

博士論文

Dissertation of Engineering

公共交通が生成する地域住民の接触機会の
定量化手法の開発

*Development of quantification method of contact opportunities
among local residents generated by public transportation*

横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻

22WA003 江端 智一

Tomoichi EBATA

Graduate School of Urban Innovation, Yokohama National University

指導教員

Academic Supervisor

横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院

教授 田中 伸治

2025 年 9 月

September 2025

要旨

本研究は、地域社会における公共交通の社会的機能の一つである「住民同士の接触機会」に注目し、その構造的・定量的把握に向けた手法の開発を試みたものである。近年、人口減少や高齢化の進行に伴い、公共交通の縮小が住民の出会いや交流の機会を減少させ、孤立や分断の進行が危惧されている。とくに、従来のパーソントリップ (PT) 調査では出発地と到着地のみが記録されており、移動中に生じる偶発的な接触や空間的な重なり (共滞在: Co-Stay, および共移動: Co-Move) を捉えるには限界があった。

本研究では、「接触機会」を単なる個人の経験や断片的な事象ではなく、「共時空間 (Co-Exist)」と「RCM (Repeated Chance Meetings)」という 2 軸で定義し、それぞれ「不特定多数との同時滞在機会 (公の接触)」と「特定ペアの反復的接触機会 (私的接触)」として定量化・可視化した。これにより、公共交通が生み出す地域住民の接触機会を「公」と「私」双方の視点からとらえ直し、都市・地域における空間共有機能を社会的インフラとして再評価する枠組みを提示する。

本研究では、PT 調査票をもとに実在住民と同数のエージェントを生成し、その行動を再現するマルチエージェントシミュレーション (MAS) を構築した上で、交通施策や人口構成の変化が住民間の接触構造に及ぼす影響を分析可能な「住民接触機会解析システム」を設計した。

「住民同士の接触機会」についての既往研究としては、心理学および社会心理学の観点から、Zajonc は単純接触効果 (mere exposure effect) により、頻繁な顔合わせが好意の形成や安心感の醸成に寄与すると述べ、対面回数が関係性の質に影響を与えることを示した。さらに、Edward T. Hall のパーソナルスペース理論や Goffman の相互行為論では、接触の距離、頻度、非言語的反応といった質的側面が、関係形成に与える影響が指摘されている。

また、Putnam による社会関係資本 (Social Capital) の理論においても、地域内における偶発的な出会いが信頼・協力・帰属意識の基盤となるとされ、接触機会の喪失が社会的孤立や分断を招く危険性が示されている。これらの知見は、接触の繰り返し性や空間的偶然性がもたらす心理的影響を評価する重要性を示しており、本研究において定義した「共時空間」や「RCM (Repeated Chance Meetings)」の理論的根拠となっている。

また、「接触機会」の定量化・可視化手段に関する観点から、マルチエージェントシミュレーション (MAS) の過去 30 年間の研究を整理した。MAS はこれまで、交通流、災害避難、商業行動などを対象に活用されてきたが、近年では人間関係や社会構造の再現への応用が進展している。特に、エージェント間の接触頻度や空間的近接性を解析し、社会的ネットワークの生成過程をモデル化する研究が国内外で展開されている。

しかし、これらの既往研究からも、「住民接触」の定義は依然として曖昧であり、通過や滞在を含む空間的共在をどのように捉えるかについて、体系的な手法は確立されていないことが分かった。

そこで本研究では、DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) というクラスタリング手法や時空間キューブといった新しい空間分析手段を提案し、MAS 上で「どこで・誰と・何度出会ったか」を再現可能な「住民接触機会解析システム」を構築し、これまでの限界を克服する新たな枠組みの確立を目指した。

「住民接触機会解析システム」は、社会的接触構造を理論的に整理し、以下の4つのプログラムで構成される。

- ① エージェント生成では、2018年に京急富岡駅周辺地域を対象として実施されたパーソントリップ調査（有効票 2,093 件）に基づき、属性・居住地・目的地を抽出し、重複を考慮したユニークなエージェントを生成した。
- ② トリップデータ生成では、各エージェントの移動行動を 30 秒単位の時系列データに展開し、交通手段ごとの速度・経路補正を加えることで、現実的な移動を再現した。
- ③ 共時空間抽出では、全エージェントの位置情報に対して DBSCAN を適用し、空間密度と時間幅に基づく「滞在の重なり (Co-Exist)」を抽出した。
- ④ RCM 検出では、共時空間でのエージェントペアの出現履歴をもとに時空間キューブを適用し、繰り返し接触を特定し、年齢・性別・居住地といった属性情報を併置した。

