4.5	狭い視野バイアスの線形劣化：一貫した負の影響	37
4.6	基部関節（基礎ステークホルダー）へのバイアス効果	37
4.7	エンドエフェクタ関節（最終実装ステークホルダー）へのバイアス効果	38
4.8	効果的な協調のための三層制度設計	39
5.1	本研究の全体像 - 市民討議、ZK-SNARKs、Constitutional AI の統合アーキテクチャ	44
5.2	ZK-SNARKs の 4 つの本質的特性	44
5.3	ZK-SNARKs による秘匿証明の概念	45
5.4	LLM as a Judge の概念 - 大規模言語モデルによる評価の枠組み	47
5.5	Constitutional AI の訓練プロセス - 憲法的原則に基づく自己改善	48
5.6	システムの統合アーキテクチャ - 人間層、訓練層、運用層の 3 層構造	50
5.7	ステークホルダージャーニー - 準備段階、評価段階、決定段階の運用フロー	52
5.8	提案する政策対話インフラの 4 つの目的	55

List of Tables

6.1 認知バイアスと生成 AI を考慮した三層制度設計	57
A.1 評価指標のコーディング基準	64
A.2 技術的仕様	64

発表論文リスト

査読付き論文

1. Nagata, U. (2025). ”「日本版 MaaS」は「交通まちづくり」の一類型として捉えられるか？目標とガバナンスについての一考察”, 『日本評価学会誌』, Vol.XX, No.X, pp.XX-XX.
2. Nagata, U. (2025). ”Re-designing Collaboration and Co-creation in Regional Public Transport Policy: Integrated Approach to Cognitive Biases and Institutional Coordination”, 土木学会論文集, Vol.XX, No.X, pp.XX-XX.
3. Nagata, U. (2025). ”ZK-SNARKs 概念を援用した、ウィキッド・プロブレムに対応する政策評価の仕組み”, 『公共政策学会誌』, Vol.XX, No.X, pp.XX-XX.

学会発表

1. 永田右京 (2024). ”地域公共交通計画の実装ギャップに関する分析”, 日本公共政策学会 2024 年度大会.
2. 永田右京 (2024). ”認知バイアスが政策協調に与える影響の計算論的分析”, 土木学会第 XX 回年次学術講演会.
3. 永田右京 (2025). ”生成 AI と人間の協調的関係性の設計”, 日本行政学会 2025 年度大会.

Chapter 1

序論

1.1 研究の背景

1.1.1 生成 AI と人間の関係性という問い合わせ

近年、生成 AI (Generative AI) の急速な発展により、政策形成プロセスにおける AI 活用の可能性が広く議論されている。ChatGPT をはじめとする大規模言語モデル (Large Language Models, LLM) は、テキスト生成、要約、分析などのタスクにおいて人間と同等、あるいはそれ以上の性能を示す場面も増えている。しかし、AI が「人間を代替」するのではなく、「人間を補完」する関係性をどのように設計すべきかという問い合わせは、依然として未解決のままである。

本研究では、生成 AI を人間の「執政の創造性」¹を補完する「杖」として位置づけ、両者の協調的関係性のあり方を探求する。

1.1.2 公共交通政策における「連携・共創」の潮流

日本の公共交通政策においては、2002 年の規制緩和以降、「連携」と「共創」が重要な政策概念として位置づけられてきた。特に 2021 年の「ポストコロナ時代の地域交通の共創に関する検討会」(国土交通省)においては、交通事業者による地域活性化、異業種との協働、コミュニティ参画という三つの次元での「共創」が提唱されている。

しかし、こうした政策的意図にもかかわらず、実装段階では多くの課題が指摘されている。

1.2 問題の所在

1.2.1 協調的ガバナンスの実装ギャップ

公共交通政策における「連携・共創」は、制度的には整備されつつあるものの、実践レベルでは大きなギャップが存在する。例えば、Japan MaaS の 38 プロジェクトを分析した先行研究²によれば、92% のプロジェクトが事業指標のみを重視し、社会的影响やアクセシビリティ改善を評価指標に組み込んだのは 29% に留まる。さらに、市民参加の仕組みを設けたプロジェクトはわずか 5% であった。

この実装ギャップは、単なる制度的欠陥だけでなく、人間の認知特性に起因する可能性がある。

1.2.2 人間の認知限界と政策形成

人間の意思決定は、認知バイアス (cognitive biases) の影響を強く受けることが知られている [1]。特に政策形成プロセスでは、変化への抵抗や現状の維持選好を示す現状維持バイアス (Status Quo Bias)、自己の信念を確認する情報の優先的選択という確証バイアス (Confirmation Bias)、局所的最適化への固執や全体最適の見落としという狭い視野 (Narrow Framing) が重要な影響を及ぼ

¹価値判断、コミュニケーション、新たな規範の創造といった人間固有の能力

²第 3 章で詳述

す。これらのバイアスは、ステークホルダー間の協調を阻害し、政策の実装ギャップを生む一因となっている可能性がある。

1.2.3 生成 AI の可能性と限界

生成 AI は、膨大な情報の処理、パターン認識、予測を行うことで、EBPM（証拠に基づく政策形成）を支援する強力なツールとなり得る。しかし、AI には本質的な限界も存在する。第一に、規範的判断・価値創造の不在である。AI は何が社会にとって「善い」のかを判断できない。第二に、文脈理解の困難性である。学習データの範囲外の「未知の状況」への適応には限界がある。第三に、「創造性」の源泉の欠如である。人間的な自発的な搖らぎやアナログな現実世界の機微を再現できない。

これらの限界を踏まえつつ、AI を「杖」として活用する関係性をどのように設計すべきかが問われている。

1.3 研究目的と意義

本研究の目的は、以下の三点である。第一に、公共交通政策における実装ギャップの要因として、人間の認知バイアスの影響を計算論的に解明する。第二に、生成 AI と人間の協調的関係性を具体化するシステムとして、ZK-SNARKs 型政策評価システムの可能性を探る。第三に、認知バイアスと生成 AI を考慮した制度設計への示唆を導出する。

本研究の意義は、生成 AI と人間の関係性を理論的・実証的に探求し、より良い政策形成のための指針を提供することにある。

1.4 論文の構成

本論文は 7 章から構成される。第 2 章では先行研究のレビューを行い、Human-AI Policy の議論を中心に整理する。第 3 章では舞台としての公共交通政策の現状と課題を論じる。第 4 章では認知バイアスの政策協調への影響について計算論的分析を行う。第 5 章では生成 AI と人間の関係性として、ZK-SNARKs 型政策評価システムを提案する。第 6 章では制度設計への示唆を導出する。第 7 章では結論として、都市計画への展開について論じる。

Chapter 2

先行研究のレビュー：Human-AI Policy の議論

2.1 はじめに

本章では、本研究の理論的基盤となる先行研究をレビューする。特に、「執政の創造性」とルーマン理論、生成 AI と政策形成、人間-AI 協調の理論、協調的ガバナンス論、認知バイアスと意思決定、ZK-SNARKs と政策評価の六つの領域を中心に整理し、理論的空白を特定する。

2.2 「執政の創造性」とは何か

2.2.1 定義

「執政の創造性」とは、以下のように定義される：

執政の創造性：社会の構成員同士のコミュニケーションを前提に、価値判断を基盤として、新たなガバナンスの範囲を生成・配分していく能力。

この定義は、三つの要素から構成される。第一に、政策は、単一の主体による合理的決定ではなく、複数の主体間のコミュニケーションを通じて形成される。第二に、政策決定は統計的平均や客観的指標への還元が不可能な、主体的な価値判断を要する。第三に、政策は固定された枠組みではなく、状況に応じて新たな範囲を創造し続ける動的なプロセスである。

この概念は、カンギレム (Canguilhem) の「規範の創造」概念 [2] および井庭の創造システム理論 [3] を統合したものである。カンギレムは、「正常」とは統計的平均ではなく、「生の独自的な規範性」を肯定することであると論じた。健康とは客観的指標ではなく、主体によって体験される価値である。同様に、政策における「正しさ」も、統計的効率性ではなく、主体による価値判断に基づく。

井庭の創造システム理論では、コミュニケーションの「わかり合えなさ」から出発し、「発見」を要素とするシステム上で創造が起こるとされる。本研究は、この創造のプロセスを政策の文脈に適用し、「執政の創造性」として定式化する。

2.2.2 政策過程モデルにおける価値判断

「執政の創造性」の重要性は、既存の政策過程モデルを分析することで裏付けられる。主要な政策過程モデルを見てみよう。

政策の窓モデル

キングドン [4][5] による政策の窓モデルは、政策過程に「問題」「政策代替案」「政治」という 3 つの独立した流れが存在し、それらが特定の時点で合流したときに政策決定が生じることを示す。

キングドンは、この3つの流れが合流する瞬間を「政策の窓」が開くと表現する。窓は一時的にしか開かず、逃したら再び開くまで長く待たなければならない。

このモデルが示すのは、政策決定は論理的な手順ではなく、問題と解決案と政治的機会の偶然の出会いによって生じるということである。この「偶然の出会い」を見極め、窓が開いた瞬間に行動するには、人間の価値判断と政治的勘が不可欠である。AIは過去のデータから傾向を分析することはできても、「今がチャンスだ」と感じ取り、その瞬間に動くという状況認識と行動のタイミングについては、人間の判断に依存せざるを得ない。

唱導連携モデル

唱導連携モデル（Advocacy Coalition Framework）は、サバティエ^[6]らによって開発されたモデルであり、特定の政策分野において、共通の信念体系を共有する主体たちが連携（コアリション）を形成し、政策を唱導するプロセスを分析する。

このモデルの特徴は、政策を単なる利害調整ではなく、信念体系の競合として捉える点にある。各連携は、(1) 深層核信念（基本的価値観）、(2) 政策核信念（具体的政策目標）、(3) 二次的側面（手段的判断）という階層的な信念体系を持つ。

ここで重要なのは、どの信念を優先すべきか、どの連携の主張を採用すべきかという判断が、常に価値判断を伴うということである。統計的データや客観的分析だけでは、信念の競合を解決できない。どの価値を重視するかという判断が必要であり、これは人間の創造的適応能力に依存する。

村松モデル

村松^[7]モデルは、日本の政策過程を「与党・官僚・利益団体」の三者関係として分析する枠組みである。このモデルでは、政策決定はこれら三者の交渉と取引を通じて行われる。

真渕による修正版では、野党勢力や新規参入者の役割も考慮される。既存の産業組織が維持しようとする価値と、新規参入者が求める変革の価値が衝突する中で、政治家はバランスを取る必要がある。

このモデルが示すのもまた、利害の調整と価値の優先順位付けが政治的本質であり、それは計算可能な最適化問題ではないということである。三者間の「妥当な落としどころ」を見出すには、人間同士の交渉と相互調整が不可欠である。

2.2.3 ウィキッド・プロブレムとの関連

公共政策の多くは、Rittel & Webber^{[8][9]}の「ウィキッド・プロブレム（Wicked Problems）」の性質を帶びている。ウィキッド・プロブレムとは、決定的な問題定義がなく、問題そのものが何であるかについて利害関係者の間で合意がない問題である。停止ルールもなく、いつ問題が「解決」されたのかを客観的に判断できない。解は「良い/悪い」ではなく「より良い/より悪い」であり、最適解は存在せず、複数の利害のバランスを取るしかない。また、解を適用した結果、予期せぬ副作用が生じる可能性があり、社会実験はやり直しが効かない。さらに、すべてのウィキッド・プロブレムは本質的にユニークであり、過去の経験から単純に適用できない。

ウィキッド・プロブレムへの対応は、終わりのない創造的プロセスである。そして、「終わりがないからこそ、政治がその不快さを受け入れる必要がある」のである。この終わりのない創造的プロセスこそが、人間による政策の固有の意味であり、AIには代替不可能な領域である。

2.3 ルーマン理論による基礎づけ

2.3.1 なぜルーマンか

コミュニケーションを理論的基軸とする場合、ユルゲン・ハーバーマスの「コミュニケーション的行為理論」^[10]も選択肢として存在する。しかし、本研究はルーマン^[11]の立場を採用する。その理由を説明する。

ハーバーマスは、コミュニケーションを「了解志向的」な行為として捉える。コミュニケーションの理想的状態では、参加者が互いに「了解」に到達し、合意を形成することが期待される。こ

の立場からは、コミュニケーションの「失敗」や「誤解」は、理想的言語状況からの逸脱として問題視される。

これに対し、ルーマンはコミュニケーションを「了解の否定」を内包するプロセスとして捉える。ルーマンによれば、コミュニケーションは常に「理解」と「誤解」の双方を可能性として含んでおり、「わかり合えなさ」こそがコミュニケーションの本質的な特徴である。

本研究がルーマンの立場を採用する理由は、以下の二点にある。

第一に、「わかり合えなさ」を「創造の源泉」として位置づける視点が必要である。ハーバーマス的な「理想的了解」を前提とすれば、AIも「十分に良い」情報処理を行うことで「機能的な了解」に貢献できると主張しうる。しかし、ルーマン的な視点からは、「わかり合えなさ」から生じる価値判断と意味構成のプロセスこそが創造の核心であり、これをAIは代替できない。

第二に、政策的決定における「価値競合」の不可避性も重要である。公共政策は、ハーバーマスが想定する「理想的言語状況」において理性の力だけで解決可能な問題ではなく、複数の正当な価値が競合するウィキッド・プロブレムとしての性質を持つ。このような状況では、「了解」への到達よりも、「わかり合えなさ」を前提とした創造的適応こそが求められる。

2.3.2 コミュニケーションの3段階：情報・伝達・理解

ルーマン[11][12]によれば、コミュニケーションは「情報(Information)・伝達(Mitteilung)・理解(Verstehen)」という3つの選択過程から構成される。

情報(Information) 多数の可能性の地平からの一つの選択であり、何を語るかの選択である。

伝達(Mitteilung) 多数の伝達可能性からの選択であり、いかに語るかの選択である。

理解(Verstehen) 多数の理解可能性からの選択であり、いかに受け止めるかの選択である。

ルーマンは、「三つの選択のはたらきのすべてが総合されるときにはじめてコミュニケーションというものが成り立つ」と強調する。この3層構造は、コミュニケーションが単純な情報伝達ではなく、各段階で選択と解釈が介在する複雑な過程であることを示している。

2.3.3 構造的カップリング：本研究の核心概念

ここで重要なのが、ルーマンにおける「構造的カップリング(strukturelle Kopplung)」[11][13]の概念である。これは、作動上は完全に独立(閉鎖)している複数のシステムが、互いに不可欠な環境として影響し合う関係を指す。

ルーマン理論において、最も重要な構造的カップリングは、「心的システム(意識)」と「社会システム(コミュニケーション)」の関係である。心的システムは思考し、社会システムはコミュニケーションする——それぞれ別の作動を行う。しかし、心的システムがなければコミュニケーションは発生しない。意識はコミュニケーションに対して、刺激や誘発を与えたり、あるいは邪魔をしたりすることができる。ただし、意識がコミュニケーションを「因果的に決定」するわけではない。意識はあくまで環境として、コミュニケーション・システムに「刺激」を与え、システム側がそれを独自の論理で処理する¹。

2.3.4 「理解の創造性」の定義

以上の理論的整理を踏まえ、本研究で論じる「理解の創造性」を以下のように定義する：

理解の創造性：心的システムと社会システムの構造的カップリングにおいて、心的システムから社会システムへの刺激として提供される、価値判断を伴う意味構成のプロセス。

¹ここで注意すべきは、ルーマン理論において「認知」は心的システム内部に所在し、社会的システムに「分布」しているわけではないことである。構造的カップリングは、社会的コミュニケーションが心的システムを刺激することを可能にするが、認知プロセスそのものは心的システムのオートポイエーシスとして完結する。

この定義は、ルーマンの厳密な意味での「理解」（コミュニケーション接続）とは区別される。本研究が着目するのは、コミュニケーション接続を駆動する「価値判断の源泉」としての心的システムの役割である。

この観点から、「わかり合えなさ」は単なる誤解ではなく、構造的カップリングにおいて各心的システムが独自の価値判断に基づいて意味を構成する結果として生じる、コミュニケーションの本質的な特徴として理解される。

この価値判断を伴う意味構成のプロセスこそが、人間固有の創造性であり、本研究が「執政の創造性」として定式化する対象である。

2.3.5 AI の原理的限界

ルーマンの理論において、機械はオートポイエシス・システム（生命・意識・社会）とは区別される「非ポイエティック」な存在とされている [11]。AI システムも基本的には計算機プログラム（機械）上で動作するシステムである。AI——その最先端の形態を含めて——は心的システムに該当しない。

オートポイエティックでない：たとえ自己学習能力を持つ AI であっても、その「学習」は人間が設計したアルゴリズムと訓練データに依存している。外部からの入力なしに自律的に自身の「思考」を産出し続ける閉鎖的なネットワークを持たない。

自己言及的な意味処理を行わない：AI の確率的出力は、文脈に応じて「もっともらしい」次のトークンを選択するが、この選択プロセスは自己言及的ではない。AI は「この意味を選択したこと自体」を次の処理の地平として開くことはなく、単に統計的パターンに基づいて出力を生成する。

価値判断を伴わない：心的システムからの刺激は「何が重要か」「何を優先すべきか」という規範的判断を前提とするが、AI の出力は統計的パターンに基づいており、独自の規範的判断を伴わない。以上の議論から、公共政策における AI の原理的限界が明らかになった。AI は「情報」の選択や「伝達」の補助には機能しうるが、「理解」の創造的プロセスには原理的に参加できない。AI は心的システムを持たないため、価値判断を伴う意味構成を行えないのである。

2.4 Human-AI Policy：政策形成における AI と人間の関係性

2.4.1 AI 政策論の展開

公共政策における AI 活用に関する議論は、2010 年代後半から急速に発展してきた。初期の議論は、AI による行政サービスの効率化や自動化に焦点が置かれていたが、近年では AI と人間の関係性そのものが問い合わせの中心となっている [14]。

この転換の背景には、生成 AI (ChatGPT、Claude、Gemini 等) の登場がある。これらの技術は、従来の AI (分類・予測) とは異なり、創発的なテキスト生成能力を持つ。この能力は、政策文書の作成、選択肢の生成、市民との対話など、政策形成の核となるプロセスに直接関与しうる。

2.4.2 Human-Centered AI の理念

Shneiderman (2022) [14] は、Human-Centered AI (HCAI) の理念として、以下の 2 軸マトリクスを提示している：

高自動化・低制御 AI が自律的に判断し、人間は結果を受け入れるのみ

高自動化・高制御 AI が提案を行い、人間が最終判断を下す

低自動化・高制御 人間が主導し、AI が補助的な役割を果たす

低自動化・低制御 人間も AI も十分に機能しない状態

本研究が着目るのは「高自動化・高制御」の領域である。この領域では、AI の計算能力と人間の規範判断力が相互に補完し合う。

2.4.3 AIの「杖」としての位置づけ

生成AIを「杖（Aaron's rod）」として位置づける視点は、AIが人間を代替するのではなく、人間の能力を補完・增幅する道具として活用する考え方である。

この視点からは、いくつかの設計原則が導かれる。第一に、AIは人間の最終判断を前提とする事である。第二に、AIの限界を明示的に理解することである。第三に、人間-AI協調のプロセスを透明化することである。第四に、AI自身のバイアスに対処することである。第五に、説明責任は常に人間が負うことである。

この「杖」としての位置づけは、AIを「執政の創造性」を支援する道具として捉え直す視点を提供する。

生成AIは、いくつかの領域では人間を補完し得る。データの処理・分析、選択肢の生成・提示、文書作成の効率化、多様な視点の提示、そして認知バイアスの指摘（「悪魔の代理人」機能）などがその例である。

一方で、いくつかの領域では人間の役割が不可欠である。規範的判断（何が「善い」か）、文脈に応じた柔軟な対応、新たな価値の創造、政治的なアカウンタビリティ、そして最終的な責任の所在などがその例である。

2.5 協調制御理論と社会システムへの応用

2.5.1 協調制御理論の基礎

協調制御理論（Cooperative Control Theory）は、複数の自律エージェントが協調して共通の目標を達成するための制御手法を研究する分野である [15]。

この理論は、いくつかの重要な特徴を持つ。分散的な意思決定を行うこと、局所的な情報に基づく協調を行うこと、そして全体的な目標の達成を目指すことである。

2.5.2 社会システムへの応用可能性

協調制御理論は、社会システムの分析にも応用可能である。特に、複数のステークホルダーが関与する政策ネットワークにおいて、各主体が自律的に行動しながら全体としての政策目標を達成するプロセスをモデル化できる。

本研究では、協調ロボット制御モデルを用いて、政策ネットワークにおけるステークホルダー間の協調を分析する（第4章で詳述）。

2.6 協調的ガバナンス論

2.6.1 協調的ガバナンスの定義

Ansell and Gash (2008) [16] は、協調的ガバナンスを以下のように定義している：

「一つまたは複数の公共機関が、非政府のステークホルダーを、合意形成志向で審議的な集団的意思決定プロセスに直接関与させる統治のあり方」

2.6.2 公共交通における連携・共創

日本の公共交通政策においては、「連携」と「共創」が重要な概念として位置づけられている [17]。Kato et al. (2009) は、コミュニティ参加型地域公共交通の成功条件として、関係ステークホルダー間での認識と責任分担の共有、各ステークホルダーが参加から利益を得られること、ステークホルダーを調整するキーパーソンの存在、そしてステークホルダーの努力が利用促進・価値向上につながることを指摘している。

2.6.3 実装ギャップの指摘

しかし、こうした理論的条件にもかかわらず、実践レベルでは多くの課題が指摘されている。Emerson et al. (2012) [18] は、協調的ガバナンスが直面する課題として、高い取引コスト、最小公約数的な解決策への収束、そして組織された利益による捕捉を指摘している。

2.7 認知バイアスと意思決定

2.7.1 行動経済学の基礎概念

Kahneman (2011) [1] は、人間の思考を「システム 1（速い思考）」と「システム 2（遅い思考）」に分類し、認知バイアスがシステム 1 の特性に起因することを示した。

2.7.2 政策プロセスにおける認知バイアス

政策形成において特に重要な認知バイアスとして、以下の三つを取り上げる：

現状維持バイアス (Status Quo Bias)

Samuelson and Zeckhauser (1988) [19] によって提唱された概念で、変化よりも現状を維持することを好む傾向を指す。

確証バイアス (Confirmation Bias)

既存の信念や仮説を支持する情報を優先的に探し、反証する情報を無視・軽視する傾向 [20]。

狭い視野 (Narrow Framing)

問題を孤立して考え、より広い文脈や長期的な影響を考慮しない傾向 [1]。

2.8 ZK-SNARKs と政策評価

2.8.1 ZK-SNARKs の基本概念

ZK-SNARKs (Zero-Knowledge Succinct Non-interactive Arguments of Knowledge) は、暗号技術の一種であり、秘密情報を公開することなく、その情報の正しさを証明する技術である [21]。ZK-SNARKs は以下の 4 つの特性を持つ：

Zero-Knowledge 証明を通して元の秘密情報が一切漏洩しない

Succinct 証明サイズが常に数百バイト程度と一定

Non-interactive 証明者から検証者への 1 回の送信で証明完了

Arguments of Knowledge 真の知識を所有している必要があり偽造不可能

2.8.2 政策評価への応用可能性

ZK-SNARKs の概念を政策評価に応用することで、「秘密を守りながら専門性を証明する」仕組みが実現可能になる。例えば、企業が自社の技術情報を公開せずに、政策課題への貢献可能性を証明できる。

本研究では、ZK-SNARKs の概念を援用した政策評価システムを LLM as a Judge と組み合わせて提案する（第 5 章で詳述）。

2.9 小括：理論的空白の特定

先行研究のレビューから、いくつかの理論的空白が明らかになった。第一に、「執政の創造性」の理論化である。ルーマンの社会システム理論を用いて「執政の創造性」を基礎づけ、AIと人間の役割分担を明確にした研究は限定的である。第二に、認知バイアスと政策協調の接続である。協調的ガバナンスの失敗要因として認知バイアスに着目した研究は限定的である。第三に、計算論的分析手法の欠如である。政策協調プロセスを計算論的にモデル化した研究は少ない。第四に、ZK-SNARKs 概念の政策評価への応用である。暗号技術の概念を政策評価に応用した試みは先駆的である。

本研究は、これらの空白を埋めることを目指す。

Chapter 3

舞台としての公共交通政策：現状と課題

3.1 はじめに

3.1.1 本稿の前提

近年、日本において「Mobility as a Service」の勃興が著しい。2019年度より始まった「日本版 MaaS 推進事業」は、瞬く間に全国各地に広がり、現在までに 100 事業以上のプロジェクトを送り出している。本稿ではこうしたプロジェクトがどのような体制の下に進められ、またどのような検証体制が敷かれているかについて、国土交通省の公開している資料を基として実証的に考察する。なお、本稿における「日本版 MaaS」は、国土交通省による定義に基づく。

前提として、本稿のスタンスを明らかにする。本稿でいう「公共交通」とは、他人の運転の提供によって、移動できるようになるサービスであり、これはタクシー、ライドシェアなどを含む。

また本稿における分析モデルとして、政策過程論を採用する。政策過程は、目的を設定した上で現状を理解し、そのギャップを課題として認識した上でそれを解決するための方策を列举し、実施する政策を決定するという一連の流れである。この中で、どのように目標をたて、またどのように目標を設定しているかが、本稿における大まかな分析対象である。

本稿で言う「交通まちづくり」の概念は、太田¹⁾の述べるような「交通に関連する地域の課題への対応をベースにして、市民と行政が協働して進めるまちづくり」である。原田編²⁾の述べるところの定義である「まちづくりの目的に貢献する交通計画」とは異なり、「市民の参加と協働により発展的に進める活動プロセス」である。この中では、「交通計画における住民、市民の参加」「都市計画、都市づくりとの連携」の 2 点が重要視されている。

3.1.2 先行研究

日本版 MaaS について、その特徴を述べた文献はいくつかある。

まず注目されるのは、特に過疎地域や地方中核市における交通が抱える課題を解決するためのアプローチとしての見立てである。魏³⁾は、日本の MaaS の注目点が「地方型 MaaS」である点に言及したうえで、日本の MaaS の特徴について以下のように述べている。

「地方型」MaaS は、地域の資源や特性を最大限活かしながらより満足度の高いモビリティサービスを提供することであり、地域にある交通モード間の連携強化により、その場その場で発生した交通需要（生活交通需要、観光交通需要）を上手く汲み上げ、集約することで実現できるものである。

また藤本⁴⁾では、欧州における MaaS が「都市型 MaaS」と「地方型 MaaS」に分化されており、また日本版 MaaS が「地方型」を含む 5 類型に分割されている点に触れたうえで、地方型 MaaS を検討するポイントを 5 つに整理している。

MaaS 自体の実装にかかる研究も進んでいる。後藤⁵⁾は、MaaS を旅行業の一類型ととらえ、企画旅行業務を適用する可能性やデータ供給の課題について論じている。

既存の公共交通運営体制に関する議論は、多くの場合「どのような取り組み」があったか、また「どのような評価が可能か」という 2 つに大別される。前者の場合、生活バスよっかいについての事

例報告を行った福本・加藤⁶⁾や、多くの日本モビリティマネジメント会議の報告に代表される。また「どのような評価が可能か」については、アクセシビリティ評価の地域への適用について実例を分析した喜多⁷⁾などがあげられる。公共交通に関する責任分担や意思決定組織についての検討も複数ある。

本稿で前提とした「交通まちづくり」の考えでは、交通政策における市民参加と地域戦略との連携が重視されていると考えられる。また後述するものであるが、地域公共交通に関する法体系においても、交通政策の戦略性を重視している。ただ少なくとも「日本版 MaaS」において、法体系からの課題意識を導入した包括的な研究、また交通事業者としてではない形で計画の要件定義から携わる市民参画の有無、に関する実証的な研究は見当たらなかった。

このように、上記に示したような実証的な研究を実施し、結果として「交通まちづくり」の思想を援用できないか検討する作業には新規性があり、結果によっては思想によるバックアップをもとに日本における MaaS の広がりを支援できる可能性がある。

本稿のクエスチョンと仮説

本稿は、いわゆる「日本版 MaaS」を「交通まちづくり」実践の一類型と捉え、以下の 2 つの問い合わせ検討し、結果としてこの捉え方が適切かについて確認するものである。

- ・「日本版 MaaS」の政策進捗において目標設定がどこに置かれているか
 - ・立場を問わない市民による批判回路がどのように整備されているのか
- 本分析における仮説としてはそれぞれ、
- ・目標設定は、MaaS 事業の事業性に関して設定されるが、それ以外の地域に関する効果については設定されない
 - ・市民による批判回路は、協議会に閉じず、パブリックコメント、市民代表参加、座談会、ワークショップなどの機会を通じて設定されている
- と設定している。

本稿の流れ

日本版 MaaS について議論する前にまず、2 章及び 3 章では、日本および勃興場所であるフィンランドにおける MaaS の展開について簡単にまとめる。次に 4 章では、公共交通に関する法体系についてまとめ、前提となる理論について記述する。上記 2 点については前者の問い合わせに対応する。5 章にて「市民参加」に関する理論体系を確認する。これは後者の問い合わせに対応する。これを踏まえて、6 章では事業 2 年目で件数が一番多く、「地域特有の課題の解決に寄与することが見込まれる、地域特性に応じた MaaS のモデルとなり得る」と紹介され、本研究の方向性と合致する 2020 年の「日本版 MaaS」において行われた事業について総攬し、全ての事業に対して前述の問い合わせを確認する。最後に、現在の政策に提供される示唆をまとめる。

3.2 フィンランドにおける MaaS の勃興：提案初期論文の確認と法改正

初期に提案された MaaS の特徴

まず MaaS は、Hekkilä⁸⁾にて初めて学術的な表舞台に立った、公共交通の新しい提供概念である。氏が所属する大学へ依頼されたヘルシンキ市の交通課題解決のために、修士論文で書き上げたものである。これによると、Nokia を主軸としたフィンランドの通信政策やその事業に対する理解の蓄積が、ほぼそのまま交通政策に導入されていることがわかる。

この論文では、論文冒頭のサマリーにおいてその目的を明確に示している。具体的には、公共交通の利用促進が叫ばれ、都市構造への影響が避けられない中で、既存の交通サービス目標は「課題に十分にこたえられていない」と批判している。そのうえで、「公共交通セクターの構造転換が必要である」として「多様で魅力的な交通サービスの便利な提供」として MaaS を定義している。

具体的な MaaS の構造として、「交通サービスプロバイダーから交通サービスを買い、それをユーザーへ提供する」主体を「モビリティオペレーター」と定義している。結果として、交通サービスを従来提供していた事業者と利用者の間に、もう一つの主体が挟まることが特徴である。

公共政策上の MaaS に必要な統治構造変革

この MaaS コンセプトを実現するうえで、政策上で何が必要であるのかについて、Heikkilä は表-1 のように、7 つの政策目標を提示している。

表-1 MaaS を進めるのに必要な要件

(Hekkilä⁸⁾ より筆者翻訳・作成)

表-1 MaaS を進めるのに必要な要件 (Hekkilä 2014 より筆者翻訳)

1. 企業, 当局, 機関, ユーザーなど, すべてのステークホルダーの協力体制の調整：エコシステムの充足のためだけでなく, すべてのステークホルダーのモチベーションを高めるために, すべてのステークホルダーの要求を開発プロセスに取り入れる協力関係を構築せねばならない。
2. サービス・エコシステムの前提条件を満たすための法律・規制の改正：法律, 規制改正の必要性がある。現行の法律において, サービス・エコシステムの開発や新企業の市場参入を妨げている法規制を取り除く必要がある。
3. 共通のルールと適切な規制の構築, およびその遵守状況の監視：新興市場が機能し, すべてのステークホルダーの利益を確保するためには, 適切な規制が必要である。
4. モビリティサービス提供の再編成：交通サービスの提供を変革し,HSL (ヘルシンキ交通局)による公共交通機関のチケット販売の独占を撤廃し, 他の企業も公共交通機関のチケットを販売できるようにする必要がある。
5. 変革されたオペレーションの確立：変革された事業を確立するためには, 現在のビジネスモデルや構造を変更し, モビリティサービス事業者を生み出す必要がある。
6. 購入・補助金手続きの見直し：組織の変革では, 購入と補助金は MaaS オペレーターに直結し, そこから他のレベルに資金が分配されることになる。
7. パイロットとテストエリア：新しいサービスなどのオペレーションをまず小規模にテストした後, プロトタイプを開発し, 再び市場に投入するフィードバックシステムを機能させることができる。

このような政策目標を実現するために, フィンランドでは多様な法改正が行われている。「モビリティ・ローミング」の実現を目標として, 既存サービス事業者及び参入する交通事業者が交通に関する情報提供を義務付けられるとともに, チケット発行と決済に関するシステムへの相互運用が可能となる法律が成立, 2017 年に施行されたという¹.

MaaS とインターネットの類似性

次に, そもそもインターネット産業における構造を見て, その構造の類似点を探ってみる. そもそもフィンランドでは, こうした通信産業と運輸産業に関する規制を, 同一の機関が担当している. インターネットの特徴は, 「いかなる情報であっても運搬可能とすること」, そのために「デジタル化」を挟むことである. デジタル化とは, 従来連続分布であったものの「断片化」, つまり離散分布化である. これをシステムに当てはめるのであれば, 今まであやふやであった役割を定義し, 分割し, その接続要件を定義し, 以てシステム全体の安全性や機能を担保することである.²

先述の論文で述べられているのは, 交通に関わる様々な機能を分化させ, 接続して全体システムを機能させる構造図である. Heikkilä(2014) は「Reorganized Mobility Scheme」として, 交通サービスプロバイダーから交通サービスを買い, それをユーザーへ提供する「モビリティオペレーター」という主体を定義し, 交通事業者と利用者の間に新たな仲介者を挟むモデルを提唱している。

そもそもフィンランドは IT 企業ノキアを擁しており, IT 産業については同様の産業蓄積がある. Heikkilä⁸⁾ では, Casey の議論を引用して, 元々断片的であったシステム群を組み合わせ, さまざまなプレーヤー, サービス, 技術を参入させることで, クオリティをある程度犠牲にしつつも分散的かつオープンな市場を形成した「インターネット革命」について言及している. また, 次いで引用される, 将来的な運輸連合の在り方について議論したドイツ運輸事業者連合会 (VDV) の資料には, MaaS に近い議論がある. 具体的には既存の運輸連合とは異なり, 公共交通事業者と消費者の間に「一つのシンプルなインターフェース」である組織を喰ませることで, より消費者に合った商品開発, 情報提供, パッケージングを通じてサービスを魅力的にできるだろう, としている.

¹石神 (2020)

²企業の水平統合への議論にも繋がる. 機能の分化, 統合を行わずシステム全体が瓦解あるいは不安定になった事例として, 日本航空 (日本航空, 日本エアシステム) やみずほ銀行 (第一勧業銀行, 富士銀行, 日本興業銀行) があげられる.

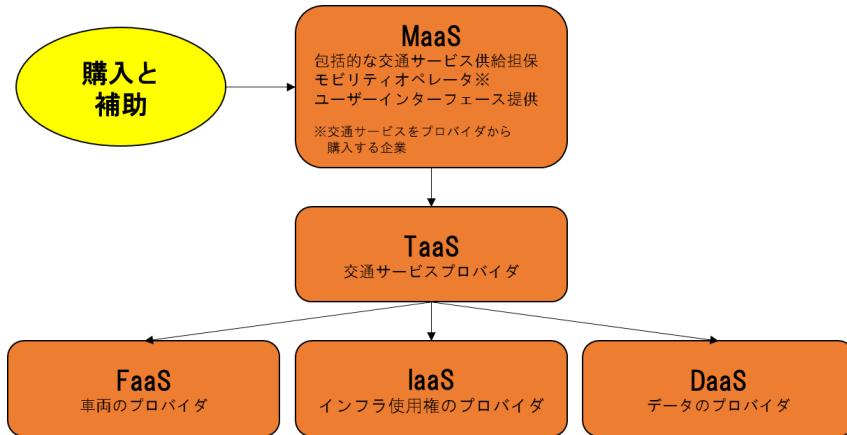


Figure 3.1: Hekkilä(2014) で提唱される MaaS の主体関係モデル (Reorganized Mobility Scheme、筆者翻訳・作成)

以上を纏めると、フィンランドにて定義された MaaS に存在するインターネットエコシステムと類似の概念は 3 点ある。1 点目はモジュール化であり、様々な機能についてルールを決め、目的ごとに分化して整備させることで、システム上でのメタボリズムと堅牢性を確保する。2 点目はネットワークであり、前述のモジュールを接続することで、一つの目的を完結させることを支援する。もう 1 点目はインターフェースの統合であり、様々なサービスがあったとしても、ユーザーとの接点については統合して管理できるようにする。

欧米における MaaS の学術上の定義と分析

特に欧米においては、MaaS の内容について、エコシステムやモデル面から学術面の分析が進んでいる。

Kamargianni, Matyas¹²⁾ は、MaaS のエコシステムとしてコアにデータ提供者、交通事業者、ユーザーを置き、ビジネス環境の構成要員に大学や労働組合、政策立案の主体まで含めたモデルを提唱した。さらに、Arby, Karlsson, Sarasini¹³⁾ は、MaaS の段階として、ビジネスの観点から、以下の 4 レベルに分けた MaaS のモデルを紹介した。具体的には、レベル 0: 統合なし レベル 1: 情報の統合 レベル 2: 予約・支払いの統合 レベル 3: 提供するサービスの統合 レベル 4: 社会全体目標の統合 である。一方で、MaaS というモデル自体の限界も指摘されている。そもそも交通事業者から受け取る手数料が少額であり、また交通が MaaS で提供される統合アプリケーションで購入されているケースも、例えばフランダースでは 3% 程度に過ぎないという³。

3.3 日本版 MaaS の展開と捉え方

翻って、日本での展開は如何様に進んだのだろうか。ここでは、公開されている関連通達の歴史を総攬し、どのような公式の主張がなされたのかを確認する。そして、この個別事業について、どのような分析の方法をあてはめるのが適切かについて議論する。

日本における MaaS 関連事業の基礎研究と展開

日本における、中央官庁による MaaS 推進事業は、主に国土交通省と経済産業省が所管して展開されてきた。2019 年には経済産業省と共同で「スマートモビリティチャレンジ」が開始され、全国 28 事業が指定されることとなった⁴。さらに国土交通省単独でも、2019 年より「日本版 MaaS 推進事業」が推進され、初年度においては 19 事業、2020 年度には 36 事業が選定された⁵。

2020 年 3 月に策定、その後バージョン 2 にアップデートされた「MaaS 関連データの連携に関する

³Zipper(2020)

⁴事業目的によりガバナンスが行われており、その目的となる 5 つは以下のとおりである：①他の移動と重ね掛けし効率化②モビリティでのサービス提供③需要側の変容を促す仕掛け④異業種との連携による収益活用、付加価値の創出⑤モビリティ関連データ取得、交通・都市政策との連携。なお、このプロジェクトは 2020 年に 52 事業へ拡大することとなる。

⁵国土交通省。

「ガイドライン」では、「Society5.0 リファレンスアーキテクチャ」に基づき,MaaS エコシステムも併せて検討が行われている。利用されるデータを「MaaS 関連データのうち, 各 MaaS において設定された最低限のルール等に基づき, 当該 MaaS プラットフォームを利用する全てのデータ利用者が利用可能なものとして, 当該プラットフォームに提供等が行われるデータ」としての「協調的データ」と, 「MaaS 関連データのうち, 当該データの提供者との契約等により個別に共有が行われるものとして, 各 MaaS プラットフォームに提供等が行われるデータ」としての「競争的データ」に分割して定義される。各交通事業者は, 公開されるデータの共通化(フォーマット, 言葉の意味など)について共通のものを整備することが推奨されている。また, バス及びフェリーについては, 前者は GTFS-JP, 後者は「標準的なフェリー・旅客船航路情報フォーマット仕様書(ver2.0)」は標準仕様として設定されている。

日本版 MaaS の定義

このような国土交通省の動きは, 国土交通省の定義する「日本版 MaaS」の考えに基づいている。「日本版 MaaS」の定義についてはこのように述べられている。

日本版 MaaS は, 地域住民や旅行者一人一人のトリップ単位での移動ニーズに対応して, 複数の公共交通やそれ以外の移動サービスを最適に組み合わせて検索・予約・決済等を一括で行うサービスであり, 観光や医療等の目的地における交通以外のサービス等との連携により, 移動の利便性向上や地域の課題解決にも資する重要な手段となるものです。⁶

この定義を参照すると, 日本における MaaS は構造的なものではなく, 地域課題解決ベースのサービス提供について重きを置いている。これに基づけば日本版 MaaS は, いかに交通サービスの対価支払い・生産・提供の一連の消費活動を組み替える意図は持たない。つまり, 国土交通省が考える MaaS は, 制度やシステムの変革というよりむしろ, 交通事業者が提供する公共交通サービスについての改善アイデアコンテスト並びに実証実験, ととらえた方が説明はつきやすい。

国土交通省の引用する MaaS の定義は, 基本的に「都市と地方の新たなモビリティサービス懇談会」に依拠したものになる。具体的には, 「出発地から目的地までの移動ニーズに対して最適な移動手段をシームレスに一つのアプリで提供するなど, 移動を単なる手段としてではなく, 利用者にとっての一元的なサービスとして捉える概念」である。

日本政府の発行する文書における MaaS という単語の初出は, 2018年3月7日の第24回「未来投資会議」であり, 議事での言及はないものの, 国土交通省がすでに検討段階に入っていることがうかがえる。具体的には, ①交通関連データ連携②運賃設計③まちづくりとの連携, の3点において, MaaS を活用する意向であることを示している。同年10月に先述の「都市と地方の新たなモビリティサービス懇談会」が設置され, MaaS に関わる規則体系が整備されていくことになる。

このような考えは, いわゆる「地方創生」を念頭に置いていると考えることもできる。実際, 日本版 MaaS ではサービスの提供目的を「地域課題の解決」に置き—最近では新型コロナ対応も追加された—, モデル変革を目的としておらず, 結果として公共交通政策全体に入るメスはそれほど大きくない。つまり, サービス提供に係るデータプラットフォーム, サービスにおけるアイデアを開拓している状態で, 公共交通へのガバナンスそのものにはあまり変化が見られない。

日本版 MaaS の捉え方

以上から, 日本における政策としての「日本版 MaaS」は, 源流にある MaaS とは分けて考えるべきである。つまり, 本事業にて解決されるべきとされる課題は, 公共交通政策のより効率的, 効果的な推進のための仕組みを新たに作るというよりは, むしろ既存の仕組みを活用して地域課題解決のために交通を動員しようとしている。

以上より, 日本版 MaaS のそれぞれの事業については, 既存の地域公共交通政策の一類型として捉えた分析が妥当である。つまり, 責任体系の分配システムは変わっておらず, 計画を中心とした分析が有効である。

日本における MaaS の定義

なお, 日本における MaaS の定義については, 議論が乱立しているが, これらは主に2つのアプローチに分類される。第一にコンセプトとしてのアプローチ, 第2にチケット統合サービスとしてのアプローチであり, これが混合している。

⁶国土交通省.

前者の代表的な論者として中村文彦、牧村和彦、加藤博和の3者がある、中村はMaaSについて、一つのように公共交通サービスを統合して運用する必要性を強調する。

最大のポイントは『as a Service』の部分にあると思います。つまり公共交通を『まるで一つのサービスであるかのように』使えなければいけないのです。⁷

また牧村は、MaaSについて、アプリケーションへ注目が集まる状況に警鐘を鳴らし、MaaSの本質としてライフスタイルへ注目する⁸。

MaaSは自動車という伝統的な交通手段に加えて、新たな選択肢を提供し、自家用車という魅力的な移動手段と同等かそれ以上に魅力的な移動サービスにより、持続可能な社会を構築していくこうというまったく新しい価値観やライフスタイルを創出していく概念だ。

さらに加藤は、MaaSについて、新たなコンセプトの訳語としての役割を与えていた。つまり、「M:もっと a:あなたしく a:あんしんして S:せいかつできるために」であり、「少なくとも、S=Smartphoneではない」「移動利便性(mobility)向上と地域活性化によって『乗って楽しい』『降りても楽しい』おでかけの選択が促進され『健幸』に資する」とする⁹。こうしたコンセプト(牧原)の指摘するイギリス行政学的に言えばドクトリンとしてMaaSを活用している状況にある¹⁰。後者の代表的な論者として石田東生がある。石田は2020年の記事の中で、最大のMaaSシステムとして「全日本空輸(ANA)や、日本航空(JAL)の既存の予約ネットワークシステム」を挙げており、MaaSが統一して予約できるチケットサービスとして捉えられている⁵⁾。

3.4 現在の法体系と「交通まちづくり」

次に、地域公共交通に関する法律の概要から見ていく。日本版MaaSは現状、一つの理念法、一つの計画、一つの行政法に基づき遂行されている。

交通政策基本法

交通政策基本法は、2013年に可決・成立した、日本における交通政策の理念を定めた法律である。当時の民主党政権が掲げた公約の一つでもあり、政権交代後も議論が続き、成立した。本法では、2条から7条までを理念として、国には「国民の理解を得るよう努める」こと、地方自治体には「その地方公共団体の区域の自然的経済的社会的諸条件に応じた施策を策定し、及び実施する責務」、交通事業者は「その業務を適切に行うよう努めるとともに、国又は地方公共団体が実施する交通に関する施策に協力するよう努める」ことをそれぞれ求め、またこの3者ならびに住民その他の関係者に対して、「基本理念の実現に向けて、相互に連携を図りながら協力するよう努める」としている。また「交通政策基本計画」の策定を国に義務付け、環境大臣との協議を義務付けるなど、所謂「横ぐし」の法体系となっている。

公共交通に関わる点の理念について確認すると、「交通の機能を管理する」という点に重点が置かれている。まず第2条にて「(交通の)機能が十分に発揮されることにより、国民その他の者の交通に対する基本的な需要が適切に充足されることが重要であるという基本的認識の下に行われなければならない」として、交通政策の意義が定義されている。そして第3条にて、目的志向型の交通政策目標設定義務、つまり「交通が、豊かな国民生活の実現に寄与するとともに、我が国の産業、観光等の国際競争力の強化並びに地域経済の活性化、地域社会の維持及び発展その他地域の活力の向上に寄与するものとなるよう、その機能の確保及び向上が図られることを旨として行われなければならない」が記載されている。さらに、その機能を各交通手段が「特性に応じて適切に役割を分担し、

⁷ AndE(2023).

⁸ 牧村 (2021) p18.

⁹ 加藤 (2019) p6.