本システムの構築にあたっては、横浜市京急富岡駅周辺地区を選定した。交通結節点としての機能性、公共交通の空白地帯、地理的高低差、ならびに乗合タクシー実証実験の実績を有していたためである。本システムの動作を検証した結果、全プログラムが設計通りに正常稼働し、各種接触構造の抽出精度も実用水準で達成されたことが確認された。

さらに、地図データを空間的に分割して処理対象を限定することで、エージェントの経路探索処理の実行時間を従来比 1/165 に短縮できることを確認した。また、各プログラムの出力結果を 3D 空間上で可視化し、共時空間および RCM の空間的分布を直感的に把握できることも確認した。

実装・稼働を確認した「住民接触機会解析システム」の妥当性を検証するため、現実的な人口構成および交通施策を反映した複数の社会シナリオを用いてシミュレーションを実施した。設定した 8 シナリオは、「人口スケーリング 2 種 (2018 年現況, 2045 年高齢化想定)」と、「交通施策 4 種 ((バス・乗合タクシー維持, 乗合タクシー廃止, バス 50% 減便, 両者廃止)」の組み合わせにより構成される。各シナリオに対して、(1) 利用者数分析, (2) 共時空間分析, (3) RCM 分析, (4) RCM 属性分析の 4 つの視点から定量的比較を行い、以下の知見を得た。

(1) 利用者数分析：交通手段の縮小により、移動不能となるエージェントが増加した。特に「2045 年 × バス・乗合タクシー廃止」シナリオにおいては、歩行圏外の目的地を持つ高齢者の移動率が著しく低下した。

(2) 共時空間分析：2018 年のシナリオでは、駅前や商業施設周辺に共時空間クラスターが集中していたが、2045 年の高齢化・人口減少シナリオではクラスター数が大きく減少し、分布も局在的となった。

(3) RCM 分析：交通施策が維持されている場合には RCM 件数が多く、両施策廃止のシナリオでは顕著に低下した。特に高齢化と交通施策縮小が重なるケースでは、RCM 総件数が大幅に減少し、空間的にも特定の地点に偏在する傾向がみられた。

(4) RCM 属性分析：交通施策の縮小により、高齢者の歩行圏行動が支配的になると、同世代・同地域ペアの接触率が上昇し、RCM の構造は同質化・閉鎖化する傾向を示した。

とりわけ、高齢化・人口減少と交通サービスの縮小が重なる状況においては、共時空間や RCM の『質』が劣化する傾向が顕著となり、これが地域住民の孤立化や情報格差の拡大につながる構造的要因となることが示された。

本研究により、従来の交通調査では把握が困難であった「共滞在 (Co-Stay)」「共移動 (Co-Move)」といった偶発的・反復的な接触の構造を、「共時空間 (Co-Exist)」および「RCM (Repeated Chance Meetings)」という 2 つの観点から定量的に記録・分析する新たな解析基盤が確立された。とりわけ、前者は「公 (地域)」の視点からの空間共有、後者は「私 (個人)」の視点からの関係深化をそれぞれ可視化するものであり、人流の重なりを超えた社会的接触構造の把握を可能とした。

また、本研究で開発した「住民接触機会解析システム」は、人口減少や高齢化、交通サービスの縮退といった地域課題に直面する現代社会において、公共交通が果たす『人と人とのつながり』の媒介機能を構造的に捉える実践的なツールとなっている。特に、交通施策の評価を単なる利便性や利用者数にとどめず、『交流機会の創出』という社会的価値の観点から捉え直す枠組みを提示した点に、本研究の独自性と社会的意義がある。

今後の展望としては、共時空間および RCM と社会的成果（孤立リスクや社会関係資本の形成）との関係性の検証、既存の交通シミュレーションとの連携による広域的分析への展開、地域特性に応じた「出会いの場」の設計指針の策定、公共性や包摂性を評価に組み込む新たな指標の導入、さらに行動ログや実データとの統合による再現性の精緻化など、多方面への発展が期待される。