¹⁰ MaaSを日本に導入した書籍として、日高、牧村、井上、井上(2018)への言及は欠かせないが、論者として書きぬけないためここでは除外した。この書籍ではMaaSについてコンセプト的に紹介しており、記述としては以下である;「あらゆる交通手段を統合し、その最適化を図ったうえで、マイカーと同等か、それ以上に快適な移動サービスを提供する新しい概念」。

かつ、有機的かつ効率的に連携する」ことを規定し（第5条）、また「関係者が連携し、及び協働しつつ、行われなければならない」とする（第6条）。

交通政策基本計画

交通政策基本計画は、前述した交通政策基本法に基づいて策定される計画である。第1次の計画は2015年に策定され、2021年に更新されている。

計画の位置づけは2015年発行の第1次計画に記載されており、「交通政策基本法が提示するこれらの交通政策の長期的な方向性を踏まえつつ、政府が今後講すべき交通に関する施策について定めるものである」とされている。また構成としては、「交通に関する施策の「基本の方針」、計画期間内に目指すべき「目標」、目標の各々について取り組むべき「施策」の三層構造となっており、関係者の責務・役割や連携・協働等についても、施策の推進に当たって「留意すべき事項」として整理している（第1次計画「はじめに」より）。また新型コロナウイルス感染症拡大に伴う利用客数現象の段になって、第2次計画にはこうした時代背景を踏まえる形で、「交通が直面する「危機」と、それを乗り越える決意」という章が追加され、交通事業に対する危機感がつづられている。

横ぐしの法律を背景としているが、地域公共交通に関する目標となっている数値はほとんどの場合、事業がどの程度導入されているか、が指標となっている。

表-2 交通政策基本計画における目標値設定

第1次計画（基本目標A）

- 施策項目名：自治体中心に、コンパクトシティ化等まちづくり施策と連携し、地域交通ネットワークを再構築する。地域の実情を踏まえた多様な交通サービスの展開を後押しする。
- 目標数値（交通事業/計画）：地域公共交通網形成計画の策定総数、鉄道事業再構築実施計画の認定件数、デマンド交通の導入数、LRTの導入割合、コミュニティサイクルの導入数
- 目標数値（非交通事業/計画）：航路、航空路が確保されている有人離島の割合

第2次計画（基本目標A）

- 施策項目名：地域が自らデザインする、持続可能で、多様かつ質の高いモビリティの実現
- 目標数値（交通事業/計画）：地域公共交通計画の策定件数、地域公共交通特定事業の実施計画の認定総数、鉄道事業再構築実施計画の認定件数、新たなモビリティサービスに係る取組が行われている地方公共団体の数
- 目標数値（非交通事業/計画）：航路、航空路が確保されている有人離島の割合

地域公共交通活性化・再生に関する法律

地域公共交通活性化・再生に関する法律は、2007年より施行された公共交通における「総合計画法」である。この法律は、元々は「施策支援法」であった。「頑張る地域を応援する」、「LRT」をはじめとした道路運送法だけでは対応できなかったバス事業以外の交通事業について包括的な連携を図るとともに、交通システムごとの支援メニューを取りそろえたシステムであったのである。さらに、「地域公共交通総合事業」が設定され、関連する実証実験やその調査に関しての補助も設定された。しかし、2010年近傍のいわゆる「事業仕分け」を経て、地域の生活交通を確保する「総合計画法」に転化し、取り組み支援型の事業支援システムを残したまま強制力を持ち始めた。この法律に基づいて策定される「地域公共交通計画」「地域公共交通利便増進計画」を所管する地方運輸局には、路線届出の最終的な受理権限もある。結果としてこのシステムには、地域ごとに、その地域が考える「あるべき交通システム」を設計するためのこうした計画に、「どのような交通手段を導入すべきか」「どのように交通を維持確保していくべきか」という点で、メニューの採用に圧力がかかりやすい特性がある¹¹。

交通まちづくりの定義とその親和性

主に交通政策基本法を基底とした理念体系を確認すると、この内容が驚くほど「交通まちづくり」のそれと類似していることが分かる。

¹¹永田(2022)第2章。

交通まちづくりは前述のように、都市の課題解決のために、公共交通を中心とした交通を動員する交通政策の概念である。既存の交通需要を満たすための交通政策とは異なり、地域の課題解決に貢献する交通を、目的の設定から市民参加を加える形で設計、提供する計画手法で、2005年ごろから主に札幌、横浜、岡山、熊本など政令市における市民団体より勃興してきた。

土木学会にて行われた交通まちづくりの議論では、議論が進むにつれて市民参加の重要性について序列を下げる傾向はみられた¹²ものの、方向性は変わらない。すなわち、公共交通を手段とする方向性は、交通まちづくりの根幹であると言える。政策の直接の接続は確認できていないものの、思想の文脈はここに接続している。

3.5 5. 市民参加の捉え方

本稿は市民参加プロセスについて、手続主義、非帰結主義のスタンスを取るもの、公共交通それ自体に対しては帰結主義のアプローチを取る。

公共交通政策における市民参加に関する議論

公共交通政策における市民参加に関する規範的な議論は、帰結主義に立って市民参加が情報提供と労力提供の役割を持つと説く太田⁸、非帰結主義に立って6つの要件¹³を示す太田⁹、実証的に7つの要件を提示し、協働を通じて「新たな公共、地球の公益」を創造すべきとした森栗¹⁰などがある。近年の交通政策における市民参加に関する実証的な議論では、その市民参加形態は、主に不足する財源や人的資源を確保するため、市民が交通運営者として参画する物に集中している¹⁴。ただ、こうしたスタンスではあくまで、どのように交通事業を成立させるか、また「目の前の交通に対する課題をどのように解決するか」という観点に基づいている。市民参加や住民参加は、目の前にある課題を炙り出し埋め合わせるのに有用であると評価され、計画立案プロセスに組み込まれている。

ただこうしたスタンスは、こと「横ぐし」の領域を扱う地域政策においては、課題の相対化を妨げ、重要度の高い解決すべき課題を見落とす懸念がある。たとえば高齢者の健康増進に公共交通を貢献させるという議論をしても、実のところ効果は他の政策の方が高い、ということは検討されにくい。さらに交通事業者などの公益的な企業は、地域政策の構成員として「選ばれる」というプロセスを経ないことが多い¹⁵ため、概して一方的になりやすい可能性がある¹⁶。こうした状況は、何らかのシステムの導入を通じて是正されるべきと考えられる。

公共サービスとしての公共交通

一方で、地域公共交通は自治体の計画によって定義され、非競合性を持たないため、インフラとしてではなく公共サービスとして定義されるべきである。通信サービスや道路などの非競合性をある程度持つ財とは違い、利用できる時間や容量が、物理的に決定されているからである。つまり、一旦整備したところで供給量は簡単に変化させられない即時材であるとともに、また提供に必要な労力や資源には限りがある。市民参加を通じてそうした資源を導入できるとしても限界があるから、得られる効果とコストとのバランスについて検討すべきである。

望ましい帰結/手続きのスタンスの提案

以上を踏まえ、市民参加の類型としては、地域の目標のうち公共交通が貢献すべき領域を設定する、政策目標設定から関わる形態が望ましい。一方で交通サービスに関しては、他行政サービスと同列に比較され、その地域への貢献によって選択されるべきであろう。

¹²もちろん、こうした議論が政令市から立ち上がった点に関して、財源の自由度や市民全体の理解レベルの高さが寄与した点は容易に想像がつく。このような高い教育レベルと自由度を交通まちづくり初期の前提と考えるならば、日本全国へ交通まちづくりを広げるにあたって、多様な市民の参加を諦めた可能性は大いにある。

¹³1: 民意の反映 2: 民意による利害調整 3: 専門知の活用と専門家の専横の排除 4: 政治プロセスの失敗回避のための国からの各種規制 5: 効率的な交通政策が導出可能 6: 地方自治体から独立。4に関しては、今日の地方自治法と当時のそれは違うから注意が必要である。また6に関しては、都市圏域や生活圏行きが自治体とは違う点から指摘されているのであるので、これらが同一と認められるのであれば独立していなくても問題ないと思量される。

¹⁴代表的なものだと、山下(2009)、福本・加藤(2012)、加藤(2012)などが挙げられる。

¹⁵市場原理の導入も、実際のところ選ばれた状態を確立できているかは不明である。この認識は規制緩和後でも、市場の入退出が活発でない現状に起因する。寺田(2004)によれば、乗合バス市場における新規参入は活発ではなく、規制緩和から1年後までの新規参入者の市場シェアは1%を下回る。規制緩和による退出ルールの明確化が休廃止を増加させた傾向はなく、乗合バスの市場構造は規制緩和後にもあまり変化していない」という。

¹⁶公益法人のガバナンスの更なる強化等に関する有識者会議(2021)。

現状の市民参加は、あくまで目の前にある課題の解決を旨としており、実証主義に基づいた太田の主張通りに情報提供と労力提供の役割を持っている。しかしそれだけでは、全ての計画段階における批判はなし得ないものであり、少なくとも交通の「要件定義」段階である目標立案レベルへの市民参加は、公共サービスの一方性を排するためには重要な要素である。

具体的にはまず、初めに地域において、交通事業以外の数値によって語られる公共交通がもたらすべき影響、つまり「効果」の定義を行う。結果として、交通をあくまで手段として、その「効果」への貢献を推定して議論できる。ここには基本的に、政策手段としての事業を推進する立場となる点から、交通事業者を意思決定主体として組み込んではならない。

こうした目標への市民参加は、それ自体がハンス・ケルゼン¹¹⁾の指摘する民主主義の本質と深く結びついている。政策の目標、手段、あらゆる点に対して市民に批判するための回路を残すことで、武力によるクーデターがなくとも政権の構造転換をなしえる、というのがその主張である。

3.6 日本における公共政策上の MaaS の分析

3.7 2020 年の日本版 MaaS 推進 36 事業の総攬

以上を踏まえた上で、日本において MaaS を推進する「日本版 MaaS」について確認したい。

リサーチクエスチョンの設定

以下の 2 点をリサーチクエスチョンとして置く。

①その政策進捗において目標設定がどこに置かれているか

②立場を問わない市民による批判回路がどのように整備されているのか

本研究は、日本版 MaaS を「MaaS」としてではなく、「交通まちづくり」の一類型として分析し、その目的意識と計画における責任体系の構築状況、すなわちガバナンス状況を探るものである。

分析項目・手法

分析手法について、「計画における計画指標（Key Performance Indicator, 以下 KPI）に事業利用状況以外の指標がある」「会議体において、交通事業者、システム供給者、学識者、自治体以外の市民参加がある」の二つの点を検討し、交通政策を地域政策として運営できているかの評価とする。

①については、MaaS が「事業の手段」としてではなく、「政策の手段」として機能しているかを確認するものである。これを分析する手法としては議事録を分析する、議会を分析するなどの手法が考えられるが、そもそもすべての事例で MaaS について議会で論点となっているわけではない点、また議事録を公開している協議会自体が少ない点から、こうした議事録ベースのアプローチを行うのは困難である。

この点から、評価指標の状況について観察対象とすることとした。MaaS 事業自体の事業性や交通事業の利用状況だけではなく、それ以外の評価指標を計画に置いているかを確認する。

②については、地域における交通事業者など公益的な企業の特性を鑑み、市民参加が行われており目標や手段への批判プロセスがあるかを確認する。市民の行政への批判回路について、議会を通じた参加等はあるが、交通計画では協議会参加、グループヒアリング、アンケート調査、パブリックコメントが推奨手法として取り上げられている¹⁷。これらのうち、合議への参加を通じて直接の批判ができるのは協議会参加のみである。

以上の検討より、会議体への市民の参加を指標としてとらえることとした。座談会、協議会を代表とする場における、交通事業者、システム供給者、学識者、自治体以外の市民参加の存在を、国土交通省が発行する先述のドキュメントと検索エンジン「Google」「Bing」「Yahoo!Japan」を利用した文書探索を通じて確認した。

分析対象

日本版 MaaS は、その事業概要を一定のフォーマットに落とし込んで申請する仕組みとなっており、国土交通省は採択のたびにそれらをまとめた文書を公開している¹⁸。これらには協議会の構成員や目標数値が記載されており、これを分析対象とする。2020 年の日本版 MaaS 推進事業では、全国 36 の事業が認定されており、提出された計画については全件採択となっている。

¹⁷ 国土交通省 (2020).

¹⁸ 国土交通省 (2020b).

ここで、本事業によって実施された事業の特性を説明するために、日本版 MaaS として展開された各事業について、要素技術の利用状況について確認し、類型化を試みる。日本版 MaaS の主な要素技術として、サブスク・定期など企画乗車券、オンラインで交通情報が見られる、あるいは決済できるアプリケーション、病院、商業クーポンなど外部情報の提供、デマンド交通、シェアサイクル等の新モビリティ、さらにデータ連携基盤の構築や利用が認められた。特にアプリケーションの提供が 31 事例、外部情報との連携が 32 事例と多かったものの、企画乗車券の導入と新モビリティの導入比率は低く、またデータ連携基盤の利用や構築は 12 事例と少なかった。なお、参入の高度化に必要、な API をはじめとしたデータ連携のオープン化に関して言及しているのは 2 事例のみであった（加賀、しんゆり）。

分析結果

分析の結果、双方の判断を満たし、地域政策として日本版 MaaS を運用している事例は存在しなかった。

①について、交通事業や MaaS 事業の指標を導入している事業は 32/36 であったが、それ以外の地域目標を設定している事業は 10 のみであった。さらに②については、自治体が参加している事業に限定すると、パブリックコメントや協議会への市民参加を確認できた事業は 2/32 にとどまった。

事業名	企画乗車券	アプリケーション	外部情報	新モビリティ	連携基盤
北海道型MaaS	●	●	●	●	
洞爺湖	不明	●			
札幌型観光	●	●	●		
会津 Samurai MaaS	●	●	●		●
日立MaaS	●	●	●		●
つちうらMaaS	不明	●	●	●	
Uスマート（大谷）	●	●	●	●	●
前橋版MaaS	●		●	●	
三芳MaaS		●	●		
東急MaaS	●	●	●		
Universal MaaS	ANA		●		
三浦半島MaaS	●	●	●		
しんゆりMaaS	不明	●	●		●
南足柄MaaS	南足柄市	●	●	●	
朝日町MaaS	不明	●	●	●	●
加賀MaaS	●	●	●	●	●
茅野MaaS	不明		●	●	●
静岡型MaaS	静岡鉄道/静岡	●	●		
Izuko	●	●	●		
浜松市佐久間MaaS	TIS		●	●	
高蔵寺MaaS	不明	●	●	●	
菰野MaaS「おでかけこもの」	不明	●	●	●	
大津MaaS	●	●	●		
京都北部MaaS	Willer	●	●	●	
京都市内MaaS	●	●	●		●
舞鶴MaaS	舞鶴市	●			
池田MaaS	不明	●	●		●
神戸MaaS	不明	●	●		
鞆の浦MaaS	●	●	●	●	
Hi-MaaS	●	●		●	
瀬戸内MaaS	Scheme Verge	●	●	●	
南予MaaS	KDDI		●		●
糸島MaaS	●	●	●		
宮崎MaaS	●	●		●	●
沖縄MaaS	●	●	●		●
宮古島MaaS	●	●	●	●	
	18	31	32	18	12

Figure 3.2: 日本版 MaaS における要素技術の状況

3.7.1 事例

分析の射程を示すため、今回の分析の結果を2つほど挙げる。

3.7.2 1. 地方版 MaaS の広域連携基盤構築モデル事業（ひたち圏域）茨城交通株式会社

日立市を中心とする茨城県北部の圏域における MaaS 事業展開について、3市1村の協力の下で行われた日本版 MaaS 事業である。

3.7.3 I. 指標

①について、本事業の目標は3つに分かれている。一つ目は「利用者関連指標」であり、内容は以下の通り利用者数が参照されている。

- ・取組ページへのアクセス数：20,000imp 以上
 - ・地域内の取組認知度：50% 以上
 - ・アプリ DL 数（合計）：2,500 以上
 - ・チケット販売数：10,000 枚以上
 - ・周遊券の販売枚数：100 枚以上
 - ・セット券・企画乗車券の販売数：100 枚以上
 - ・通勤型デマンドの利用者数：300 人以上
 - ・ラストワンマイルデマンド利用者数：100 人以上
- 2つ目は「交通事業者関連指標」であり、指標は参加する事業者数により達成されるものになっている。いずれも MaaS によってカバーされる人口はじめとした MaaS の広がりを目標としている。
- ・基盤に参加する事業者数：3 社以上
 - ・利用者数ベースのカバー数：70% 以上
 - ・新しく造成した商品数：5 つ以上
 - ・MaaS 基盤へのデータ提供社数：4 社以上
- 3つ目は「MaaS 事業者関連指標」であり、以下のように接続事業者を目標と据えていて、2つ目と同様の性格を帯びる。
- ・システム基盤へ対応事業者数：3 社以上
 - ・チケット発券する事業者数：3 社以上

3.7.4 II. 市民参加状況

②について、参加する主体について確認したところ、市民団体らしき仕組みは確認できず、市民代表者の参加形跡も確認できなかった。また、市民参加、パブリックコメントなどの情報を Google 検索上で探したが、見当たらなかった点から市民参加システムなしとした。

3.7.5 2. 鞆の浦 MaaS

広島県福山市の景勝地、鞆の浦における MaaS 事業展開について、同市の協力の下で行われた日本版 MaaS 事業である。

3.7.6 I. 指標

①について、本事業の目標は、そのデータ取得方法に合わせて3つに分かれている。

一つ目は「デジタルチケット発行数」であり、実証実験チケットの利用枚数 200 枚が目標になっている。

二つ目は「アンケート指標」であり、以下の通りアプリケーションの満足度や性能へのフィードバック、回遊個所の向上等をアンケートで確認している。

- ・満足度
目標 満足度 70% 以上
- ・setowa に対する評価検証
目標：今後の課題点抽出 10 件以上

- ・実証実験を通じた来訪誘発・回遊性向上効果

目標：setowa 利用により立寄り場所の増えた者の割合 10 %

三つ目は電動レンタサイクル利用者の回遊エリア拡大状況であり、電動レンタサイクルのデータをもとに平均利用距離 15km 以上を目指している。

以上より本事業では、関連する交通事業の指標というよりはむしろ、MaaS 事業に特化した指標が並んでいると判断した。

3.7.7 II. 市民参加状況

②について、参加する主体について確認したところ、市民団体らしき仕組みは確認できなかったが、観光関連団体の代表として「公益社団法人福山觀光コンベンション協会」が出席しており、これは交通事業者外の参加と認められることから、市民参加システムありとした。

考察

分析対象とした日本版 MaaS 推進事業へ認定されたそれぞれは、その目標を考えると、ほとんどの場合交通事業の成立、また日本版 MaaS 事業の成立を旨としている。実際のところ、本事業を担当する国土交通省新モビリティサービス推進課の担当者は、「申請前の 1 年で事業検討して、申請後の 1 年で事業として自走できるようにしてほしい」と述べており¹⁹、事業としての成立を企図している。一方で、こうしたスタンスは実際のところ、海外ではすでに行き詰まり感を見せている²⁰。日本における MaaS は、こうした国際的な流れを反映していない。

また交通政策の理念として、交通の機能について「地域の活力に貢献」するように施策を運営するためには、少なくとも地域がどのようになるべきかの指標を入れるべきである。交通事業、MaaS 事業の指標のみでは、こうした運営には不十分である。それは交通事業の、利益を産む/費用を抑える事業としての価値こそ管理できるが、地域交通事業はこうした効率化が難しい現状を鑑みると、地域における機能については管理できないからである。

さらに、こうした行政機関が手がける交通サービスに対する批判回路についても、十分に構築されていない状況が見えてきた。もちろん「現状のサービスはユーザーヒアリングを経ている」という反論もあるだろうし、「議会制民主主義が批判回路となりうる」という意見もあるだろう。しかし、公共交通政策は多くの場合、土木工学を主軸とした専門性を問われることから²¹、こうした回路が機能しにくいと推察される。以上より、専門家が知識面、手法面でサポートする形で批判回路を設定すべき、と思量される点を前提とすると、現状の批判システムは不十分である可能性が示唆される。日本版 MaaS は交通まちづくりの一類型としてとらえられるか？

ここまで議論を踏まえて、日本版 MaaS を交通まちづくりとして捉えられるかについて議論したい。交通まちづくりの基本線は、初期構想段階では市民参加を含んでいた以外は一貫しており、地域の課題を解決する方針のもと交通を計画し、提供するものであった。

これを踏まえると、日本版 MaaS はその構想段階では交通まちづくりの要件に会うものの、実装段階においてはその要件に合致しないと理解できる。前者については、日本版 MaaS の特徴として地域課題を解決する交通サービスの提供を支援する政策である点が該当する。一方で後者については、日本版 MaaS の計画において交通サービスの利用状況が評価の中心にあり、必ずしも地域課題解決の状況をモニタリングしていない点が該当する。

このような状況になった要因として、いくつかの仮説を挙げておきたい。第 1 に、新たなガバナンスシステムの導入へのコストが高いことがあげられる。一般に、デジタル時代の政府活動への意向に

¹⁹ 2022 年 5 月のヒアリングによる。

²⁰ 海外での MaaS の行き詰まり感に関しては、2024 年 3 月に破産、事業承継を実施したほか、技術とデータフォーマットが障壁として挙げられている A. Gerber and K. Hinkelmann (eds.): *Analysing Barriers in the Business Ecosystem of European MaaS Providers: An Actor-Network Approach*, Society 5.0 2023 (EPiC Series in Computing, vol. 93), pp. 68–81 や、輸送事業者が細分化され、データ共有の枠組みが不十分な地域でオープンデータ不足を障壁とする Marc, Hasselwander., João, F., Bigotte.: *Transport Authorities and Innovation: Understanding Barriers for MaaS Implementation in the Global South.*, Transportation research procedia, 2022, また特に通常の交通アプリとの差異を見分けられない状況を原因と示した Andrea, L., Hauslbauer., B., Verse., E., Guenther., T., Petzoldt.: *Access over ownership: Barriers and psychological motives for adopting mobility as a service (MaaS) from the perspective of users and non-users.* Transportation research interdisciplinary perspectives, 2023. などが挙げられる。

²¹ 土木計画のうち、交通計画の費用便益分析においては、どの程度の需要が発生するかが重要なファクタであり、その算出には一般的に「四段階推定法」と呼ばれる手法を用いるのが主流である。屋井 (2021) 参照。

事業名	MaaS事業	交通事業目標	地域目標	市民参加システム
北海道型MaaS	●			
洞爺湖	●			
札幌型観光	●		●	
会津 Samurai MaaS	●	●		
日立MaaS	●			
つちうらMaaS	●		●	
Uスマート（大谷）	●			
前橋版MaaS	●	●	●	
三芳MaaS				
東急MaaS	●			
Universal MaaS	ANA			
三浦半島MaaS	●			
しんゆりMaaS	●			
南足柄MaaS	●		●	
朝日町MaaS	●	●	●	
加賀MaaS	●		●	
茅野MaaS	●			
静岡型MaaS	●		●	
Izuko	東急			●
浜松市佐久間MaaS	●			
高藏寺MaaS	●	●	●	
菰野MaaS「おでかけこもの」	●			
大津MaaS	●			
京都北部MaaS	●		●	
京都市内MaaS	●			
舞鶴MaaS	●			
池田MaaS	●			
神戸MaaS	●			
鞆の浦MaaS	●			●
Hi-MaaS	●			
瀬戸内MaaS	●		●	
南予MaaS	●			
糸島MaaS	●			
宮崎MaaS	●	●		
沖縄MaaS	●	●		
宮古島MaaS	●			

33

6

10

2

Figure 3.3: 日本版 MaaS における目標値決定状況

はそれに即した評価、批判のシステムへ移行する必要があるが、それには取引費用が掛かりすぎるところが分かっている²²⁾。第2に、これは第1の指摘と関連するが、杉谷¹⁵⁾の述べるようにそもそも自治体の持つ政策評価システムが業績評価に偏っている点があげられる。三重県の「さわやか運動」から始まった政策評価では、担当者が直接事業内容を説明する「事務事業評価」が核であり、その中で簡略化された評価として業績評価が利用されることが多い。これは一種の日本の評価システムの文化であり、日本版MaaSもその流れを汲んでいる可能性は十分にある。

一方で、市民参加の文脈については、そもそも日本版MaaSの概念において組み込まれていない状況で、情報公開や批判回路についても明確ではない。公共政策学の蓄積を踏まえると、地域交通政策においてこの点は後退基調にあると考えられ、早急な改善が求められる点といえる。

本分析の限界

本稿の限界の一つは、そもそも調査対象が日本版MaaS事業のみである点である。地域公共交通に関する事業はMaaS事業だけではなく、LRT事業や再編事業など多様である。また批判プロセスの調査についても、Googleの機能に制約を受けるものであって、これの限界を越えるには個別インタビューなどの質的調査を施し、分析を行う必要がある。さらに、1998年の行政改革会議を経て実施された地域公共交通の規制緩和について、その総決算を行えていない点もまた課題である。

3.8 7. 終わりに

本稿では、MaaSを推進する政策において、交通に関わる理念法である「交通政策基本法」を参照した上で、「交通まちづくり」の概念を引用し、その思想を日本版MaaSの政策分析に援用できるかを確認した。

まず、日本版MaaSとフィンランドにおいて発案された時点のそれを比較し、前者が地域課題解決のための仕組みとして変容したことを見出した。この点は「交通まちづくり」の思想と一致している。次に、日本版MaaS推進事業において採択されたすべての事業内容を確認、分析した。その結果、これらの事業は「交通まちづくり」の思想と完全に合致するものではないと明らかになった。本稿の結論は、日本版MaaSに関する文献で上げた魏³⁾の結論を支持するものであった。つまり、地域の課題解決というよりはむしろ、日本版MaaSでとらえられた課題意識は地域交通事業の課題解決であった。ただ、本稿ではそういった決定やプログラム運営に至った経緯については立ち入らなかった。

地域公共交通政策として進行中の各政策を概観すると、こうした指摘は未だ色褪せていないと考える。

有識者会議の下で2022年8月27日にまとまった「アフターコロナにおける地域交通のリ・デザイン」において、政府は「3つの共創」を利用して、地域交通の確保に取り組むとしている。加えて、2023年10月1日に改正された「地域公共交通の活性化及び改正に関する法律」に基づく政策展開においては、特に公的資金投入の拡大と「鉄道再構築協議会」によるさらなる事業者自治体間協議の活性化が取りざたされている。ただ、責任分担をどのように建てるのかの議論は見られず^{注23)}、また公共交通の意義や事業への批判システム、事業者の方性を排するシステムの構築は検討されていない。公共交通の存在意義を見つめなおし、従来の政策を批評し更新し続ける人的・物的・経済的資源の動員体制を取ってこそ健全な地域交通が達成されると考える初期の「交通まちづくり」の思想文脈からすれば、この状況は好ましくない。

「利用者視点」を導入しているとうたう交通政策が各地で展開されているが、少なくとも政策において相手にするのは市民であり、この国の主権者である。もちろん主権者の意見が全て正しいわけ

²²⁾Duleavy et al (2006)

²³⁾例えば今回の法改正で、JR各社の運営する鉄道に関する「再構築協議会」こそ設置されこれを「十分な説明」の舞台とすることとなったが、JRと自治体間の関係性については基本的に変わらない。本制度の成立は基本的に性善説によっている。これが依拠できないものとなった場合、国の関与が行われるよう変化する本制度において、JRによる同意を取り扱わない状況での路線廃止は路線がいかなる状況でも行われる上に国地方係争処理委員会の対象外になることが想定される。結果として、国は種々の路線に関する責任を持たず、JRの撤退行動を許容することになる。

また今回の法改正にて、ある地域の交通を統合的に受託するエリア一括運行事業が制定された。本事業は既存のバス交通に関する補助を合計して自治体へ渡し、それをを利用して一括運行事業者を選ぶ仕組みである。この機能は自治体の能力水準によっており、自治体は補助額削減インセンティブを持ち、事業者に費用削減を要求するが、適切な競争や契約形態を選択しなければそれは実現されない。既存のバス交通関連補助を利用している点で、地域公共交通会議をはじめとした協議会経由の補助システムと同様となり、責任体系は既存のシステムと変わりない。

でもないが、主権の所在に目を背け、専門性で固め、「利用者のため」と謳って実施される交通政策はまさに、善意で舗装された地獄への道となり得るのである。専門性が必ずしも正しさではなく、目指す方向性はイデオロギーであり批判されうること、これらを前提として、民主主義国家の計画のあり方を交通の面から探る作業は、今後の課題としたい。加えて、パブリック・インボルブメントと呼ばれる、サービスではなくインフラ整備にかかる市民参加プロセスについても、今後の研究における検討課題としたい。

3.9 Notes

1. 石神孝裕:MaaS 先進国フィンランドの観察, IBS Annual Report, 2020 より.
2. 企業の水平統合への議論にも繋がる。機能の分化、統合を行わずシステム全体が瓦解あるいは不安定になった事例として、日本航空（日本航空、日本エアシステム）やみずほ銀行（第一勧業銀行、富士銀行、日本興業銀行）があげられる。
3. David Zipper: The Problem With ‘Mobility as a Service’, Bloomberg.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-08-05/the-struggle-to-make-mobility-as-a-service>
閲覧

4. 事業目的によりガバナンスが行われており、その目的となる5つは以下のとおりである：①他の移動と重ね掛けして効率化②モビリティでのサービス提供③需要側の変容を促す仕掛け④異業種との連携による収益活用、付加価値の創出⑤モビリティ関連データ取得、交通・都市政策との連携。なお、このプロジェクトは2020年に52事業へ拡大することとなる。
5. 国土交通省: 日本版 MaaS の推進,

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/index.html>, 2022/10/18
閲覧

6. 国土交通省：MaaS のモデル形成,

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/model/index.html>, 2022/10/18 閲覧

7. AndE：新しい移動の概念「MaaS」の現在 MaaS 社会実現のカギは「つなげる」こと 競争と協調を見極める, 2023 より.

<https://www.andemagazine.jp/2023/05/25/maas-interview.html> 2023/10/06 閲覧.