目次

1. 序論	1
1.1. 背景	1
1.2. 現状における課題	2
1.3. 本研究の目的	5
1.4. 用語の定義	6
1.5. 本研究の構成	13
1.6. 略語一覧 (Abbreviations)	16
2. 住民接触機会の定量化に関する研究動向と課題	17
2.1. 本研究において着目する視点	17
2.1.1. 住民接触機会に関する現行施策の位置づけ	17
2.1.2. 住民接触機会による意義	17
2.1.3. 住民接触機会による心理的・社会的効果	17
2.1.4. 住民接触機会の定量的計測手法	18
2.1.5. 社会的構造変化を踏まえた接触機会の将来的展望	18
2.2. 本研究において着目する研究	18
2.2.1. 地域社会における接触機会の役割に関する研究	18
2.2.2. 住民接触がもたらす心理的・健康的効果の研究	19
2.2.3. 住民接触機会の社会的価値を定量化する研究	22
2.2.4. 住民接触機会に関する将来課題と対応策の研究	23
2.2.5. 人の動きに着目した先行研究	24
2.2.6. MAS の技術的發展と都市・交通分野への適用拡大	25
2.2.6.1. MAS の目的	26
2.2.6.2. MAS の構成	26
2.2.6.3. MAS のエージェントの構成と問題点	27
2.2.6.4. MAS の適用分野と傾向	28
2.2.6.5. MAS におけるヒューマンエージェントに関する考察	30
2.2.6.6. 都市・交通分野における MAS の特徴	31
2.2.6.7. 都市・交通分野における MAS と GIS の関係	32
2.2.6.8. 都市・交通分野で使用されている MAS シミュレータ	32
2.2.6.9. 都市・交通分野における MAS で使用される移動エージェントに関する考察	33
2.2.6.10. まとめ：MAS の発展と住民接触機会の定量化手法としての可能性	33
2.3. 本研究の意義	34

2.4. 本研究の独自性	35
2.4.1. 学術的貢献	35
2.4.2. 実務的応用可能性.....	35
3. 住民接触機会解析システムの構築と解析手法の検討	37
3.1. 本システムの背景と設計方針	37
3.2. PT 調査と MAS の限界と課題	37
3.3. モバイルデータの限界と課題	38
3.4. 住民接触機会解析システムの構成と設計思想.....	39
3.4.1. システム構成の概要.....	39
3.4.2. 設計思想と構築方針.....	40
3.5. 各プログラムの設計と処理構成	41
3.5.1. エージェント生成プログラムの構成と処理.....	41
3.5.1.1. 入力データ, 出力データと事前準備.....	42
3.5.1.2. 主な処理構成.....	42
3.5.2. エージェントトリップデータ生成プログラムの構成と処理.....	43
3.5.2.1. 入力データ, 出力データと事前準備.....	43
3.5.2.2. 主な処理構成.....	44
3.5.3. 共時空間抽出プログラムの構成と処理.....	54
3.5.3.1. DBSCAN の概要	54
3.5.3.2. DBSCAN で用いる入力データと出力データ	56
3.5.3.3. 主な処理構成.....	56
3.5.4. RCM 計算プログラムの構成と処理.....	57
3.5.4.1. RCM の概要.....	57
3.5.4.2. RCM で用いる入力データと出力データ	57
3.5.4.3. 主な処理構成.....	58
4. 住民接触機会解析システムの開発と動作検証	61
4.1. 実行条件と使用データ	61
4.1.1. 対象エリア	61
4.1.2. PT 調査の概要.....	63
4.1.3. 使用データの構成と項目定義.....	64
4.1.3.1. エージェント生成プログラムで生成されるデータ	64
4.1.3.2. エージェントトリップデータ生成プログラムで生成されるデータ	65
4.1.3.3. 共時空間抽出プログラムで生成されるデータ	65
4.1.3.4. RCM 計算プログラムで生成されるデータ	66

4.1.4.	システム実行環境と処理時間の最適化.....	66
4.1.4.1.	ソフトウェア最適化による処理時間短縮.....	67
4.1.4.2.	ハードウェア構成と実行環境.....	69
4.2.	住民接触機会解析システムの実行結果と各処理の検証.....	70
4.2.1.	エージェント生成プログラムの構成と稼働確認.....	70
4.2.2.	エージェントトリップデータ生成プログラムの構成と稼働確認.....	73
4.2.3.	共時空間抽出プログラムの構成と稼働確認.....	76
4.3.	携帯電話位置情報データとの比較による本システムの妥当性の検討.....	81
4.3.1.	本研究で用いたモバイルデータの概要と特性.....	81
4.3.2.	共時空間クラスタの比較と一致傾向.....	81
4.3.3.	本システムの妥当性に関する考察.....	82
4.4.	本章のまとめと次章への展開	83
5.	提案手法を用いた住民接触機会のユースケース分析	84
5.1.	分析対象とする 8 の社会シナリオ	84
5.1.1.	2 パターンの人口スケーリングの概要.....	84
5.1.2.	交通施策 4 パターンの構成.....	86
5.1.3.	分析対象の全体構成 (2 パターン×4 パターン=8 シナリオ)	87
5.2.	住民接触機会のユースケース分析の妥当性の検証.....	89
5.3.	利用者数分析	90
5.3.1.	利用者数分析における比較シナリオの構成と対応関係.....	91
5.3.2.	現状シナリオにおける移動手段構成 (2018-B:100/T:100)	91
5.3.3.	乗合タクシー廃止による利用構造の変化 (2018-B:100/T:100 vs B:100/T:0)	92
5.3.4.	バスの縮小による影響 (2018-B:100/T:100 vs B:50/T:100)	92
5.3.5.	将来の高齢化社会における利用傾向 (2018 vs 2045 (B:100/T:100))	93
5.3.6.	将来の縮小社会の下限シナリオ (2018-B:100/T:100 vs 2045-B:50/T:0)	94
5.3.7.	利用者数分析の総括.....	94
5.3.7.1.	想定された傾向の確認.....	94
5.3.7.2.	想定を下回った変化の整理.....	95
5.3.7.3.	考察.....	95
5.4.	共時空間分析	95
5.4.1.	共時空間分析における比較シナリオの構成と対応関係.....	96
5.4.2.	現状シナリオにおける共時空間の構成 (2018-B:100/T:100)	96
5.4.3.	乗合タクシー廃止による共時空間の変化 (2018-B:100/T:0)	98
5.4.4.	バスの縮小による共時空間の変化 (2018-B:50/T:100)	99

5.4.5. 将来の高齢化社会における共時空間の変化（2045-B:100/T:100）	101
5.4.6. 将来の下限シナリオにおける共時空間の変化（2045-B:50/T:0）	102
5.4.7. 共時空間分析の総括.....	103
5.5. RCM 分析	104
5.5.1. 指標の定義と意義.....	104
5.5.2. 各シナリオにおける RCM カウントの比較.....	105
5.5.3. 共時空間分析における比較シナリオの構成と対応関係.....	107
5.5.4. 2018/2045 年における現状シナリオの RCM 構造（B:100/T:100）	107
5.5.5. 2018/2045 年における下限シナリオの RCM 構造（B:50/T:0）	110
5.5.6. バスと乗合タクシーの RCM カウント発生と比較.....	112
5.5.7. RCM 分析の総括.....	112
5.6. RCM 属性分析	113
5.6.1. RCM 属性における比較シナリオの構成.....	113
5.6.2. 同属性率の構造的変化とシナリオ間比較.....	114
5.6.2.1. 全体傾向の把握.....	114
5.6.2.2. 差分要因の分析.....	115
5.6.3. RCM 属性分析の総括.....	116
6. 結論	117
6.1. 本研究の総括	117
6.2. 今後の展望	120

図表目次

図 1-1	共時空間の概念図と定義	9
図 1-2	RCM の概念図と定義	10
図 1-3	本研究の構成	15
図 2-1	モビリティが個人に与えるポジティブな価値に関する既往研究.....	21
図 2-2	既往研究におけるモビリティと SC/SWB の関係と定量化の試み.....	22
図 2-3	接触機会・出会い・SC/SWB の用語定義と関係図.....	23
図 2-4	MAS の構造のイメージ.....	27
図 2-5	エージェントの設計と実体と相関関係	27
図 2-6	論文数の変化	29
図 2-7	32bitOS から 64bitOS への推移状況（推定）	30
図 2-8	ノート PC に搭載されたメモリ容量の変化.....	30
図 2-9	都市・交通分野における論文数	31
図 2-10	都市・交通研究論文におけるシミュレータの比較.....	32
図 3-1	住民接触機会解析システムの構成図	40
図 3-2	エージェント生成プログラムの構成と処理	43
図 3-3	確率処理に基づくエージェントの行動決定の概要図.....	44
図 3-4	エージェントの当日の移動手段の決定方法のフロー図.....	45
図 3-5	出発時間の調査結果（1）	47
図 3-6	出発時刻の調査結果（2）	47
図 3-7	世代別の出発時刻の確率密度関数	48
図 3-8	JOSM での作業の様子.....	49
図 3-9	JOSM でのノードとウェイの追加	49
図 3-10	交通レイヤーの構成と統合	50
図 3-11	空間分割の概念図	51
図 3-12	対象エリアにおける移動パターン分類と経路計算分離の概念図.....	52
図 3-13	対象エリア外移動時間の空間的分布とバイリニア補間による時間推定手法.....	53
図 3-14	エージェントのトリップ情報に基づく共時空間の抽出フロー.....	54
図 3-15	クラスタリング手法による 2 次元分布の比較（k-means, KDE, DBSCAN）	55
図 3-16	DBSCAN 法におけるクラスタ形成の原理（ ϵ -近傍と minPts の概念）	55
図 3-17	DBSCAN パラメータ設定ごとの共時空間構造の比較	57
図 3-18	時空間キューブによる移動軌跡と接触履歴の記録構造.....	58
図 3-19	エージェントのトリップ情報に基づく RCM の抽出フロー.....	60
図 4-1	対象エリアの地図と公共交通網	62
図 4-2	エージェントの活動範囲	63
図 4-3	本研究で使用了 PT 調査表（集計用コメント付き）	64