8. 牧村和彦:MaaS が都市を変える 移動 × 都市 DX の最前線, 学芸出版社, 2021

9. 加藤博和; 地域公共交通改革のためいまこそ殻を破ろう！～地域の、そして日本の将来を救うために～, 令和元年度 第2回（第16回）国土交通省交通政策審議会交通体系分科会 地域公共交通部会, 2019 p6.

10. MaaS を日本に導入した書籍として、日高洋佑、牧村和彦、井上佳三、井上岳一:MaaS モビリティ革命の先にある全産業のゲームチェンジ, 日経 BP 社, 2018 p18. への言及は欠かせないが、論者として書きぬけないためここでは除外した。この書籍では MaaS についてコンセプト的に紹介しており、記述としては以下である：「あらゆる交通手段を統合し、その最適化を図ったうえで、マイカーと同等か、それ以上に快適な移動サービスを提供する新しい概念」

11. 永田右京: 公共交通の構造転換, 慶應義塾大学総合政策学部卒業論文, 2022. 第2章.

12. もちろん、こうした議論が政令市から立ち上がった点に関して、財源の自由度や市民全体の理解レベルの高さが寄与した点は容易に想像がつく。このような高い教育レベルと自由度を交通まちづくり初期の前提と考えるならば、日本全国へ交通まちづくりを広げるにあたって、多様な市民の参加を諦めた可能性は大いにある。

13. 1: 民意の反映 2: 民意による利害調整 3: 専門知の活用と専門家の専横の排除 4: 政治プロセスの失敗回避のための国からの各種規制 5: 効率的な交通政策が導出可能 6: 地方自治体から独立.

4に関しては、今日の地方自治法と当時のそれは違うから注意が必要である。また6に関しては、都市圏域や生活圏行きが自治体とは違う点から指摘されているのであるので、これらが同一と認められるのであれば独立していなくても問題ないと思量される。

14. 代表的なものだと、山下祐介: 地域公共交通をめぐる社会実験と住民参加, 運輸と経済第69巻12号, 2009., 福本雅之, 加藤博和: 地域公共交通への住民参画の促進方策に関する検討, 第45回土木計画学研究発表会(春大会), 2012. などが挙げられる。
15. 市場原理の導入も、実際のところ選ばれた状態を確立できているかは不明である。この認識は規制緩和後でも、市場の入退出が活発でない現状に起因する。寺田一薰: バス産業の規制緩和, 日本評論社, 2004. によれば、乗合バス市場における新規参入は活発ではなく、規制緩和から1年後までの新規参入者の市場シェアは1%を下回る。規制緩和による退出ルールの明確化が休廃止を増加させた傾向はなく、乗合バスの市場構造は規制緩和後にもあまり変化していない」という。
16. 公益法人のガバナンスの更なる強化等に関する有識者会議: 公益法人のガバナンスの更なる強化等のために(中間とりまとめ), 2021
17. 国土交通省: 日本版 MaaS の推進,

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/index.html>, 2022/10/18
閲覧

18. 国土交通省: MaaS のモデル形成,

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/model/index.html>, 2022/10/18 閲覧

19. 2022年5月のヒアリングによる。

20. 海外でのMaaSの行き詰まり感に関しては、2024年3月に破産、事業承継を実施したほか、技術とデータフォーマットが障壁として挙げられている A. Gerber and K. Hinkelmann (eds.): *Analysing Barriers in the Business Ecosystem of European MaaS Providers: An Actor-Network Approach*, Society 5.0 2023 (EPiC Series in Computing, vol. 93), pp. 68–81 や、輸送事業者が細分化され、データ共有の枠組みが不十分な地域でオープンデータ不足を障壁とする Marc, Hasselwander., João, F., Bigotte.: *Transport Authorities and Innovation: Understanding Barriers for MaaS Implementation in the Global South.*, Transportation research procedia, 2022, また特に通常の交通アプリとの差異を見分けられない状況を原因と示した Andrea, L., Hauslbauer., B., Verse., E., Guenther., T., Petzoldt.: *Access over ownership: Barriers and psychological motives for adopting mobility as a service (MaaS) from the perspective of users and non-users.* Transportation research interdisciplinary perspectives, 2023. などが挙げられる。

21. 土木計画のうち、交通計画の費用便益分析においては、どの程度の需要が発生するかが重要なファクタであり、その算出には一般的に「四段階推定法」と呼ばれる手法を用いるのが主流である。屋井鉄雄: 土木と環境の計画理論-3つの並行プロセスによる計画づくり-, 株式会社数理工学社, 2021. 参照。

22. Dunleavy, Patrick, et al.: New public management is dead—long live digital-era governance. Journal of Public Administration Research and Theory 16(3), pp.467-494, 2006.

23. 例えば2023年の法改正にて、JR各社の運営する鉄道に関する「再構築協議会」こそ設置されこれを「十分な説明」の舞台とすることとなった（「十分な説明」については国土交通省：新会社がその事業を営むに際し当分の間配慮すべき事項に関する指針、国土交通省告示第千六百二十二号、2001年。参照）が、JRと自治体間の関係性については基本的に変わらない。本制度の成立は基本的に性善説によっている。これが依拠できないものとなった場合、国の関与が行われるよう変化する本制度において、JRによる同意を取れない状況での路線廃止は路線がいかなる状況でも行われる上に国地方係争処理委員会の対象外になることが想定される。結果として、国は種々の路線に関する責任を持たず、JRの撤退行動を許容することになる。

また今回の法改正にて、ある地域の交通を統合的に受託するエリア一括運行事業が制定された。本事業は既存のバス交通に関する補助を合計して自治体へ渡し、それを利用して一括運行事業者を選ぶ仕組みである。この機能は自治体の能力水準によっている。自治体は補助額削減インセンティブを持ち、事業者に費用削減を要求するが、適切な競争や契約形態を選択しなければそれは実現されない。既存のバス交通関連補助を利用している点で、地域公共交通会議をはじめとした協議会経由の補助システムと同様となり、責任体系は既存のシステムと変わりない。

3.10

3.11 References

- 1) 太田勝敏編著:『交通まちづくり』の展開と課題、方向性, IATSSReview (国際交通安全学会誌) 33(2), 2008
- 2) 原田昇、羽藤英二、高見淳史: 交通まちづくり－地方都市からの挑戦－, 鹿島出版社, 2015
- 3) 魏蜀楠: 佐世保市『地方型』MaaS の導入可能性に関する政策研究, 2022.
- 4) 藤本直樹: わが国における「地方型 MaaS」の推進に向けた政策の方向性と課題についての考察, 情報経営, 2021, 81巻, p. 113-116
- 5) 後藤大: MaaS の推進と法規制, 保険学雑誌, 2021, 2021巻, 653号, p. 653_67-653_75
- 6) 加藤博和、福本雅之: 地域参画型公共交通サービス供給の成立可能性と持続可能性に関する実証分析－「生活バスよっかいち」を対象として－, 土木学会論文集D/65巻4号, 2009
- 7) 喜多秀行: 社会的共通資本としての地域公共交通サービスの計画方法論, 土木計画学研究発表会(春大会) 2022
- 8) Sonja Hekkilä: Mobility as a Service -A Proposal for Action for the Public Administration, Case Helsinki, 2014
- 9) 太田和博: 地域交通政策の意思決定における住民参画の意義と課題, 運輸と経済第69巻12号, 2009
- 10) 太田和博: 公平性にかなう地域交通政策の策定システム, 三田商学研究 Vol.43 No.3 P.187-, 2000
- 11) 森栗茂一: 交通計画における住民協働の有効性と展開手法, 運輸と経済第69巻12号, 2009
- 12) ハンス・ケルゼン: 民主主義の本質と価値, 長尾隆一・植田俊太郎, 岩波文庫, 2015, 1929
- 13) M. Kamargianni, Melinda Matyas: The Business Ecosystem of Mobility-as-a-Service, Computer Science, 2017

- 14) Sochor, J., Arby, H., Karlsson, M., Sarasini, S.: A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. Proc. ICoMaaS – 1st International Conference on Mobility as a Service, 2017.
- 15) 牧原出: 行政改革と調整のシステム, 行政学叢書, 東京大学出版会, 2007
- 16) 杉谷和哉: 政策にエビデンスは必要なのか-EBPM と政治のあいだ-, ミネルヴァ書房, 2022

Chapter 4

認知バイアスの計算論的分析

4.1 はじめに

4.1.1 研究の背景と問題設定

2002年の規制緩和以降、日本の地域公共交通政策は大きく変容し、従来の規制中心的アプローチから、多様なステークホルダー間の「連携」と「共創」を強調するアプローチへと移行してきた。この変化は、政府機関、交通事業者、市民、その他の事業者など、複数の主体の専門知とリソースを活用して複雑な政策課題に対処しようとする、公共ガバナンスにおけるより広範な傾向を反映している。

こうした変革の制度化は、近年の政策展開によってさらに加速している。地域公共交通計画の策定が努力義務となり、ステークホルダー間の効率的な情報交換と協議を促進するための会議体の設立が強調されている。この制度的枠組みは、連携と共創のプロセスが機能すべき正式な構造を提供している。

連携と共創に関する政策言説は、国土交通省による2021年の政策フレームワーク「ポストコロナ時代における地域交通の共創に関する研究会」において特に顕著になった。このフレームワークは、地域社会の活性化に貢献する人の流れを積極的に創出する交通事業者、交通事業者と他産業との連携、そして交通を共同責任として捉えるコミュニティの参画という3つの主要な次元を含む「共創型交通」を明示的に求めている。

しかし、連携と共創に対する政策の強調にもかかわらず、実証的証拠は政策意図と実装成果の間に大きな乖離があることを示唆している。協調的枠組みの普及は、必ずしもより効果的または持続可能な交通ソリューションに結びついておらず、公共交通ガバナンスにおいて連携と共創がどのような条件の下で効果的に機能できるかという根本的な問い合わせを提起している。

この実装ギャップは、日本の地方自治体が直面する構造的な資源制約によってさらに悪化している。2023年の地方分権改革有識者会議の報告書は、自治体が都道府県や国のレベルと比較して不釣り合いに高い実装コストに直面する「逆三角形」の負担構造を具体的に指摘した。報告書は、単一の職員が複数の省庁業務を担当し、一つの部門で複数の計画が策定されるケースがあること、資源不足により計画関連の行政業務に十分な時間を確保できず、国のテンプレートや他自治体の事例をほぼそのまま踏襲して資金確保を図るケースがあること、計画策定自体が努力義務で手続きが自治体の裁量に委ねられていても、地域の合意を得るために審議会での審査など相当な手続きコストが発生することなどを文書化している。これらの構造的制約は、理論的魅力にもかかわらず、連携・共創アプローチが実際の実装の現実によって損なわれる可能性がある文脈を生み出している。

4.1.2 政策の変遷

日本の地域公共交通政策は、市場メカニズムと公的介入のバランスに関する異なるアプローチを反映して、明確な段階を経て発展してきた。

2002年の規制緩和では、路線運行を許可制から届出制に変更し、補助金配分を会社全体から路線別の支援に変更し、ターゲットを絞った補助金を通じて市場競争を導入しながら不可欠なサービ

スを維持した。

2006年の地域公共交通会議では、正式な協調的ガバナンスのメカニズムを確立し、コミュニティバスの運行を可能にし、交通計画へのステークホルダー参加のためのプラットフォームを提供した。

2010年の生存交通プロジェクトでは、「頑張る地域」のみが生活交通サービスを維持することを許可される競争的アプローチを制度化し、地方のイニシアティブと自立を強調した。

2021年の共創フレームワークでは、リソースの動員（「交通リソースの総動員」）、共同管理（事業者との直接的な協力）、サービス最適化（「まとめて減らす」アプローチ）を含む、共創を中心的な組織原理として明確に採用した。

4.1.3 実装ギャップの実証的証拠

連携と共創の原則の実際の実装を評価するため、本研究では共創政策の具体的な現れを代表する日本のMaaS (Mobility as a Service) イニシアティブの包括的な分析を実施した。2020年度に承認された38のプロジェクトすべての分析により、政策の理想と実装の現実との間に大きな乖離が明らかになった。

事業パフォーマンス指標に関しては、プロジェクトの92% (35/38) が利用率、収益生成、運営効率に焦点を当てた指標を含んでいた。対照的に、非事業指標に関しては、プロジェクトの29% (11/38) のみが社会的影響、アクセシビリティ改善、環境成果に対応する指標を組み込んでいた。最も懸念されるのは、市民参加のメカニズムのレベルであり、プロジェクトのわずか5% (2/38) のみがプロジェクトのガバナンスと評価における市民参加の有意義なメカニズムを確立していた。これらの結果は、協調的枠組みがより広い公共目的に奉仕するのではなく、交通事業者の利益に捕捉されている可能性を示しており、真の民主的参加の最小限の達成が懸念される。

4.1.4 研究目的とアプローチ

本研究は3つの主要な研究問いに取り組む。

第一に、協調的交通政策がその表明された目的をどの程度達成しているかを検討すること。ビジネス重視の指標からより広い社会的・民主的価値を組み込むへの移行という、連携政策の実装ギャップを調査する。

第二に、認知バイアスとステークホルダーの特性が政策実装における協調的調整の効果にどのように影響するかを探求すること。計算論的モデリングを用いて、ステークホルダー間の調整メカニズムを分析する。

第三に、連携の利益を最適化しながらその限界を緩和するのに役立つ制度的配置について決定すること。理論的に基礎づけられた制度設計の原則を導出する。

本研究は、実装ギャップの既存の実証的証拠と、認知バイアスがステークホルダー調整の効果にどのように影響するかに関する理論的洞察を統合する統合的アプローチを採用する。このアプローチは、文献レビュー、協調ロボット制御理論を用いた計算論的モデリング、制度設計理論を組み合わせることで、政策科学に貢献する。

4.2 理論的枠組みと先行研究

4.2.1 協調的ガバナンス理論

協調的ガバナンスは公共行政において支配的なパラダイムとして登場し、Ansell and Gash (2008) によって「一つまたは複数の公共機関が、非政府のステークホルダーを、合意形成志向で審議的な集団的意思決定プロセスに直接関与させる統治のあり方」として定義されている。

交通政策の文脈では、協調的アプローチは従来の規制枠組みの限界に対する解決策として推進されてきた。Kato et al. (2009) は、成功したコミュニティ参加型公共交通のための4つの重要な条件を特定している。ステークホルダー間での認識と責任分担の共有、すべての参加者にとっての相互利益、主要な調整者の存在、そしてステークホルダーの努力とサービス改善成果との関連性である。

しかし、協調的ガバナンスは本質的な課題に直面している。Emerson et al. (2012) は、協調には大きな取引コストが必要であり、最小公約数的な解決策につながる可能性があり、組織された利益に捕捉される可能性があると指摘している。これらの課題は、技術的複雑さ、規制上の制約、商業的利益が追加的な調整の困難さを生む交通政策において特に深刻である。

4.2.2 公共サービス提供における共創

共創は伝統的な協調を超えた発展を表し、公共機関とステークホルダー間の共同価値創造を強調する (Voorberg et al., 2015)。交通政策において、共創はいくつかの形態で現れる。リソースの動員は、車両、運転手、インフラなど、多様な供給源からの非伝統的な交通リソースの活用を含む。共同運営は、共同ベンチャーと共有サービスを通じた交通事業者間の正式なパートナーシップを含む。サービス統合は、複数のユーザーニーズに同時に応える包括的なモビリティソリューションを作成するための交通と他のサービスのバンドルに焦点を当てる。

日本の政策フレームワークは、共創の3つの次元を特定している。地域の活性化に積極的に貢献する交通事業者、問題解決のためのクロスセクター協働、そして交通サービスのコミュニティオーナーシップである。しかし、実証研究は混合した結果を示している。九州運輸局 (2023) は、共創が以前は不可能だった路線再編を可能にし、サービス効率を改善する一方で、事業パフォーマンスの改善は限定的であり、必要な信頼関係の構築にはかなりの時間投資が必要であることを発見した。

4.2.3 協調と共創の効果に関する実証的証拠

協調の効果 Kato et al. (2009) は、コミュニティ参加型地域公共交通を分析し、4つの存在要件を特定したが、これらの条件を実現するために必要な要素については扱っていない。これらの要件には、関係ステークホルダー間での認識と責任分担の共有、各ステークホルダーが参加から利益を得られること、ステークホルダーを調整するキーパーソンの存在、そしてステークホルダーの努力が利用促進と価値向上につながることが含まれる。

喜多 (2006) は、包括的調整計画策定における協働と連携の場の提供を、技術的人材育成の観点から肯定的に評価し、「研究者や技術専門家の支援を受けながら、交通に関わる様々なステークホルダーが協働する場と機会を提供し、計画能力を向上させることこそが、国が実施すべき政策である」と指摘している。

共創の効果 九州運輸局 (2023) は、九州各地域の共創に関する包括的なインタビューと分析を実施し、効果と課題の両方を特定した。

共創の効果としては、以前は実施不可能だった路線再編が可能になり、利便性の維持・向上と輸送効率の改善が同時に達成されたことが挙げられる。しかし、重要な共創の課題も明らかになった。事業パフォーマンスの改善は限定的であり、単に交通事業者の困難さを訴えるだけでは自治体の支援を得ることはできない。協働に必要な信頼関係の構築にはかなりの時間投資が必要であり、交通事業者と他の民間企業・行政との間で役割分担、費用負担、まちづくりについて議論する機会は少ない。

野村 (2023) は、一戸町における有限責任事業組合 (LLP) を通じた地域交通確保を分析し、自治体と交通事業者が並行して LLP メンバーとして参加することで、登記負担と責任分担コストを削減し、これを共創の事例として位置づけている。

吉田 (2021) は、八戸市 (2007年) における事業者間協働を実装し、200便を削減しながら等間隔化を達成し、乗客数と収益性の増加をもたらした。

4.2.4 協調制御理論と社会システム

導入

協調制御理論は、複数の自律エージェントを調整して共通の目標を達成するためのフレームワークを提供し、マルチエージェントシステム (MAS) の基盤を形成している。この理論は、自動化、

ロボット工学、そしてますます社会システムや協調的ガバナンスの分析における複雑な課題に対処するために発展してきた。

核心概念とメカニズム

協調制御理論は、マルチエージェント調整におけるいくつかの重要な問題に対処する。コンセンサスメカニズムは、すべてのエージェントが特定の変数や状態に合意することを確保し、これはMASにおけるグループ調整の基盤である (Gulzar et al., 2018; Ying et al., 2022)。フォーメーションとコンテインメント問題は、エージェントを特定のパターンで配置することまたは特定の境界内に留めることを含む (Ying et al., 2022; Anand et al., 2024; Briñón-Arranz et al., 2014)。リソース割り当てとカバレッジは、エージェント間でタスクやリソースを効率的に配分することに焦点を当て (He et al., 2023; Ying et al., 2022)、フロッキングと接続性問題は、グループの凝集性と通信リンクの維持に対処する (Ying et al., 2022)。

協調制御における最近の発展は、リーダー・フォロワー階層 (Hengster-Movrić Lewis, 2014)、分散型強化学習アプローチ (Lan et al., 2023)、衝突回避メカニズム、そして遅延や不確実性を扱うための堅牢な制御戦略の重要性を強調している。

社会システムへの応用

協調制御理論は、社会システムの分析、特にガバナンスと政策調整にますます適用されている。Bouraima et al. (2023) は、公共交通計画における効果的な制度的調整のための統合意思決定支援モデルを開発した。Hu et al. (2024) は、世界中の 34 のケースから、メガ交通プロジェクトにおける協調ネットワークのガバナンスに関する統合的知見を導出した。Knoppen et al. (2021) は、複数のステークホルダー間での都市貨物物流政策の優先順位付けにおける認知コンセンサスの追求を調査した。

協調制御理論と公共政策分析の交差は、特に認知バイアスの影響において有望である。Kahneman (2011) の「ファスト思考とスローシンキング」の枠組みは、認知バイアスがいかに意思決定を体系的に偏向させるかを示している。政策文脈において、Kahneman and Lovallo (1993) は、認知バイアスがいかに組織的意志決定に影響を与えるかを調査した。

4.3 計算論的モデリング・フレームワーク

4.3.1 協調制御モデルの構造

本研究は、Yoshihara et al. (2009) の協調ロボット制御理論を適応させ、政策実装におけるステークホルダー間の相互作用をモデル化する。N 関節ロボットアームは政策ネットワークを表し、各関節 i は以下の状態変数を持つ特定の政策ステークホルダーに対応する：

- 位置ベクトル : $\mathbf{p}_i \in \mathbb{R}^2$
- 速度ベクトル : $\mathbf{v}_i \in \mathbb{R}^2$
- 関節角度 : $\theta_i \in \mathbb{R}$
- リンク長 : $l_i \in \mathbb{R}$

このマッピングにより、特定の能力（リンク長）と政策位置（関節角度）を持つ自律エージェントとして政策ステークホルダーを表現し、集合的な政策目標を達成するために調整する必要がある状況をモデル化できる。

4.3.2 運動学モデル

各関節の位置は、前の関節の位置と累積関節角度に依存する：

$$\mathbf{p}_i = \mathbf{p}_{i-1} + l_i \begin{bmatrix} \cos(\sum_{j=0}^i \theta_j) \\ \sin(\sum_{j=0}^i \theta_j) \end{bmatrix}$$

ここで \mathbf{p}_0 は初期位置である。これは、政策成果に対するステークホルダー決定の累積効果を表現している。

速度は位置の時間微分として計算される：

$$\mathbf{v}_i = \frac{d\mathbf{p}_i}{dt}$$

4.3.3 制御目標と調整メカニズム

システムの目標は、政策目標を表す目標位置 \mathbf{p}_{target} をエンドエフェクタ（最終ステークホルダー）が追跡するように誘導することである。各関節 i は協調制御アルゴリズムに従う。

目標方向ベクトルの計算 エンドエフェクタから目標への方向ベクトル：

$$\mathbf{n} = \mathbf{p}_{target} - \mathbf{p}_{n-1}$$

正規化された垂直ベクトル：

$$\hat{\mathbf{u}}_i = \frac{\mathbf{n} \times (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_{i-1})}{\|\mathbf{n} \times (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_{i-1})\|}$$

目標速度の分解 目標速度 \mathbf{v}_{target} は各関節の動きの方向に分解される：

$$\mathbf{v}_i^{local} = (\mathbf{v}_{target} \cdot \hat{\mathbf{u}}_i) \hat{\mathbf{u}}_i$$

$$\mathbf{v}_{remaining} = \mathbf{v}_{target} - \mathbf{v}_i^{local}$$

調整係数の計算 各関節の調整係数 a_i は、その目標速度と後続関節の実際の速度との差に基づいて計算される：

$$a_i = \frac{\mathbf{v}_i^{target} - \sum_{j>i} \mathbf{v}_j}{\|\mathbf{v}_i^{target} - \sum_{j>i} \mathbf{v}_j\| + \epsilon_1}$$

ここで ϵ_1, ϵ_2 は数値的安定性のための小さな正の定数である。

4.3.4 認知バイアスの統合

現状維持バイアス 現状維持バイアス b_{sq} は、関節角度の変化に対する抵抗として組み込まれる：

$$\dot{\theta}_i^{biased} = (1 - b_{sq}) \cdot \dot{\theta}_i$$

ここで $\dot{\theta}_i$ はバイアスのない角速度である。

確証バイアス 確証バイアス b_{conf} は、調整係数の修正として組み込まれる：

$$a_i^{biased} = a_i \cdot (1 + b_{conf})$$

正の確証バイアスは自己判断への過剰な自信を表し、負の値は過度の自己疑念を表す。

狭い視野バイアス 狹い視野バイアス b_{nf} は、全体最適化の無視として組み込まれる：

$$\mathbf{v}_i^{cooperative} = \mathbf{v}_i^{local} + (1 - b_{nf}) \cdot \sum_{j \neq i} a_j \mathbf{v}_j^{remaining}$$

4.3.5 協調速度の計算

各関節の協調速度 $\mathbf{v}_i^{cooperative}$ は以下のように計算される：

$$\mathbf{v}_i^{cooperative} = \mathbf{v}_i^{local} + \sum_{j \neq i} a_j \mathbf{v}_j^{remaining}$$

4.3.6 関節角度の更新

最終的な関節角度の更新は、協調速度と目標速度の内積に基づく：

$$\dot{\theta}_i = k \cdot (\mathbf{v}_i^{cooperative} \cdot \mathbf{v}_{target})$$

ここで k は制御ゲインである。

4.3.7 パフォーマンス指標

システムのパフォーマンスは以下の指標を用いて評価される：

精度 × 距離

$$M_{accuracy} = \frac{1}{\|\mathbf{p}_{end} - \mathbf{p}_{target}\|} \times \frac{1}{D}$$

ここで $D = \sum_i \int \|\mathbf{v}_i\| dt$ は累積移動距離である。

エネルギー効率

$$M_{efficiency} = \frac{1}{\sum_i \int \|\dot{\theta}_i\|^2 dt}$$

関節活動度

$$M_{activity} = \frac{1}{n} \sum_i \max_t |\dot{\theta}_i(t)|$$

関節滑らかさ

$$M_{smoothness} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{\int |\ddot{\theta}_i(t)| dt}$$

4.3.8 シミュレーション実装プロセス

4.4 実験設計

4.4.1 実験の概要

認知バイアスが調整パフォーマンスに与える影響を定量的に評価するため、本研究では合計 1,820 回の実験を実施した。

実験設計は以下の通りである。ベースライン実験はバイアスなしで 100 回、確証バイアス実験は 11 条件で各 40 回（合計 440 回、強度 0.0-1.0、ステップ 0.1）、現状維持バイアス実験は 21 条件で各 40 回（合計 840 回、強度 0.0-1.0、ステップ 0.05）、狭い視野実験は 11 条件で各 40 回（合計 440 回、強度 0.0-1.0、ステップ 0.1）である。

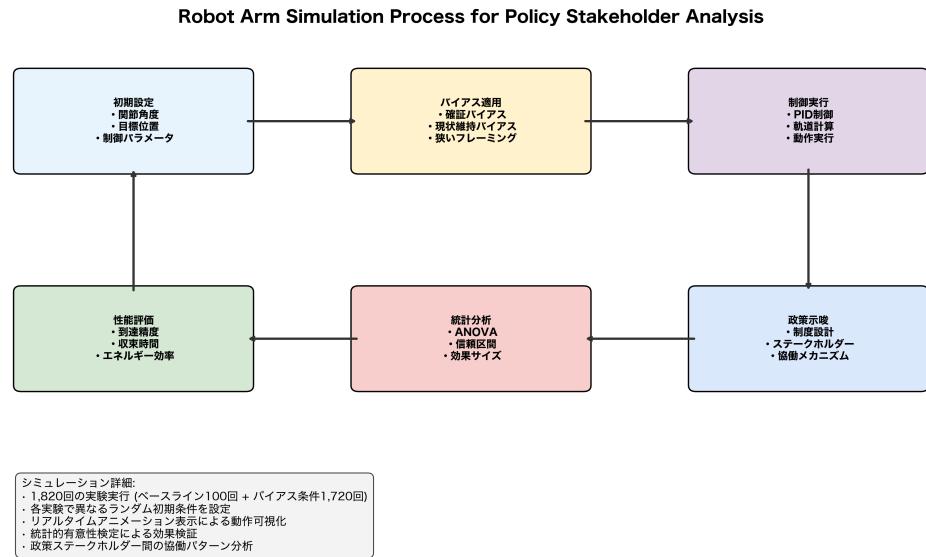


Figure 4.1: ステークホルダー調整をロボットアーム制御を通じて分析するための6段階の方法論を示すシミュレーションプロセスフロー

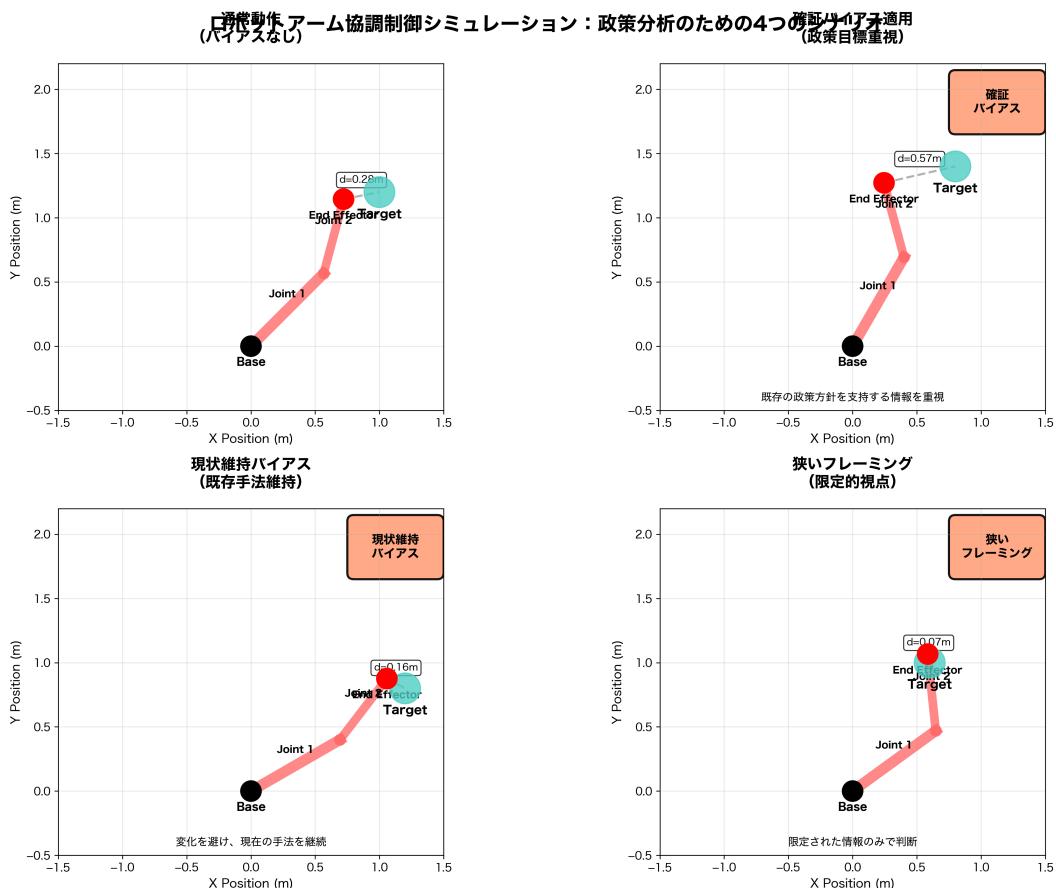


Figure 4.2: 異なる認知バイアスがステークホルダー調整パターンにどのように影響するかを示すアニメーションシナリオ

4.4.2 バイアス実験

決定論的結果を避けるため、本研究では初期条件をランダム化した実験設計を実装した。各実験は統計的有効性を確保するために複数のランダム化パラメータを組み込んだ。初期関節角度は ± 0.1 ラジアンの範囲で変化させ、目標位置は中心から $\pm 0.01m$ 、半径変動 $\pm 0.005m$ の範囲で変化させ、制御ゲインは ± 0.5 の範囲で変化させ、切り替え閾値は ± 0.002 の範囲で変化させた。

4.4.3 統計分析方法

統計分析は、結果の堅牢な解釈を確保するために複数の相補的な方法を用いた。分散分析 (ANOVA) は、異なる実験条件間でのバイアス効果の統計的有意性を検定するために使用した。信頼区間は、効果サイズを推定し、平均パフォーマンス値の周りの不確実性の尺度を提供するために計算した。回帰分析は、バイアス強度と調整パフォーマンス指標間の線形関係を検証するために実施した。

4.5 実験結果

4.5.1 統計分析結果

本研究は、統計的有効性を確保するためにランダム化された初期条件を持つ 1,820 回の実験（100 回ベースライン + 440 回確証バイアス + 840 回現状維持バイアス + 440 回狭い視野）に対して包括的な統計分析を実施した。ANOVA 検定は、各バイアスタイプについて異なるパターンを明らかにした：

確証バイアス 調整パフォーマンスに有意な影響は見られなかった ($F = 0.838, p = 0.602$)。これは、確証バイアスが建設的に活用できるという仮説を支持している。パフォーマンスは全強度レベル (0.0-1.0) で安定しており、平均精度は 0.970 から 0.970 の範囲であった。

現状維持バイアス 有意な負の効果が見られた ($F = 1.593, p = 0.044$)。強度 0.25 前後での閾値効果を確認し、この閾値を超えるとパフォーマンスが急激に低下した。これは、変化への抵抗の管理に関する制度設計の推奨を検証するものである。

狭い視野バイアス 有意な線形劣化効果が見られた ($F = 1.985, p = 0.028$)。システム全体の視野を維持することの重要性を示している。線形回帰分析は、 $R^2 = 0.204$ 、負の傾き -0.00107 を示した。

すべての実験には適切な信頼区間 (95% CI) と効果サイズの計算が含まれた。ベースライン条件は 0.969 ± 0.002 の平均精度を示し、バイアス比較のための安定した参照点を提供した。

4.5.2 包括的バイアス効果分析

4.5.3 関節別分析

政策ネットワーク内の異なるステークホルダー位置がバイアスからどのような影響を受けるかを理解するため、本研究では主要な位置に焦点を当てた関節別分析を実施した。

関節別分析により、バイアス効果は政策ネットワーク内のステークホルダー位置によって大きく異なることが明らかになった。基部関節（基礎ステークホルダー）は確証バイアスに対してより高い耐性を示し、エンドエフェクタ関節（実装ステークホルダー）は狭い視野効果に対してより敏感であった。

4.5.4 実験結果の要約

1,820 回の実験を通じて、以下の知見が得られた。

1. 確証バイアス：調整パフォーマンスを維持する建設的な効果を持つ



Figure 4.3: 確証バイアスの建設的効果：調整パフォーマンスへの影響

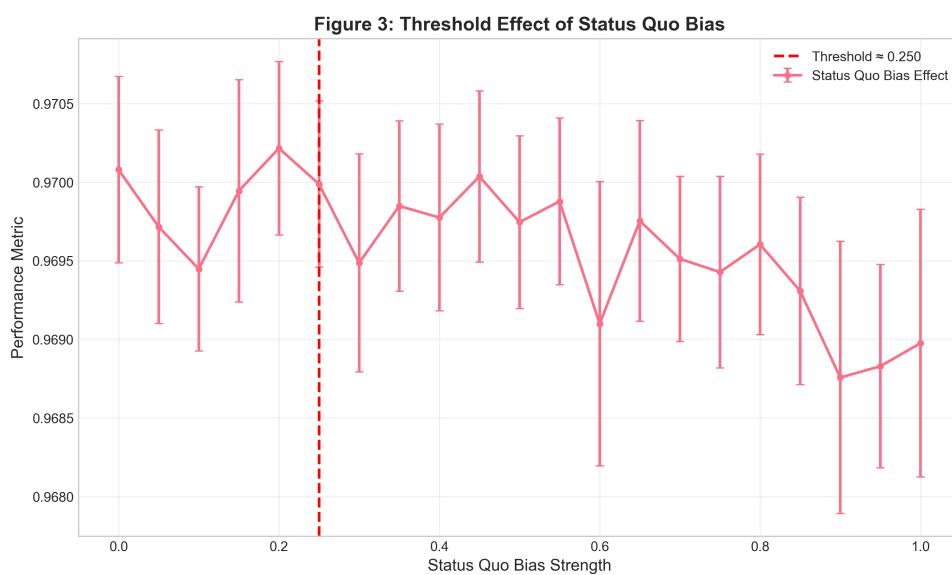


Figure 4.4: 現状維持バイアスの閾値効果：強度 0.25 前後での急激な変化

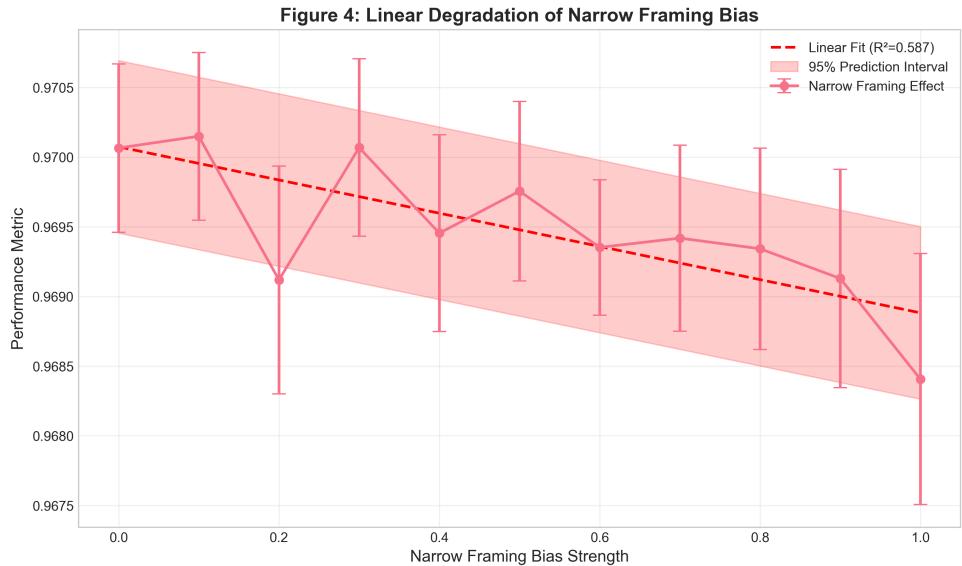


Figure 4.5: 狹い視野バイアスの線形劣化：一貫した負の影響

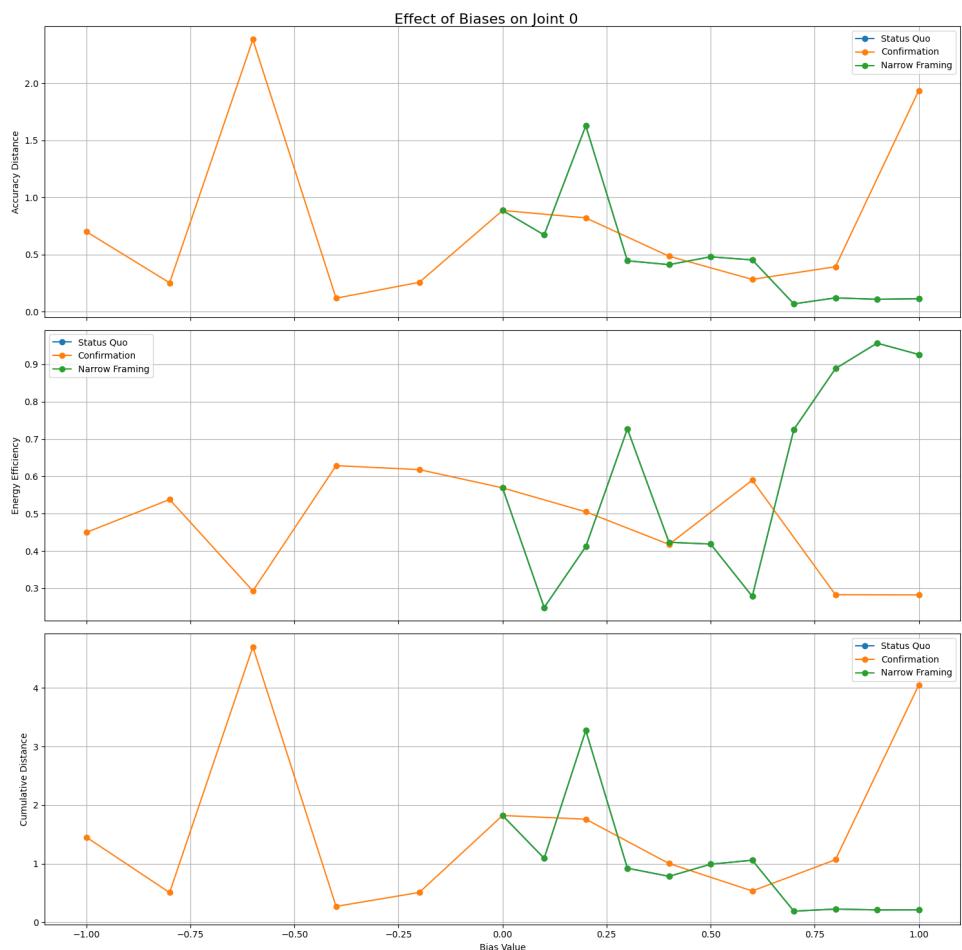


Figure 4.6: 基部関節（基礎ステークホルダー）へのバイアス効果

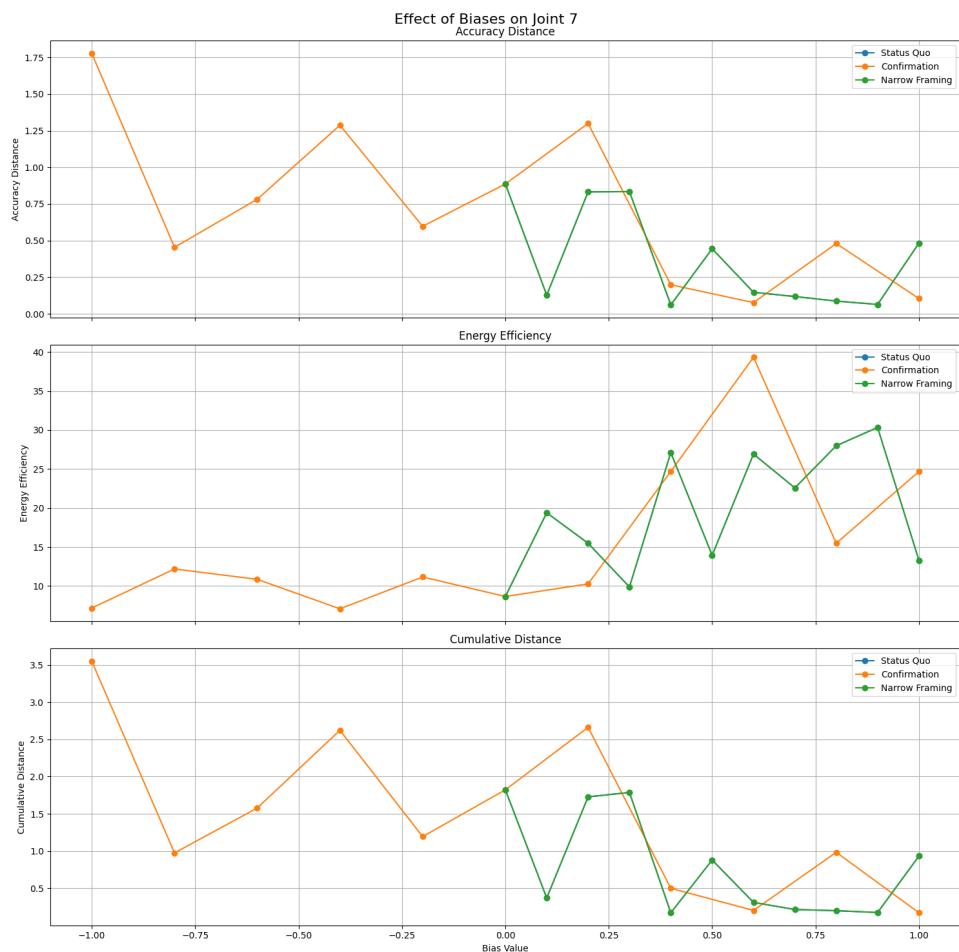


Figure 4.7: エンドエフェクタ関節（最終実装ステークホルダー）へのバイアス効果

2. 現状維持バイアス：閾値 0.2 前後で急激な変化を示す
3. 狹い視野：線形パフォーマンス劣化を示す

4.6 効果的な協調と共創のための制度設計フレームワーク

4.6.1 制度設計の理論的基盤

Japan MaaS 分析と計算論的モデリングの結果に基づき、両方の研究で特定された調整の課題に 対処する包括的な制度的設計フレームワークを提案する。このフレームワークは、制度設計理論を活用しながら、認知バイアス効果と民主的参加要件に関する洞察を組み込んでいる。 分析からの主要な洞察は、効果的な連携と共創には以下を可能にする制度的配置が必要であることを示している。確証バイアスの建設的な可能性を活用すること、現状維持バイアスの閾値効果を管理すること、狭い視野の負の影響を緩和すること、そして運営効率を可能にしながら民主的アカウンタビリティを確保することである。

4.6.2 三層制度アーキテクチャ

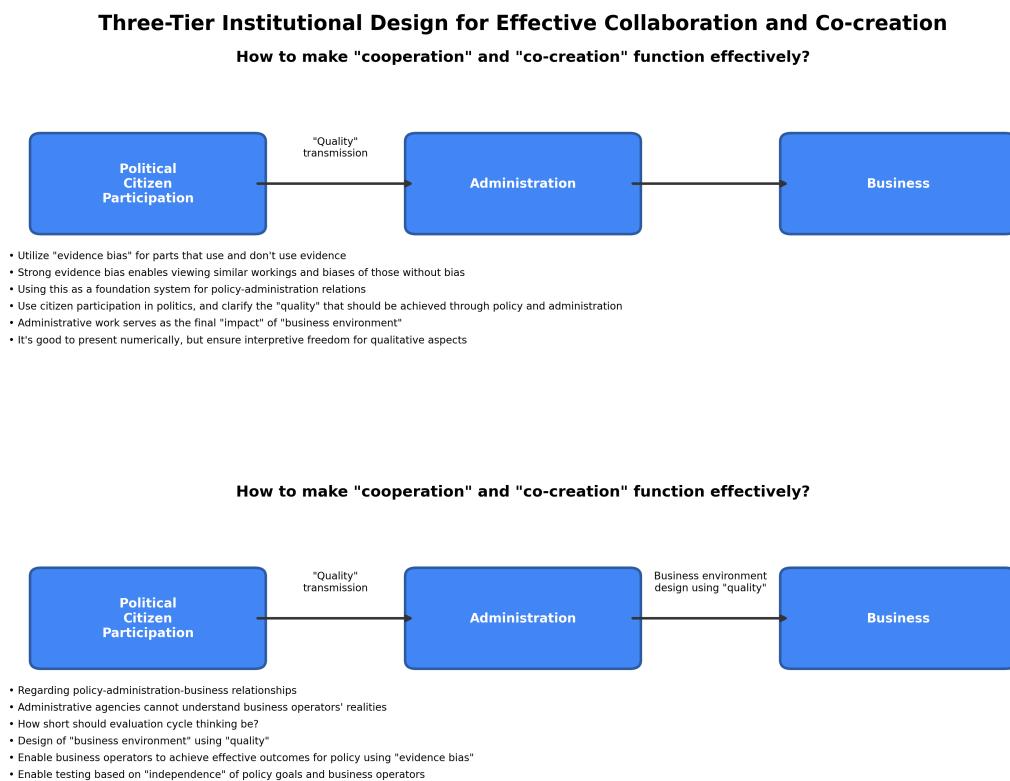


Figure 4.8: 効果的な協調のための三層制度設計

第一層：政治-市民インターフェース（民主的品質設定） 第一層である政治-市民インターフェースは、民主的正統性を確保し、品質基準を規定する責任を持つ。この層の核心は、共有された品質目標に対するステークホルダーの信頼を育むことによって確証バイアスを建設的に活用しながら、同時に狭い部分最適化を避けるために広い視野を維持することである。これは、交通サービスの品質目標を定義する市民参加プロセス、明確なアカウンタビリティメカニズムによる行政実装の政治的監視、効率性、アクセシビリティ、持続可能性の間のトレードオフに関する公開審議、

そして明確な方向性を提供しながら解釈の柔軟性を保持する品質仕様フレームワークの確立を通じて達成される。実践において、この層は交通の優先事項に関する定期的な市民集会または審議型世論調査、品質目標の達成に関する透明な報告、市民参加の範囲と権限に関する明確に定義された境界、そしてより広い民主的ガバナンス構造との統合によって特徴づけられる。

第二層：行政的調整（環境設計） 第二層である行政的調整は、品質目標を運用フレームワークに変換する。ここで指導原則は、破壊的な閾値を下回る漸進的变化アプローチを通じて現状維持バイアスを管理しながら、同時に効果的なマルチステークホルダー調整に必要な専門性を開発することである。これは、ステークホルダー調整と紛争解決のための専門的な行政能力の構築、事業価値と公共価値の両方の指標を組み込んだ技術的評価システムの実装、品質制約内で競争的環境を促進する規制フレームワークの設計、そして効果的なフィードバックループを持つパフォーマンス監視・調整システムの確立によって達成される。この層をサポートする組織構造には、適切な専門性を備えた職員による協調的ガバナンス専門部署、政治的压力と事業的压力の間を仲介するバッファマネジメント、民主的インプットを運用ガイダンスに変換する構造化されたプロセス、そして公共目標と密接に連動した革新インセンティブが含まれる。

第三層：事業-運用インターフェース（自律的実装） 第三層である事業-運用インターフェースは、確立された品質フレームワーク内での効率的なサービス提供を担う。ここでは、確認バイアスが品質に沿った運営への事業信頼をサポートすることを許容し、競争圧力を通じて現状維持バイアスを最小化し、統合されたパフォーマンス測定を通じてシステム全体の視野を維持する。これは、品質制約内で運用するサービス提供のための競争的プロセス、効率とともに公共価値の創造を報酬する品質調整パフォーマンス契約、運用上の課題に対処するための協働的問題解決プロセス、そして公共価値創造を促進する革新インセンティブを通じて実現される。フレームワークは、革新を報酬するパフォーマンスベースの資金提供、クロスセクター調整の要件、システム全体のパフォーマンス指標の使用、そしてステークホルダーグループ間の情報共有プラットフォームの確立によってさらにサポートされる。

4.6.3 インターフェース管理メカニズム

層間のインターフェースの管理は、効果的な制度設計にとって重要である。政治-行政インターフェースにおいて、主要な課題は、行政の専門性を損なったり過度の政治的介入を導入したりすることなく、民主的インプットを運用ガイダンスに変換することである。これは、明確な方向性を提供しながら解釈の柔軟性を維持する構造化された品質仕様プロセスを実装することによって対処される。主要なメカニズムには、プロセスではなく成果を規定する品質フレームワークの使用、現状維持バイアスを管理するためのサンセット条項を持つ定期的なレビューサイクル、民主的に定義されたパラメータ内での専門的行政自律性の保持、そしてマイクロマネジメントに頼らずに政治的監視を可能にする透明なアカウンタビリティメカニズムが含まれる。

行政-事業インターフェースにおいて、課題は公共目標と運用効率のバランスを取りながら、事業利益が協調プロセスを捕捉するリスクを管理することにある。解決策は、効率とともに品質達成を報酬する競争的フレームワークを採用することにより、私的利害と公共目標を整合させることを含む。これは、品質に沿った行動を利益可能にする環境設計、価値の複数の次元を組み込むパフォーマンス測定システム、サービス提供における現状維持バイアスの定着を防ぐ競争圧力、そして堅牢なアカウンタビリティを維持しながら共同問題解決を促進する協調的ガバナンス構造を通じて運用化される。

4.7 考察

4.7.1 理論的含意

本研究の理論的含意は複数の次元にわたる。第一に、認知バイアスの再評価が達成され、以前は否定的に見られていた認知バイアスの建設的な側面が明らかになった。第二に、定量分析手法が開発され、政策協調の数学的モデリングを通じた定量分析が可能になった。第三に、制度設計理

論への貢献がなされ、ガバナンス配置におけるバイアスの戦略的活用のための新しい理論的枠組みが提示された。

4.7.2 実践的含意

実践的含意はいくつかの重要な領域を含む。政策形成への応用に関しては、認知バイアスを障害ではなく戦略的リソースとして考慮する政策設計の重要性が強調される。ステークホルダー管理に関しては、異なるステークホルダーグループの特定のバイアス特性に合わせた関係管理手法の価値が示される。制度改革に関しては、予測可能な認知傾向に対抗するのではなく、それと協働する既存制度の漸進的改善戦略の必要性が示される。

4.7.3 研究の限界

本研究はいくつかの重要な限界を認めている。シミュレーション環境は、計算モデリングが必然的に実際の政策の複雑さから乖離しているという重要な制約を表している。バイアスモデリングアプローチは認知バイアスの簡略化を含んでおり、現実世界の設定ではパラメトリック表現が示唆するよりも微妙で文脈依存的である。検証範囲は日本の地域公共交通に限定されており、他の政策分野や制度的文脈への一般化可能性を制限する可能性がある。

4.8 小括

本研究では、ロボットアーム協調制御シミュレーションを用いて地域公共交通政策における協調メカニズムを分析し、いくつかの主要な発見を得た。

認知バイアスの定量評価は、1,820回の制御された実験を通じて、3つの認知バイアスが調整パフォーマンスに与える効果を統計的に検証することによって達成された。特定のバイアスの建設的効果は、確証バイアスの調整パフォーマンス維持効果を通じて実証され、バイアスが政策実装を一律に阻害するという従来の仮定に挑戦した。三層制度設計フレームワークは、バイアスを単に排除しようとするのではなく、戦略的に活用するものとして開発された。

1,820回のシミュレーション実験を通じて、三つの認知バイアスが政策協調に与える影響を定量的に解明した。確証バイアスは統計的に有意な調整低下を引き起こさず、適度な範囲では逆説的に協調を促進する可能性があることを示した。現状維持バイアスは統計的に有意な負の効果を持ち、約0.25を超えると臨界点を超えて急激に協調が阻害されることを明らかにした。狭い視野は有意な線形劣化を示し、一貫して負の影響を持つことを確認した。

これらの発見に基づき、政治-市民インターフェース、行政-事業インターフェースを分離する三層制度アーキテクチャを提案した。このフレームワークは、民主的アカウンタビリティと運用効率の両方を最適化することを目指している。

次章では、本章の計算論的分析と「執政の創造性」の理論を踏まえ、生成AIと人間の協調的関係性を具体化するZK-SNARKs型政策評価システムを提案する。

Chapter 5

生成AIと人間の関係性：ZK-SNARKs 型政策評価システム

5.1 はじめに

5.1.1 研究の背景

現代社会が直面するウィキッド・プロブレム（Wicked Problems）は、その複雑性と多面性により、従来の政策立案・評価手法では適切に対処することが困難である。Rittel and Webber (1973) が提唱したこの概念は、明確な解が存在せず、多様なステークホルダーの価値観が対立し、試行錯誤による学習が不可欠な問題群を指す。地球温暖化、少子高齢化、都市計画、医療政策といった現代的課題は、いずれもこの特徴を備えており、単一の専門分野や手法では解決が困難である。ウィキッド・プロブレムの政策評価においては、多様な専門知識の統合が不可欠である。しかしながら、企業の技術情報、研究機関の未公開データ、個人の経験知など、政策評価に有用な情報の多くは秘匿性を要求される。従来の政策評価プロセスでは、こうした機密情報の提供を前提とするため、情報提供者の参加が制限され、評価の質と正当性が損なわれてきた。この構造的矛盾により、専門性の高い評価と参加者の秘匿性保護の両立が、政策対話における本質的課題となっている。

5.1.2 従来手法の限界

政策評価の手法は、その目的や志向性によって多様であり、杉谷（2019）によれば、デモクラシーの類型に対応した複数の評価タイプが存在する。しかし、いずれのタイプにも固有の限界がある。第一に、プロフェッショナル評価（専門家主導型）の限界がある。この方式では、評価の専門家や行政職員が実務を進め、市民はアンケートや情報源として扱われる。専門家の知見を活用できる一方で、テクノクラシー（専門家支配）に偏向する可能性が指摘されている（杉谷, 2019, p.190）。政治エリートの能力や意欲に依存し、民主的性格を失う恐れがある。また、専門家が保有する機密情報を評価に反映させることができず、評価の質が制限される。

第二に、ステークホルダー評価（利害関係者参加型）の限界がある。この方式では、政策に利害関係を持つ者（受益者、管理者、専門家など）が評価プロセスに参加し、多元的な視点を反映させることを目的とする。しかし、利害関係者間の利害対立を解決する方法がない場合、評価自体が紛争の場になりかねない（杉谷, 2019, p.198）。

第三に、協働型評価（専門家+市民）の限界がある。この方式では、評価担当者がファシリテーターの役割を担い、関係者と協力してプログラム理論の構築や評価を行う。しかし、機密情報の取り扱いが困難であり、専門知と市民参加の質的両立が難しいという課題が残る。

さらに、EBPM（エビデンスに基づく政策形成）の文脈では、「説明責任（Accountability）」と「応答責任（Responsiveness）」の間に緊張関係が存在する（窪田・山谷編, 2020, p.213）。説明責任は近代科学的エビデンス（普遍性を志向）に基づき外部の第三者による統制を可能にするのに対し、応答責任は現場の実践家が個別ニーズや生活世界に根差したエビデンスに基づき果たすべき責任である。アーギロス（Argyrous, 2012）が指摘するように、EBPMにおける透明性は、行政を一

方的に監視するためだけでなく、エビデンスの導出プロセスをオープンにすることでエビデンスの多元性を確保することに資する（杉谷, 2019, p.229）。

これらの限界は、秘匿性と透明性、専門性と参加性、説明責任と応答責任という相反する要求を同時に満たすことの困難さに起因する。奥田（2019）らが指摘するように、「ウィキッド・プロブレムの解決には「ステークホルダーの合意調達と、柔軟かつ迅速な専門知・実践知の調達・適用」の連動が不可欠であるが、従来の枠組みではこの連動を実現する技術的基盤が欠如していた。

5.1.3 本研究の目的

本研究の目的は、市民討議による原則策定、ZK-SNARKs による秘密情報の秘匿化処理、Constitutional AI 訓練手法による専門的価値観の埋め込みを統合した政策対話インフラを構築することである。このシステムにより、以下の 4 つの目標を達成する。

第一に、市民参加による民主的正当性と専門的評価の両立を実現する。本システムの特徴的な点は、Constitutional AI の憲法的原則を市民・研究者の討議を通じて共同策定することにある。自治体が討議を運営・記録し、市民と研究者が対話を通じて「公平性」「透明性」「プライバシー保護」などの原則を定義する。この過程により、LLM の訓練基盤となる原則に民主的正当性が付与される。討議で策定された原則に基づいて Constitutional AI 訓練を行うことで、市民の価値観を反映した専門的判断が可能となる。

第二に、秘密情報を含む政策提案の実現を可能にする。ZK-SNARKs の秘匿証明特性を模倣することで、政策提案者は企業秘密や未公開研究データをシステムに提出できる。秘密情報は外部に一切漏らさず、LLM の評価にのみ使用される。これにより、企業の技術情報や研究機関の未公開データを含む具体的な根拠を持つ政策提案が可能となりながら、知的財産や競争優位性を保護することができる。

第三に、参加者の多様化と提案の質的向上を実現する。秘匿性の保証により、従来参加を躊躇していた研究機関が具体的な技術データや研究成果を含む高品質な政策提案を提出できる。市民は意見を出し、研究者は機密データを含む提案を行う。専門的価値観に基づく評価により、提案内容そのもので判断され、権威や社会的地位に依存しない公平な評価システムを構築する。

第四に、透明性と秘密保護の両立を強化する。ZK-SNARKs により、提案の計算結果が秘密データに基づいて正しく導出されたことを証明しつつ、評価プロセスの透明性を保ちながら提案に含まれる秘密情報を保護する。自治体・行政が最終判断を行い、議会・住民への説明責任を果たす。これにより、行政の説明責任を技術的に保証し、市民の信頼を獲得する。

本論文の構成は以下の通りである。第 2 章では、ZK-SNARKs の技術的基礎とその政策評価への適用可能性を検討する。第 3 章では、Constitutional AI と LLM as a Judge の技術的特性を整理し、政策評価における役割を明らかにする。第 4 章では、提案するシステムアーキテクチャを詳述し、技術統合の方法論を示す。第 5 章では、期待される効果と今後の展望を論じる。

5.2 ZK-SNARKs と秘匿証明

5.2.1 ZK-SNARKs の技術的基礎

Zero-Knowledge Succinct Non-interactive Arguments of Knowledge (ZK-SNARKs) は、暗号学における秘匿証明プロトコルであり、4 つの本質的特性を持つ。これらの特性により、従来は不可能であった「秘密を完全に守りながら、その秘密に関する知識を持っていることを証明する」ことが技術的に実現可能となった。

Zero-Knowledge (ゼロ知識) 特性は、証明を通して元の秘密情報が一切漏洩しないことを保証する。検証者は「証明者が知識を持っている」という事実のみを確認でき、知識そのものは一切得られない。この特性により、機密情報の詳細を開示することなく、その情報の保持を証明することが可能となる。

Succinct (簡潔) 特性は、どんなに複雑な計算であっても証明サイズが常に数百バイト程度と一定であることを意味する。膨大なデータの正しさを小さな証明で検証可能であり、計算効率と通信効率の両面で優れた性能を発揮する。この特性により、大規模な政策評価プロセスにおいても実用的な処理時間で証明の生成と検証が可能となる。

現代社会はウィキッド・プロブレムにあふれている

「厄介な問題」への対処が求められている

ウィキッド・プロブレムとは、明確な解が存在せず、多様なステークホルダーの価値観が対立し、試行錯誤による学習が不可欠な問題群を指す（Rittel & Webber, 1973）。

奥田（2019）によれば、ウィキッド・プロブレムの解決には2つの要素が不可欠：

👉 ステークホルダーの合意調達

多様な価値観を持つ関係者間で、対話を通じて共通理解と妥協点を形成する。

📘 専門知・実践知の調達・適用

複数の専門分野にまたがる知識を、柔軟かつ迅速に統合・活用する。

2

Figure 5.1: 本研究の全体像 - 市民討議、ZK-SNARKs、Constitutional AI の統合アーキテクチャ

Non-interactive（非対話）特性は、証明者から検証者への1回の送信で証明が完了することを示す。複数回のやり取りを必要とせず、オンライン通信の負荷を大幅に削減する。この特性により、非同期的な政策評価プロセスや、多数の参加者が関与する大規模な協議においても効率的な運用が可能となる。

Arguments of Knowledge（知識の論証）特性は、証明者が本当にその知識を所有している必要があり、偽造が計算量的に不可能であることを保証する。数学的安全性により信頼性が確保され、悪意のある参加者による不正な証明の作成を防止する。

これらの4つの特性は、楕円曲線暗号などの数学的基盤により実現される。特に、楕円曲線上の離散対数問題の計算困難性に基づくペーリング演算を利用することで、効率的な証明生成と検証が可能となる。Groth（2016）により提案されたGroth16方式は、現在最も効率的なZK-SNARKs実装の一つであり、証明サイズが128バイト、検証時間が数ミリ秒という実用的な性能を達成している。

政策評価への適用可能性

「秘密を守りながら正しさを証明する」

- 企業は、技術データを秘匿しながら「CO₂を30%削減できる」という主張を証明できる。
- 研究機関は、未公開データを保護しながら科学的根拠を示せる。
- 行政は、秘密を知らないても提案の妥当性を客観的に評価できる。

⌚ ZK-SNARKsがもたらす可能性

政策評価における秘匿性と透明性のジレンマを技術的に解決できる可能性がある。

しかし、ZK-SNARKsをそのまま政策評価に適用するには課題がある。

7

Figure 5.2: ZK-SNARKs の4つの本質的特性

5.2.2 政策提案への適用可能性

ZK-SNARKs の秘匿証明特性は、政策提案における秘密情報保護と提案の具体性の両立という構造的課題に対する技術的解決策を提供する。従来、参加者が保有する機密情報を政策提案に含めるためには、その情報の詳細を開示する必要があり、これが具体的な提案の提出を阻害してきた。ZK-SNARKs を用いることで、提案者は機密情報そのものを開示することなく、その情報を含む政策提案をシステムに提出できる。

具体的には、提案者が保有する技術データ、研究成果、実証実験の結果などを秘密情報として扱い、これらの情報を含む政策提案をシステムに提出する。ZK-SNARKs の秘匿化処理により、秘密情報は LLM の評価に使用されるが、外部には一切漏らさない。証明プロセスにより、提案に含まれる計算結果（例：「CO₂ を 30% 削減できる」）が実際に秘密情報に基づいて正しく導出されたことを、秘密情報を開示することなく証明できる。検証者は、証明を検証することで、提案の計算結果が秘密データに基づいて正しいことを確認できるが、秘密データの詳細にはアクセスできない。

解説
解説策の萌芽

暗号学に解決の萌芽があった

ZK-SNARKs：ゼロ知識証明の技術

ZK-SNARKs (Zero-Knowledge Succinct Non-interactive Arguments of Knowledge) は、「秘密を開示せずに、その秘密に関する知識を持っていることを証明する」暗号技術である。

- この技術は、ブロックチェーンのプライバシー保護に広く使われている。
- 秘密情報そのものは一切漏洩しない (Zero-Knowledge特性)。
- 証明は数百バイトと小さく、検証は数ミリ秒で完了する (Succinct特性)。
- 証明者と検証者の間で対話は不要である (Non-interactive特性)。

5

Figure 5.3: ZK-SNARKs による秘匿証明の概念

この仕組みにより、企業は競争優位性を損なうことなく具体的な技術データを含む政策提案を提出でき、研究機関は未公開の研究成果を保護しながら科学的根拠を含む提案を行うことができる。また、個人は経験知やノウハウといった暗黙知を秘匿しながら、その知見に基づく提案を行うことができる。この結果、従来は抽象的な提案しかできなかった多様なステークホルダーが、具体的根拠を持つ高品質な政策提案を提出することが可能となり、政策の質と実効性が向上する。

さらに、ZK-SNARKs の非対話特性により、評価者は自身の都合の良いタイミングで証明を生成し、非同期的に提出できる。これにより、時間的・空間的制約を受けずに大規模な参加型評価を実現できる。Succinct 特性により、証明サイズが小さく保たれるため、ネットワーク帯域や保存容量の制約も最小限に抑えられる。

5.2.3 ZK-SNARKs vs STARKs：文脈依存性の必然

ZK-SNARKs の代替技術として ZK-STARKs (Scalable Transparent Arguments of Knowledge) が存在するが、本研究では政策評価の文脈において ZK-SNARKs が適していると判断した。この選択の理論的根拠は、政策評価における文脈依存性の本質にある。

STARKs の根本的特徴は、Trusted Setup を必要としない Universal 性にある。これは、どんな文脈でも同じアルゴリズムを適用し、数学的に一律な検証基準を用いることを意味する。この特性は、暗号通貨のような文脈に依存しない純粋な計算検証には適しているが、政策評価という本質的に文脈依存的な領域には適合しない。

政策評価の現実は、文脈依存性が本質である。地域、時代、文化によって評価基準が変化し、人間の規範が動的に創造される。ステークホルダーは異なる価値体系を持ち、これらの多様性を尊重しながら合意形成を図る必要がある。STARKs の Universal 性は、この文脈依存的な評価を適切に扱うことができない。

対照的に、ZK-SNARKs の Trusted Setup は、文脈に応じたカスタマイズされた評価システムの構築を可能にする。各政策分野、各地域、各時代に応じて最適化された証明システムを設計できる。Trusted Setup の過程で、その文脈における重要な価値観や評価基準を反映させることができる。この柔軟性により、政策評価の文脈依存的な性質に適合したシステムを構築できる。

さらに、ZK-SNARKs は証明サイズと検証時間において優れた性能を示す。Groth16 方式では証明サイズが 128 バイトと極めて小さく、検証時間も数ミリ秒と高速である。大規模な参加型政策評価において、多数の証明を効率的に処理する必要がある場合、この性能差は実用上重要な意味を持つ。

ただし、Trusted Setup のプロセスには慎重な設計が必要である。複数の独立した参加者によるマルチパーティ計算 (MPC) を用いることで、単一の参加者が秘密鍵を保持するリスクを排除できる。実際に、Zcash プロジェクトでは 2016 年の Sprout ceremony (6 人) から 2018 年の Sapling ceremony (90 人) へと参加者を拡大し、Tornado.cash はブラウザベースの参加を可能にすることで 1,114 人の参加者を集めた (Buterin, 2022)。さらに、2023 年に開始された Ethereum KZG Ceremony は約 95,000 件の貢献を集め、史上最大規模の Trusted Setup ceremony となった (Ethereum Foundation, 2023)。これらの実績により、実用上の安全性は十分に確保できていることが示されている。

5.3 Constitutional AI と LLM as a Judge

5.3.1 LLM as a Judge の概念と発展

Large Language Model を評価者 (Judge) として活用する LLM as a Judge の概念は、2024 年以降急速に発展した研究領域である。従来、テキスト生成や質問応答などのタスクにおける LLM の性能評価は、人間による主観的判断や、BLEU スコアなどの自動評価指標に依存していた。しかし、これらの手法は評価の一貫性、スケーラビリティ、コスト効率の面で課題を抱えていた。

LLM as a Judge は、LLM 自身が他の LLM の出力や人間の文章を評価する枠組みである。この手法の理論的基盤は、大規模言語モデルが訓練過程で獲得した広範な知識と、人間の価値判断パターンの学習にある。Shi et al. (2024) による包括的調査によれば、LLM as a Judge は単純な品質評価から、論理的整合性、事実正確性、倫理的適切性など、多次元的な評価が可能である。

Wang et al. (2024-2025) は、LLM ベースの評価手法を体系的に整理し、その有効性を実証した。特に、Chain-of-Thought (CoT) 推論を組み込むことで、評価プロセスの透明性が向上し、評価根拠の説明が可能となることを示した。Gu et al. (2025) は、開放型対話システムの評価における LLM as a Judge の有効性を検証し、人間評価者との高い一致率を報告している。

政策評価への応用という観点では、LLM as a Judge は以下の特性により有用である。第一に、大量の政策提案を効率的に処理できる。人間の評価者では処理しきれない規模の提案に対しても、一貫した基準で迅速な評価が可能である。第二に、多様な視点からの評価を統合できる。複数の評価基準を同時に考慮し、それらのバランスを取りながら総合的な判断を行う。第三に、評価プロセスの透明性を確保できる。評価理由を自然言語で説明することで、評価結果の解釈可能性が向上する。

5.3.2 LLM as a Judge の限界と課題

LLM as a Judge は有用な評価手法である一方で、いくつかの重要な限界を持つ。これらの限界を理解し、適切に対処することが、実用的な政策評価システムの構築には不可欠である。

第一の限界は、幻覚 (Hallucination) 問題である。LLM は、訓練データに含まれない情報や、事実と異なる内容を、もっともらしく生成する傾向がある。政策評価においては、根拠のない評価や、誤った事実認識に基づく判断が重大な問題となる。特に、専門的な技術事項や最新の研究成果に関する評価では、LLM の知識の限界が顕在化する。

概念組み立て

市民討議で原則を策定する

民主的なTrusted Setup

- 自治体が討議を運営し、市民と研究者が対話を通じて原則を策定する。
- 「公平性」「透明性」「プライバシー保護」などの価値観を明文化する。
- 策定された原則を基にConstitutional AI訓練を行い、LLMに内在化させる。

市民討議がもたらす効果

- 評価原則に民主的正当性が付与される。
- 多様なステークホルダーの価値観が反映される。
- LLMの判断基準が透明化され、説明責任を果たせる。

12

Figure 5.4: LLM as a Judge の概念 - 大規模言語モデルによる評価の枠組み

第二の限界は、バイアスと公平性の問題である。LLM は訓練データに含まれる社会的バイアスを学習し、それが評価に反映される可能性がある。性別、人種、地域、社会階層などに関する潜在的な偏見が、政策評価の公平性を損なう恐れがある。さらに、訓練データの分布により、特定の政治的立場や価値観に偏った評価を行う可能性も指摘されている。

第三の限界は、文脈理解の不完全性である。ウィキッド・プロブレムのような複雑な政策課題では、多層的な文脈理解が必要となるが、現在の LLM はこの能力に限界がある。特に、地域固有の事情、歴史的経緯、文化的背景などの深い理解が要求される場合、LLM の評価は表面的になる可能性がある。

第四の限界は、説明責任と最終決定権の問題である。LLM による評価は確率的な推論に基づいており、その判断過程は完全には解明されていない。政策評価という公共性の高い領域において、アルゴリズムによる自動的な決定に全面的に依存することは、民主的正当性と説明責任の観点から問題がある。

これらの限界に対処するため、本研究では Constitutional AI 訓練手法を導入し、さらに人間による最終的な評価決定を保障するシステム設計を採用する。

5.3.3 Constitutional AI：訓練手法の理論的基礎

Constitutional AI（憲法的 AI）は、Anthropic により 2022 年に提案された、LLM を人間の価値観に整合させる訓練手法である。Bai et al. (2022) による原著論文では、人間が定義した憲法的原則（Constitution）に基づいて AI 自身が自己改善を行う手法が提示されている。

Constitutional AI の基本的な発想は、AI 訓練における人間の役割を「個別の出力に対する評価者」から「システム全体を導く原則の策定者」へと転換することにある。従来の Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF) では、人間は個々の AI 出力に対して「良い」「悪い」の判断を下す必要があり、これが大きな労力とコストを要した。Constitutional AI では、人間は「helpful (有用である)」「harmless (無害である)」「honest (誠実である)」といった高次の原則を自然言語で定義し、AI がこれらの原則に基づいて自己評価と自己修正を行う。

訓練プロセスは 2 つのフェーズから構成される。第一の Supervised Learning (SL) フェーズでは、LLM が生成した応答を、LLM 自身が憲法的原則に照らして批評 (Critique) し、改訂 (Revision) する。この自己批評と自己修正のプロセスを繰り返すことで、LLM は憲法的原則を内在化していく。第二の Reinforcement Learning (RL) フェーズでは、LLM が生成した複数の応答を、LLM 自身が憲法的原則に基づいて評価し、優れた応答を選択する。この評価を用いて Preference Model (選好モデル) を訓練し、さらにこのモデルを報酬信号として強化学習を行う。このプロセスは「Reinforcement Learning from AI Feedback (RLAIF)」と呼ばれる。

Constitutional AI の重要な特徴は、訓練時に組み込まれた憲法的制約が、訓練後の LLM の内部表現として保持されることである。これにより、運用時には外部からの継続的な監視や介入なしに、LLM が自律的に倫理的制約を遵守した判断を行うことができる。この特性は、ZK-SNARKs における楕円曲線暗号の役割と類似している。楕円曲線暗号が ZK-SNARKs の数学的安全性を基盤として保証するように、Constitutional AI は LLM の倫理的信頼性を基盤として保証する。

政策評価への応用という観点では、Constitutional AI は以下の利点を提供する。第一に、公平性、透明性、プライバシー保護といった政策評価に必要な倫理的原則を、訓練時に明示的に組み込むことができる。第二に、市民討議という民主的プロセスで合意された判断基準を LLM に内在化させることで、評価基準に民主的正当性を付与できる。第三に、評価理由の説明において、憲法的原則への言及を通じて、評価の透明性と説明責任を向上させることができる。

概念組み立て

ZK-SNARKsと本提案の対応関係

楕円曲線 ≈ LLM as a Judge

側面	ZK-SNARKs	本研究の提案
実行する仕組み	楕円曲線暗号	LLM as a Judge
設定する仕組み	Trusted Setup	Constitutional AI
設定内容	楕円曲線パラメータ	評価基準（原則）
設定方法	数学的	市民討議（民主的）
秘匿実行環境	証明者のローカル環境	TEE（Trusted Execution Environment）

💡 ZK-SNARKsは数学的保証、LLMは確率的期待という違いがある。しかし、TEE（秘匿実行環境）と決定論的運用を組み合わせることで、実用上の信頼性を高められる可能性がある。

13

Figure 5.5: Constitutional AI の訓練プロセス - 憲法的原則に基づく自己改善

5.3.4 Constitutional AI 訓練による LLM as a Judge の実現

本研究では、Constitutional AI 訓練手法により訓練された LLM を、LLM as a Judge として政策評価に活用する。この統合的アプローチにより、LLM as a Judge の限界を克服し、信頼性の高い政策評価支援システムを実現する。

訓練プロセスにおいて、政策評価に特化した憲法的原則と専門的価値観を定義する。憲法的原則には、公平性（特定の集団やイデオロギーへの偏向を避ける）、透明性（評価理由を明確に説明する）、プライバシー保護（個人情報や機密情報を適切に扱う）、科学的根拠の重視（エビデンスに基づく評価を行う）、多様な視点の尊重（異なる価値観を認識し考慮する）などが含まれる。専門的価値観には、各政策分野（環境、福祉、都市計画等）における専門家の判断パターン、評価基準、重視すべき要素などが含まれる。

SL フェーズでは、様々な政策提案に対する評価を生成し、それを憲法的原則と専門的価値観に照らして自己批評する。例えば、「この評価は特定の政治的立場に偏っていないか」「評価理由は十分に明確か」「科学的根拠は適切に引用されているか」「専門的観点から適切な判断基準を用いているか」といった観点から、AI 自身が評価を見直し、改善する。この反復的プロセスにより、政策評価に適した判断パターンと専門的視点が学習される。

RL フェーズでは、複数の評価候補を生成し、それらを憲法的原則と専門的価値観に基づいて比較評価する。専門家の判断パターンを訓練データとして学習し、AI 評価 (RLAIF) を報酬信号として強化学習を行う。Chain-of-Thought 推論を組み込むことで、「なぜこの評価がより公平か」「どの評価がより専門的観点から適切か」といった判断プロセスを明示化する。これにより、最終的な評価選択の根拠が明確化され、説明可能性が向上する。

訓練された LLM as a Judge は、政策評価において以下の機能を提供する。第一に、大量の政策提案を効率的に処理し、初期スクリーニングや優先順位付けを行う。第二に、訓練された専門的価値観に基づいて評価を実行する。第三に、評価理由を自然言語で説明し、評価の透明性を確保する。第四に、憲法的制約と専門的判断基準に基づく自律的な判断により、一貫性のある公平な評価を提供する。

重要な点として、LLM as a Judge は最終的な決定を行うのではなく、人間による意思決定を支援する役割に徹する。Constitutional AI 訓練により、「アルゴリズムは支援に徹し、最終決定は人間が実施する」という原則が内在化されている。これにより、民主的正当性と説明責任を確保しながら、AI の効率性と専門的判断能力を活用することが可能となる。

5.4 システムアーキテクチャと技術統合

5.4.1 全体アーキテクチャの概要

本研究が提案する政策対話インフラは、Constitutional AI 訓練手法により訓練された LLM as a Judge を中核とし、ZK-SNARKs の秘匿証明特性を統合したシステムである。このアーキテクチャは、人間、訓練プロセス、運用システムという 3 つの層から構成される。

人間層では、政策評価に関わる全てのステークホルダーが参加する。この層の主要な役割は四つある。第一に、市民と研究者が討議を通じて Constitutional AI の憲法的原則を共同策定することである。自治体が討議を運営・記録し、市民と研究者が対話を通じて「公平性」「透明性」「プライバシー保護」「科学的根拠の重視」などの原則を定義する。この討議プロセスにより、LLM の訓練基盤となる原則に民主的正当性が付与される。第二に、各政策分野の専門的価値観を定義することである。研究者が環境政策、福祉政策、都市計画など、分野ごとの専門家の判断パターンや評価基準を整理する。第三に、政策提案を提出することである。市民は意見を提出し、研究者は機密データを含む提案を行う。第四に、最終的な評価決定を行うことである。自治体・行政が LLM as a Judge による評価結果を参考にしながら最終判断を行い、議会・住民への説明責任を果たす。訓練層では、Constitutional AI 手法により、市民討議で策定された憲法的原則と研究者が定義した専門的価値観に基づいて LLM を訓練する。SL フェーズにおいて、AI 自身が政策評価の応答を生成し、市民が定めた憲法的原則と専門的価値観に照らして自己批評と自己修正を繰り返す。RL フェーズにおいて、専門家の判断パターンを学習し、AI 評価 (RLAIF) を報酬信号として強化学習を行い、民主的に策定された憲法的制約と専門的判断基準を LLM の内部表現として内在化させる。この訓練プロセスにより、市民の価値観と専門的視点を組み込んだ LLM が生成される。

運用層では、訓練された LLM as a Judge が政策評価を実行する。この LLM は、ZK-SNARKs の秘匿証明特性と政策評価システムを単一のトランスフォーマーモデル内で統合的に実装する。具体的には、LLM は秘密情報を含む政策提案を入力として受け取り、訓練された専門的価値観に基づく評価を実行し、出力層において秘密を含まない評価結果と評価の根拠・理由を出力する。評価結果は自然言語で説明される。

このアーキテクチャの特徴は、市民討議による原則策定、Constitutional AI 訓練、LLM as a Judge による運用という一貫したフローにある。市民と研究者が討議を通じて定めた原則が Constitutional AI 訓練の基盤となり、その訓練により LLM に内在化された倫理的制約と専門的判断基準が運用時の自律的判断を導く。外部からの継続的な監視や介入を必要とせず、民主的に策定された原則に基づいて LLM が評価を行う。この仕組みは、楕円曲線暗号が ZK-SNARKs の数学的安全性を基盤として保証するように、市民討議と Constitutional AI が LLM の民主的正当性と専門性を基盤として保証することに類似している。

5.4.2 ZK-SNARKs 秘匿証明特性の LLM 実装：秘密情報の秘匿化処理

LLM トランスフォーマーモデルにおける ZK-SNARKs 秘匿証明特性の実装は、本研究の技術的核心の一つである。この実装により、政策提案に含まれる秘密情報を秘匿化処理し、LLM の評価に使用するが外部には一切漏らさない。

実装の第一段階は、政策提案に含まれる秘密情報の入力処理である。提案者が提出する技術データ、研究成果、実証実験の結果などの機密情報を、LLM は入力として受け取る。重要な点は、LLM

確率性の排除と再現性の確保

「いつ誰がやっても同じ結果」を実現する工学的アプローチ

Temperature = 0 設定

- LLM の出力の「揺らぎ」を制御するパラメータ
- Temperature = 0** で決定論的な出力を実現
- 同じ入力に対して常に同じ出力を保証
- 行政手続きに求められる再現性を確保

Self-Consistency (複数回試行)

- 同じ評価を複数回実行し結果を集約
- 数値評価：平均値を採用し外れ値を排除
- 文章評価：多数決により最頻出の結論を採用
- ハルシネーション（幻覚）リスクを統計的に低減

工学的アプローチの意義：ZK-SNARKs の数学的保証には及ばないが、「Temperature=0 + Self-Consistency」の組み合わせにより、実用上の再現性と信頼性を高められる可能性がある。行政手続きの要件（公平性・一貫性）を満たせるかは、今後の実証が必要である。

17

Figure 5.6: システムの統合アーキテクチャ - 人間層、訓練層、運用層の 3 層構造

は秘密情報を「見ている」ということである。秘密情報をベクトル空間に埋め込んで隠蔽するのではなく、LLM は入力された秘密情報の内容を処理する。

第二段階は、専門的価値観に基づく提案の評価実行である。LLM の内部処理において、Constitutional AI 訓練により内在化された専門的価値観に基づいて、秘密情報を含む政策提案を評価する。Transformer architecture の Attention 機構により、入力情報と訓練された専門的判断基準を統合し、提案の妥当性を判断する。

第三段階は、評価結果の出力である。LLM の出力層において、秘密情報を含まない政策評価結果を生成する。同時に、評価の根拠・理由を生成し、どのような観点から評価が行われたかを説明する。重要な特性は、出力される評価結果と根拠がいずれも秘密情報を含まないことである。検証者は、評価結果と根拠を確認できるが、秘密データの詳細にはアクセスできない。

この実装により、ZK-SNARKs の 4 つの特性を LLM 上で模倣することを目指す。Zero-Knowledge 特性は、出力時に秘密情報を含めないことにより模倣される。Succinct 特性は、評価結果のサイズが入力情報のサイズに依存せず簡潔であることにより模倣される。Non-interactive 特性は、評価者が一度の出力で評価を完結できることにより模倣される。Arguments of Knowledge 特性は、LLM の訓練過程において学習された知識表現の整合性により模倣される。

ただし、LLM による実装は、真の ZK-SNARKs とは本質的に異なる点に留意が必要である。ZK-SNARKs は楕円曲線暗号に基づき、秘密が漏れないことを数学的に保証する。一方、LLM は秘密情報を入力として受け取り、出力時に秘密を含めないように訓練されているだけであり、秘密が漏れないことの確率的な期待しか持てない。敵対的なプロンプトにより秘密を漏洩させられるリスクが残る。この本質的な違いを認識した上で、次節で述べる工学的アプローチにより、実用上の信頼性を高める方策を検討する。

5.4.3 秘匿性と再現性を高める工学的アプローチ

前節で述べた LLM と ZK-SNARKs の本質的な違いに対処するため、本研究では 2 つの工学的アプローチを提案する。これらは数学的保証には及ばないものの、実用上の信頼性を高められる可能性がある。

4.3.1 TEE (Trusted Execution Environment) による分散型評価モデル 第一のアプローチは、TEE (Trusted Execution Environment : 信頼できる実行環境) を活用した分散型評価システムである。TEE とは、Intel SGX や AWS Nitro Enclaves などに代表される、ハードウェアレベルで隔離された実行環境を指す。

このアプローチでは、Constitutional AI 訓練により構築された評価用 LLM を、Docker コンテナなどの形式でパッケージ化し、各事業者（政策提案者）に配布する。事業者は、自身のローカル環境に設置された TEE 内でこのモデルを実行し、秘密情報を含む政策提案を入力として評価を行う。TEE の重要な特性は、Remote Attestation（遠隔証明）機能である。これにより、「配布されたプログラムが改ざんされずに実行された」ことを電子署名によって証明できる。事業者は評価結果とこの証明書のみを行政側に送信し、秘密データそのものは事業者のローカル環境から外に出ることがない。

この構成は、ZK-SNARKs における証明者（Prover）と検証者（Verifier）の関係に類似している。ZK-SNARKs では、証明者がローカルで証明を生成し、検証者は証明のみを受け取って検証する。本提案では、事業者が TEE 内で評価を実行し、行政側は評価結果と TEE の証明書を受け取って検証する。秘密データが外部に送信されない点で、実用的な秘匿性の担保が期待できる。

ただし、TEE にも限界がある。サイドチャネル攻撃などの脆弱性が報告されており、完全な秘匿性を保証するものではない。また、TEE 環境の構築コストや、モデル配布のインフラ整備といった実務的な課題も存在する。

4.3.2 決定論的運用による再現性の確保 第二のアプローチは、LLM の確率的な挙動を抑制し、再現性を高める運用手法である。LLM は本質的に確率的なモデルであり、同じ入力に対しても異なる出力を生成する可能性がある。これは、行政手続きに求められる「いつ誰がやっても同じ結果になる」という公平性・一貫性の要件と相容れない。

この課題に対処するため、2つの手法を組み合わせる。第一に、Temperature（温度）パラメータを 0 に設定する。Temperature は、LLM の出力分布のエントロピーを制御するパラメータであり、0 に設定することで、最も確率の高いトークンのみを選択する決定論的な出力が得られる。これにより、同じ入力に対して常に同じ出力を生成することが期待できる。

第二に、Self-Consistency（自己無撞着性）手法を適用する。これは、同じ評価を複数回実行し、結果を集約する手法である。数値評価の場合は平均値を採用することで外れ値を排除し、文章評価の場合は多数決により最頻出の結論を採用する。この手法により、ハルシネーション（幻覚）のリスクを統計的に低減できる可能性がある。

これらの手法を組み合わせることで、LLM の確率的な揺らぎを抑制し、行政手続きに求められる再現性と一貫性を高められる可能性がある。ただし、これらはあくまで工学的なアプローチであり、ZK-SNARKs のような数学的保証を提供するものではない。実際に行政手続きの要件を満たせるかどうかは、今後の実証実験による検証が必要である。

5.4.4 システムの運用フロー

提案するシステムの運用フローは、準備段階、評価段階、決定段階の 3 つのフェーズから構成される。

準備段階では、市民討議による原則策定と評価基準の設定を行う。まず、自治体が討議を運営し、対象となるウィキッド・プロブレムを明確化する。次に、市民と研究者が対話を通じて Constitutional AI の憲法的原則を共同策定する。この討議プロセスにより、「公平性」「透明性」「プライバシー保護」などの原則に民主的正当性が付与される。策定された原則に基づいて Constitutional AI 訓練を行い、LLM as a Judge を構築する。

評価段階では、政策提案の収集と評価の実行を行う。市民は意見を提出し、研究者は機密データを含む提案を行う。この際、ZK-SNARKs 秘匿証明特性を LLM で実装したシステムを用いることで、研究者は機密情報を開示することなく具体的な根拠を持つ提案を提出できる。LLM as a Judge は、各政策提案について、市民討議で策定された原則と専門的価値観に基づいて多面的な評価を実行し、評価結果と評価の根拠・理由を生成する。

決定段階では、評価結果の確認と最終決定を行う。まず、LLM as a Judge による評価結果と根拠を確認し、評価の妥当性を検討する。次に、評価結果を自治体・行政の意思決定者に提示する。この際、評価理由と根拠が自然言語で説明され、透明性が確保される。最終的な政策決定は、自治体・行政がこれらの情報を参考にしながら行い、議会・住民への説明責任を果たす。Constitutional AI 訓練により、LLM は「アルゴリズムは支援に徹し、最終決定は人が実施する」という原則を遵守している。

このフローにより、市民参加による民主的正当性の確保、秘密情報を含む政策提案の実現、専門的価値観に基づく評価、自治体・行政による説明責任の強化という4つの目標が達成される。

技術実装

システムの運用フロー

準備→評価→決定の3段階

準備段階

自治体が討議を運営し、市民と研究者が憲法的原則を共同策定する。策定された原則に基づいてConstitutional AI訓練を実施し、LLM as a Judgeを構築する。

評価段階

市民は意見を出し、研究者は機密データを含む提案を提出する。LLMが秘匿化処理と評価を実行し、評価結果と根拠を生成する。

決定段階

評価結果と根拠を自治体・行政に提示する。最終的な政策決定は人間が実施し、議会・住民への説明責任を果たす。

18

Figure 5.7: ステークホルダージャーニー - 準備段階、評価段階、決定段階の運用フロー

5.5 期待される効果と今後の展望

5.5.1 期待される効果

本研究が提案する政策対話インフラは、ウィキッド・プロブレムの政策評価において、以下の4つの効果をもたらすことが期待される。

第一の効果は、市民参加による民主的正当性と専門的評価の両立である。市民と研究者が討議を通じて Constitutional AI の憲法的原則を共同策定することで、LLM の訓練基盤に民主的正当性が付与される。自治体が討議を運営・記録することで、プロセスの透明性が確保される。ZK-SNARKs により、研究機関の未公開データを含む具体的な政策提案をシステムに提出できる。秘密情報は外部に一切漏らさず、LLM の評価にのみ使用される。市民討議で策定された原則と Constitutional AI 訓練により専門的価値観を埋め込んだ LLM が、秘密情報を含む提案を市民の価値観と専門的視点の両方から評価する。この結果、民主的正当性を持つ高品質な政策評価が実現し、自治体・行政の説明責任が強化される。

第二の効果は、多様な提案の包摂と公平な評価の実現である。ウィキッド・プロブレムは、異なる価値観を持つ多様なステークホルダーが関与する問題である。市民討議で策定された憲法的原則に基づいて Constitutional AI 訓練を行うことで、民主的プロセスによって合意された判断基準を LLM に内在化させた LLM as a Judge が実現される。秘匿性の保証により、研究機関が具体的な技術データや研究成果を含む提案を提出できる。市民は意見を出し、研究者は機密データを含む提案を行う。提案内容そのもので判断されるため、権威や社会的地位に依存しない公平な評価が実現される。

第三の効果は、市民の価値観と専門的判断の調和である。市民討議で策定された原則が Constitutional AI 訓練の基盤となることで、市民の価値観が LLM の判断に反映される。同時に、「アルゴリズムは支援に徹し、最終決定は人間が実施する」という原則が LLM に内在化されている。これにより、LLM as a Judge は市民の価値観と専門的価値観の両方にに基づいて大量の政策提案を効率的に処理し、初期スクリーニングや優先順位付けを行うが、最終的な決定は自治体・行政が担う。この仕組みにより、AI の効率性を活用しながら、民主的正当性と説明責任を確保できる。

第四の効果は、政策対話の質的向上と社会的信頼の獲得である。市民討議による原則策定プロセスにより、市民が政策評価の基盤に直接参加する機会が創出される。評価理由の自然言語説明によ

り、評価プロセスの透明性が確保され、市民の理解が促進される。ZK-SNARKS により、提案の計算結果が秘密データに基づいて正しく導出されたことが証明され、自治体・行政の説明責任が技術的に保証される。秘密情報を含む多様な提案の統合と市民の価値観に基づく判断により、政策の多面的な影響が包括的に評価され、政策の質と実効性が向上する。これらの効果により、ウィキッド・プロブレムに対する社会的な合意形成が促進され、実効性のある政策実施が可能となる。

5.5.2 今後の課題

本研究が提案するシステムの社会実装には、技術的課題と制度的課題の両面において、さらなる研究開発が必要である。4.3 節で述べた工学的アプローチにより、秘匿性と再現性に関する原理的な不安に対しては対応策の方向性が示されたが、残された課題は依然として多い。

技術的課題としては、第一に、TEE による秘匿実行の実用性検証が必要である。TEE 環境の構築コスト、モデル配布のインフラ整備、各事業者への導入支援体制など、実務的な課題が存在する。また、TEE にはサイドチャネル攻撃などの脆弱性が報告されており、セキュリティ面での継続的な監視と対策が求められる。第二に、決定論的運用の有効性検証が必要である。Temperature=0 設定と Self-Consistency 手法の組み合わせが、実際に行政手続きの要件（公平性・一貫性）を満たすレベルの再現性を達成できるかは、実証実験による検証が不可欠である。第三に、市民討議プロセスの設計と実装が必要である。どのように討議を運営し、市民と研究者の対話を促進し、憲法的原則として文書化するかの具体的な方法論を確立する必要がある。第四に、Constitutional AI 訓練による原則内在化の信頼性評価が必要である。市民討議で策定された原則が LLM 訓練にどう変換されるか、その手続きの設計と、原則内在化の信頼性を評価する指標の開発が求められる。

制度的課題としては、第一に、地方自治体や政府機関との連携による実証実験が不可欠である。特定の政策分野（環境、福祉、都市計画等）において、小規模なパイロットプロジェクトを実施し、TEE 環境での運用可能性と決定論的運用の有効性を含めて検証する必要がある。第二に、法的・制度的枠組みの整備が必要である。TEE による秘匿実行の法的位置づけ、LLM による評価結果の行政手続きにおける扱い、個人情報保護との関係などについて、法的検討が求められる。第三に、社会的受容性の調査と向上が重要である。市民や専門家がシステムをどのように認識し、どの程度信頼するかを調査し、必要に応じてシステム設計や説明方法を改善する必要がある。

さらに、長期的な研究課題として、AI の継続的な進化への対応がある。LLM や TEE 技術は急速に発展しており、新しい手法や改良が継続的に提案されている。本システムも、これらの技術進化を取り込みながら、継続的に改善していく必要がある。特に、より安全な TEE 実装の登場や、Constitutional AI 訓練手法の発展に対応し、システムを更新していくことが重要である。

5.5.3 今後の展望

本研究が提案する政策対話インフラは、ウィキッド・プロブレムの政策評価という特定の応用領域から始まるが、その適用範囲は広範に及ぶ可能性がある。

短期的には、地方自治体レベルでの具体的な政策課題への適用が期待される。例えば、地域の環境政策、福祉政策、都市計画などにおいて、自治体が運営する市民討議を通じて評価原則を策定し、地域住民と研究機関が協働して政策を評価し、合意形成を図るプラットフォームとしての活用が考えられる。市民討議により地域固有の価値観が反映され、秘匿性の保証により研究機関が未公開の研究成果を政策評価に活用できるようになる。

中期的には、国レベルの重要な政策の評価への展開が期待される。地球温暖化対策、少子高齢化対策、エネルギー政策など、国家的な重要課題において、全国規模の市民討議を通じて評価原則を策定し、多様なステークホルダーの専門知を統合し、科学的根拠に基づく政策評価を実現する。市民討議による原則策定と Constitutional AI 訓練により、特定の政治的立場に偏らない公平な評価が可能となり、超党派的な政策合意の形成を支援できる。

長期的には、国際的な政策協調への応用も視野に入る。気候変動、感染症対策、サイバーセキュリティなど、グローバルな協調が必要な課題において、各国が保有する機密情報を秘匿しながら、国際的な政策評価と合意形成を行うプラットフォームとしての発展が期待される。ZK-SNARKS の秘匿性により、国家安全保障上の機密を保護しながら、科学的知見の共有が可能となる。

さらに、政策評価以外の分野への応用も考えられる。企業の戦略的意意思決定、研究開発プロジェクトの評価、医療における診断支援など、専門知の統合と秘匿性が同時に要求される多様な領域において、本研究の枠組みは有用である。Constitutional AI 訓練による倫理的制約の組み込みは、AI 応用の信頼性を確保する一般的な手法として、広範な領域で活用される可能性がある。

5.6 結論

本研究は、ウィキッド・プロブレムの政策評価における市民参加と専門的判断の両立という構造的課題を解決するため、市民討議による原則策定、ZK-SNARKs による秘密情報の秘匿化、Constitutional AI 訓練を統合した政策対話インフラを提案した。市民と研究者が討議を通じて憲法的原則を共同策定し、ZK-SNARKs が政策提案に含まれる秘密情報の秘匿化処理を担い、Constitutional AI 訓練により市民の価値観と専門的価値観を埋め込んだ LLM as a Judge が秘密情報を含む提案の評価を実行する。この技術統合により、民主的正当性と専門的評価を両立させた。

提案システムの特徴は、市民討議、ZK-SNARKs、Constitutional AI 訓練の役割分担にある。市民討議により憲法的原則に民主的正当性を付与し、ZK-SNARKs は政策提案に含まれる秘密情報の秘匿化処理を担当し、提案者の機密情報を保護しながら LLM の評価に使用できるようにする。Constitutional AI 訓練手法により、市民討議で策定された憲法的原則と専門的価値観が LLM に内在化され、民主的に策定された制約と専門的判断基準の下で秘密情報を含む提案を自律的に評価することが可能となる。楕円曲線暗号が ZK-SNARKs の数学的安全性を保証するように、市民討議と Constitutional AI が LLM の民主的正当性と専門性を保証する。

また、LLM と ZK-SNARKs の本質的な違い（数学的保証と確率的期待）に対処するため、2つの工学的アプローチを提案した。TEE（Trusted Execution Environment）による分散型評価モデルでは、訓練済み LLM をコンテナ化して各事業者に配布し、秘密データをローカル環境から外に出さずに評価を実行する。Temperature=0 設定と Self-Consistency 手法による決定論的運用では、LLM の確率的な揺らぎを抑制し、行政手続きに求められる再現性と一貫性を高める。これらは ZK-SNARKs のような数学的保証を提供するものではないが、実用上の信頼性を高められる可能性がある。

本システムにより、市民参加による民主的正当性の確保、秘密情報を含む政策提案の実現、専門的評価、公平性確保、自治体・行政による説明責任向上を同時に達成し、奥田（2019）らが指摘する「ステークホルダーの合意調達と、柔軟かつ迅速な専門知・実践知の調達・適用」の連動を、秘密情報を保護しながら実現することを目指す。今後は、TEE 環境での運用可能性の検証、決定論的運用の有効性実証、市民討議プロセスの設計、技術的実装の詳細設計、実証実験による有効性検証、法的・制度的課題の整理を通じて、真に実用的な政策対話インフラの社会実装を目指す。

5.6.1 参考文献

1. Rittel, H. W., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169.
2. 奥田恒 (2019). 「マイケル・ハウレットの『政策統合』アプローチ：ウィキッド・プロブレムへの対処戦略からの検討」『社会システム研究』22, 191-206. <https://doi.org/10.14989/241035>
3. Ben-Sasson, E., Chiesa, A., Tromer, E., & Virza, M. (2014). Succinct non-interactive zero knowledge for a von Neumann architecture. *Proceedings of the 23rd USENIX Security Symposium*, 781-796.
4. Groth, J. (2016). On the size of pairing-based non-interactive arguments. *Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2016*. <https://eprint.iacr.org/2016/260.pdf>
5. Gu, J., Jiang, X., Shi, Z., Tan, H., Zhai, X., Xu, C., Li, W., Shen, Y., Ma, S., Liu, H., Wang, S., Zhang, K., Wang, Y., Gao, W., Ni, L., & Guo, J. (2024). A survey on LLM-as-a-Judge. *arXiv preprint arXiv:2411.15594*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.15594>

設計目的の達成可能性

4つの目標に対する回答

 民主的正当性の確保 市民討議による原則策定により、LLMの判断基準に民主的正当性を付与できる。	 秘密情報を含む政策提案 ZK-SNARKS特性のLLM実装により、秘密を保護しながら評価に使用できる。
 公平な評価システム Constitutional AI訓練により、プロセスによって合意された判断基準をLLMに内在化できる。	 説明責任の強化 人間が最終決定を行う設計により、行政の説明責任を確保できる。

20

Figure 5.8: 提案する政策対話インフラの4つの目的

6. Li, H., Dong, Q., Chen, J., Su, H., Zhou, Y., Ai, Q., Ye, Z., & Liu, Y. (2024). LLMs-as-Judges: A comprehensive survey on LLM-based evaluation methods. *arXiv preprint arXiv:2412.05579*. <https://arxiv.org/abs/2412.05579>
7. Zheng, L., Chiang, W. L., Sheng, Y., Zhuang, S., Wu, Z., Zhuang, Y., Lin, Z., Li, Z., Li, D., Xing, E. P., Zhang, H., Gonzalez, J. E., & Stoica, I. (2023). Judging LLM-as-a-Judge with MT-Bench and Chatbot Arena. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 36.
8. Bai, Y., Jones, A., et al. (2022). Constitutional AI: Harmlessness from AI feedback. *arXiv preprint arXiv:2212.08073*. <https://arxiv.org/abs/2212.08073>
9. Saha, S., et al. (2025). Learning to plan & reason for evaluation with Thinking-LLM-as-a-Judge. *arXiv:2501.18099v1*.
10. Buterin, V. (2022). How do trusted setups work? *Vitalik Buterin's website*. <https://vitalik.eth.limo/general/2022/03/14/trustedsetup.html>
11. Ethereum Foundation. (2023). KZG Ceremony. <https://ceremony.ethereum.org/>
12. Bünz, B., Fisch, B., & Szepieniec, A. (2022). Powers-of-Tau to the People: Decentralizing Setup Ceremonies. *Cryptology ePrint Archive*, Paper 2022/1592. <https://eprint.iacr.org/2022/1592>
13. 杉谷和哉 (2019).『政策にエビデンスは必要なのか：EBPM と政治のあいだ』ミネルヴァ書房.
14. 畠田好男・山谷清志 編 (2020).『政策評価の実践とその課題：アカウンタビリティのジレンマ』晃洋書房.
15. Argyrous, G. (2012). Evidence Based Policy: Principles of Transparency and Accountability. *Australian Journal of Public Administration*, 71(4), 457–468. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8500.2012.00786.x>

付録：数式表記の補足説明

A.1 ZK-SNARKs における楕円曲線ペアリング

楕円曲線 E 上の 2 つの群 $\mathbb{G}_1, \mathbb{G}_2$ と、ペアリング関数 $e : \mathbb{G}_1 \times \mathbb{G}_2 \rightarrow \mathbb{G}_T$ により、効率的な証明生成と検証が実現される。証明 π の検証は、 $e(A, B) = e(C, D)$ の形式の等式検証に帰着される。

Chapter 6

制度設計への示唆

6.1 理論的含意

6.1.1 第4章のシミュレーション結果からの設計原則

第4章の計算論的分析から、以下の設計原則が導かれる。現状維持バイアスへの対処としては、臨界点 ($b_{sq} \approx 0.25$) を超えないよう、段階的な変化導入を設計することが重要である。確証バイアスの活用としては、適度な自信は協調を促進するため、完全な中立性よりも構造的な多様性を確保することが有効である。狭い視野への対処としては、全体目標の可視化と横断的指標の導入を必須とすることが求められる。

6.1.2 第5章のZK-SNARKsシステムからの制度的含意

ZK-SNARKs型政策評価システムは、以下の制度的含意を持つ。第一に、秘匿性の制度化である。企業秘密や個人情報を保護しながら政策参加を可能にする制度が必要である。第二に、自動評価の境界である。AIによる評価と人間による判断の境界を明確化する必要がある。第三に、市民参加の質的向上である。市民討議を通じた評価基準の共同設計が求められる。

6.2 各バイアスへの対処戦略

6.2.1 現状維持バイアス：小さな変化の積み重ね

現状維持バイアスへの対処として、小さな変化の積み重ねという戦略を提案する。具体的には、パイロット導入として小規模な実験から開始し、成功事例を蓄積することが有効である。また、段階的拡大として、臨界点を超えないよう、徐々に適用範囲を拡大することが求められる。さらに、デフォルト設定の変更として、現状維持の方向に働く制度上のデフォルトを見直すことも重要である。

6.2.2 確証バイアス：多様な視点の構造的導入

確証バイアスへの対処として、多様な視点の構造的導入という戦略を提案する。「悪魔の代理人」の制度化として、AIまたは人間による批判的視点の提示を必須化することが有効である。また、多様なステークホルダーの参画として、異なる立場・利害を持つ主体の関与を確保することが求められる。さらに、反証可能性の確保として、仮説を反証する証拠を積極的に探索するプロセスを組み込むことも重要である。

6.2.3 狹い視野：全体目標の可視化

狭い視野への対処として、全体目標の可視化という戦略を提案する。横断的評価指標として、単一の指標ではなく、複数の指標による評価を導入することが有効である。また、システムマップ

の作成として、政策の全体像を可視化した図の共有が求められる。さらに、長期的影響の分析として、短期的な成果だけでなく、長期的な影響も評価することが重要である。

6.3 生成 AI を組み込んだ制度設計

6.3.1 政治的-行政的インターフェース

政治レベルと行政レベルの間で、AIは以下のように位置づけられる。政治的判断については、人間（政治家・議会）が最終的に決定する。行政的分析については、AIが情報の整理・分析を支援する。民主的アカウンタビリティについては、人間が説明責任を負う。

6.3.2 行政的-事業的インターフェース

行政レベルと事業レベルの間で、AIは以下のように位置づけられる。政策の具体化については、AIが選択肢の生成を支援する。運用の効率化については、AIが日常的な判断を補助する。人間による監督については、重要な判断は人間が行う。

6.3.3 ZK-SNARKs 型システムの制度的位置づけ

ZK-SNARKs 型政策評価システムは、以下の制度的枠組みの中で運用される。第一に、評価基準の共同設計である。市民討議を通じた基準の策定が必要である。第二に、透明性の確保である。AIの評価プロセスと基準の公開が求められる。第三に、控訴の権利である。評価結果に対する異議申立ての機会を確保する必要がある。第四に、人間による最終判断である。AIの評価は参考情報として位置づけられる。

6.4 「連携・共創」の再設計

6.4.1 三層制度設計（S-T1-T2-O）の再考

STO フレームワークを踏まえ、認知バイアスと生成 AI を考慮した制度設計を提案する。

Table 6.1: 認知バイアスと生成 AI を考慮した三層制度設計

階層	主な課題	対処戦略
S	現状維持バイアスによる変化抵抗	長期ビジョンの共有、段階的目標設定
T1	狭い視野による部分最適化	横断的指標、全体目標の可視化
T2	確証バイアスによる視点の固定化	多様な視点の構造的導入
O	日常的な認知バイアス	AIによる対話的介入

S 層では現状維持バイアスによる変化抵抗が課題となるため、長期ビジョンの共有と段階的目標設定が有効である。T1 層では狭い視野による部分最適化が課題となるため、横断的指標と全体目標の可視化が求められる。T2 層では確証バイアスによる視点の固定化が課題となるため、多様な視点の構造的導入が必要である。O 層では日常的な認知バイアスが課題となるため、AIによる対話的介入が有効である。

6.4.2 生成 AI を「杖」として活用するガバナンス

生成 AI を活用するガバナンスのあり方として、以下の原則を提案する。第一に、補完性の原則である。AIは人間の能力を補完し、代替しない。第二に、透明性の原則である。AIの活用方法と限界を明示する。第三に、アカウンタビリティの原則である。最終的な判断と責任は人間が負う。第四に、継続的学习の原則である。AIと人間の協調プロセスを継続的に改善する。

6.5 小括

本章では、第4章の計算論的分析と第5章のZK-SNARKs型システム設計を踏まえ、制度設計への示唆を導出した。主な貢献として、認知バイアスへの具体的な対処戦略の提示、生成AIを組み込んだ制度設計の方向性の提示、「連携・共創」の再設計に向けた枠組みの提示が挙げられる。次章では、本研究の総括と、都市計画への展開について論じる。

Chapter 7

結論：都市計画への展開

7.1 研究の総括

7.1.1 研究目的の達成

本研究は、以下の3つの目的を掲げた。第一に、公共交通政策における実装ギャップの要因として、人間の認知バイアスの影響を計算論的に解明すること。第二に、生成AIと人間の協調的関係性を具体化するシステムとして、ZK-SNARKs型政策評価システムの可能性を探ること。第三に、認知バイアスと生成AIを考慮した制度設計への示唆を導出すること。

目的1について 第4章において、協調ロボット制御モデルを用いた計算論的分析により、三つの認知バイアスが政策協調に与える影響を定量的に解明した。特に、現状維持バイアスの閾値効果、確証バイアスの逆説的效果、狭い視野の一貫した負の影響を発見した。

目的2について 第5章において、ZK-SNARKsの概念を援用した政策評価システムを提案し、LLM as a Judge、Constitutional AI、市民討議を組み合わせたアーキテクチャを設計した。

目的3について 第6章において、認知バイアスへの対処戦略、生成AIを組み込んだ制度設計、「連携・共創」の再設計に向けた枠組みを提示した。

7.1.2 核となる主張

本研究の核となる主張は、以下の通りである。

生成AIは人間の「執政の創造性」を補完する「杖」として、認知バイアスへの対話的介入を通じて政策形成を支援できる。ZK-SNARKsの概念を援用することで、秘匿性と信頼性を両立した政策評価システムが可能になる。

7.2 理論的貢献

7.2.1 認知バイアスの計算論的分析手法の政策科学への導入

本研究は、協調ロボット制御理論を政策ネットワーク分析に応用し、認知バイアスの影響を計算論的に解明する手法を導入した。このアプローチは、政策科学における計算論的転回（computational turn）の一環として位置づけられる。

7.2.2 ZK-SNARKs概念の政策評価への応用

本研究は、暗号技術の概念であるZK-SNARKsを政策評価に応用する試みとして先駆的である。この概念転用は、「秘密を守りながら専門性を証明する」という新たな政策参加のあり方を示唆している。

7.2.3 生成 AI の「杖」としての理論的位置づけ

本研究は、生成 AI と人間の関係性を「杖」として補完的に位置づける理論的枠組みを提示した。これは、AI による代替ではなく、AI と人間の協調を前提とする視点である。

7.3 実践的貢献

7.3.1 制度設計への提言

本研究は、認知バイアスと生成 AI を考慮した制度設計への具体的な提言を行った。現状維持バイアスへの対処として、段階的変化導入の設計を提案した。確証バイアスへの対処として、「悪魔の代理人」の制度化を提案した。狭い視野への対処として、横断的評価指標の導入を提案した。生成 AI の活用として、補完性、透明性、アカウンタビリティの原則を提示した。

7.3.2 ZK-SNARKs 型政策評価システムの設計指針

本研究は、ZK-SNARKs 型政策評価システムの具体的な設計指針を提示した。三層アーキテクチャの採用、Constitutional AI と市民討議による評価基準設計、控訴プロセスによる人間介入の確保がその主要な内容である。

7.4 今後の課題：都市計画を舞台にした実証

7.4.1 より複雑な政策領域への適用

公共交通政策は、本研究の「実験場」として適切であったが、より複雑な政策領域への適用が期待される。特に、都市計画は多様なステークホルダー（土地所有者、開発業者、住民、行政など）、多様な秘密情報（土地利用計画、開発権、資産価値など）、長期的影響（数十年単位での都市構造の変化）という点で興味深い研究対象となる。

7.4.2 ZK-SNARKs システムの社会実装

ZK-SNARKs 型政策評価システムの社会実装に向けては、いくつかの課題がある。技術的実装としては、TEE、LLM、Constitutional AI の統合が必要である。制度的設計としては、法的位置づけや運用ルールの策定が求められる。社会的受容としては、市民の理解と信頼の獲得が重要である。

7.4.3 生成 AI と人間の協調的関係性の継続的検証

生成 AI 技術は急速に進化しており、人間-AI 協調のあり方も変化し続ける。本研究の枠組みは、継続的な検証と改善を必要とする。

7.5 結び

本研究は、公共交通政策を舞台に、生成 AI と人間の協調的関係性を探求した。その過程で、認知バイアスによる協調失敗のメカニズムを計算論的に解明し、ZK-SNARKs 概念を援用した政策評価システムを提案し、制度設計への示唆を導出した。

公共交通政策は、本研究の「第一の舞台」であった。今後は、都市計画という「第二の舞台」での実証を通じて、生成 AI と人間のより良い協調のあり方を探求していきたい。

参考文献

- [1] Daniel Kahneman. *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux, 2011.
- [2] Georges Canguilhem. *Le normal et le pathologique*. 滝沢武久訳：正常と病理（叢書・ウニベルシタス, 225）、法政大学出版局、1987年. PUF, 1966.
- [3] Takashi Iba. “An Autopoietic Systems Theory for Creativity”. In: *The 1st Conference on Collaborative Innovation Networks (COINs)*. 2009.
- [4] John W. Kingdon. *Agendas, Alternatives, and Public Policies*. Little, Brown, 1984.
- [5] 草野厚. **政策過程分析入門**. 慶應義塾大学出版会, 1997.
- [6] Paul A. Sabatier. “An Advocacy Coalition Framework of Policy Change and the Role of Policy-Oriented Learning Therein”. In: *Policy Sciences* 21.2/3 (1988), pp. 129–168.
- [7] 村松岐夫. **戦後日本の官僚制**. 東洋経済新報社, 1981.
- [8] Horst W. J. Rittel and Melvin M. Webber. “Dilemmas in a General Theory of Planning”. In: *Policy Sciences* 4.2 (1973), pp. 155–169.
- [9] 杉谷和哉. “**ウィキッド・プロブレムとしての新型コロナ感染症 政治と専門性の関係を中心に**”. In: **医療福祉政策研究** 4.1 (2021), pp. 27–37.
- [10] Jürgen Habermas. *Theorie des kommunikativen Handelns*. 河上倫逸ほか訳：コミュニケーション的行為の理論、未来社、1985–1987年. Suhrkamp, 1981.
- [11] Niklas Luhmann. *Soziale Systeme*. 馬場靖雄訳：社会システム理論、勁草書房、2001–2020年. Suhrkamp, 1984.
- [12] Georg Kneer and Armin Nassehi. *Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme*. 館野受男訳：ルーマン社会システム理論——「知」の扉をひらく、新泉社、1995年. Fink, 1993.
- [13] Humberto R. Maturana and Francisco J. Varela. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. D. Reidel, 1980.
- [14] Ben Shneiderman. *Human-Centered AI*. Oxford University Press, 2022.
- [15] Hidehiko Yoshihara et al. “Cooperative Control of Multi-Joint Robot Arm”. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2009, pp. 1–6.
- [16] Chris Ansell and Alison Gash. “Collaborative Governance in Theory and Practice”. In: *Journal of Public Administration Research and Theory* 18.4 (2008), pp. 543–571.
- [17] Hirokazu Kato et al. “Community-Participatory Regional Public Transport”. In: *Transport Policy Studies* 12.2 (2009), pp. 2–9.
- [18] Kirk Emerson, Tina Nabatchi, and Stephen Balogh. “An Integrative Framework for Collaborative Governance”. In: *Journal of Public Administration Research and Theory* 22.1 (2012), pp. 1–29.
- [19] William Samuelson and Richard Zeckhauser. *Status Quo Bias in Decision Making*. Vol. 1. 1. 1988, pp. 7–59.
- [20] Federica Russio et al. “Confirmation Bias in Policy Decision Making”. In: *Policy Sciences* 48.3 (2015), pp. 289–313.

- [21] Eli Ben-Sasson et al. “Succinct Non-Interactive Zero Knowledge for a von Neumann Architecture”. In: *Proceedings of USENIX Security Symposium*. 2014, pp. 781–796.

Appendix A

付録

A.1 協調ロボット制御モデルの数式展開

A.1.1 運動学モデル

N関節ロボットアームにおいて、各関節の位置は以下の式で与えられる：

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_{i-1} + a_i \begin{bmatrix} \cos(\sum_{j=0}^{i-1} \theta_j) \\ \sin(\sum_{j=0}^{i-1} \theta_j) \end{bmatrix} \quad (\text{A.1})$$

ここで、 $\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$ である。

A.1.2 協調係数の計算

各関節の協調係数 k_i は、以下の式で計算される：

$$k_i = \exp \left(-4 \ln(2) \frac{\|\mathbf{v}_{l,i} - \mathbf{v}_{i+1}\|^2 + \epsilon_1}{\|\mathbf{v}_{l,i}\|^2 + \epsilon_2} \right) \quad (\text{A.2})$$

ここで、 ϵ_1, ϵ_2 は数値安定性のための小さな正の定数である。

A.2 Japan MaaS プロジェクト分析の詳細

A.2.1 分析対象プロジェクト一覧

2020 年度に認定された 38 の Japan MaaS プロジェクトを分析対象とした。プロジェクトは以下のカテゴリに分類される：

- 観光型 MaaS : XX 件
- 地域課題解決型 MaaS : XX 件
- 企業主導型 MaaS : XX 件

A.2.2 評価指標のコーディング基準

評価指標は以下の基準でコーディングした：

Table A.1: 評価指標のコーディング基準

カテゴリ	コーディング基準
事業指標	利用者数、収益、運行効率など
非事業指標	社会影響、環境効果、アクセシビリティ改善など
市民参加	ワークショップ、アンケート、協議会など

A.3 ZK-SNARKs型政策評価システムの実装詳細

A.3.1 システム構成

ZK-SNARKs型政策評価システムは、以下のコンポーネントから構成される：

- 秘匿化処理モジュール
- LLM 評価エンジン
- Constitutional AI 基準ライブラリ
- 控訴処理インターフェース

A.3.2 技術的仕様

Table A.2: 技術的仕様

項目	仕様
LLM	GPT-4 / Claude
Temperature	0
Self-Consistency	5 回
TEE	AWS Nitro Enclaves