図 4-4	本モデルによる経路計算時間削減の効果	69
図 4-5	エージェントの基本データのイメージ	72
図 4-6	エージェントトリップデータ（一人分）のイメージ図.....	75
図 4-7	エージェントトリップデータ（一日/全員分）のイメージ図.....	75
図 4-8	共時空間の発生の検知（ $\epsilon=0.015$, $\text{minPts}=36$ ）の図	78
図 4-9	“共滞在”の傾向が強く出ている共時空間の図	78
図 4-10	“共移動”の傾向が強く出ている共時空間の図	79
図 4-11	連続 10 日間による RCM の結果.....	80
図 4-12	時空間クラスタの比較	82
図 5-1	世代別 PT 調査表数と世代別人口比率の乖離.....	84
図 5-2	対象エリアの 2018 年/2045 年の推定人口	85
図 5-3	8 の社会シナリオに対する 4 種類の分析の適用構成図.....	88
図 5-4	統計データから得られた対象エリアの年齢別の移動手段の比率.....	89
図 5-5	統計データと本システムから得られた移動手段の比率.....	90
図 5-6	利用者数分析における比較シナリオの構成と対応関係.....	91
図 5-7	基準となる「2018-B:100/T:100（現状シナリオ）」の利用者構成グラフ	92
図 5-8	乗合タクシー廃止による利用構造の変化（2018-B:100/T:100 vs B:100/T:0）	92
図 5-9	バスの縮小による影響（2018-B:100/T:100 vs 2018-B:50/T:100）	93
図 5-10	将来の高齢化社会における利用傾向（2018 vs 2045（B:100/T:100））	93
図 5-11	将来の縮小社会の下限シナリオ（2018-B:100/T:100 vs 2045-B:50/T:0）	94
図 5-12	共時空間分析における比較シナリオの構成と対応関係.....	96
図 5-13	現状シナリオにおける共時空間の構成（2018-B:100/T:100）	97
図 5-14	乗合タクシー廃止による共時空間の変化（2018-B:100/T:0）	98
図 5-15	バスの縮小による共時空間の変化（2018-B:50/T:100）	100
図 5-16	将来の高齢化社会における共時空間の変化（2045-B:100/T:100）	101
図 5-17	将来の下限シナリオにおける共時空間の変化（2045-B:50/T:0）	102
図 5-18	RCM 指標のイメージ図	105
図 5-19	各シナリオにおける RCM カウント比較グラフ	106
図 5-20	RCM 分析における比較シナリオの構成と対応関係.....	107
図 5-21	2018/2045 年の現状シナリオにおける各移動手段による RCM 日数（2018-B:100/T:100）	108
図 5-22	2018/2045 年現状シナリオにおける RCM 構造の詳細（2018-B:100/T:100）	109
図 5-23	2018/2045 年の下限シナリオ（2018-B:50/T:0）における RCM 構造の変化	110
図 5-24	RCM 属性分析に用いる 4 シナリオの構成.....	114
図 5-25	RCM 上位ペアにおける属性一致率のシナリオ別推移（同住所・同世代・同性）	115

表 1-1 エリアの定義	5
表 2-1 人の動きに着目したモビリティ分析に関する既往研究.....	25
表 2-2 1991 年からの MAS の適用分野の論文数.....	28
表 3-1 目的地別滞在カテゴリ別のパラメータ	46
表 4-1 output.csv の一部.....	65
表 4-2 agent_track_2018_13.csv の一部	65
表 4-3 cluster5.csv の一部	66
表 4-4 all_encounter_count_2018.csv の一部	66
表 4-5 データベースのパフォーマンス結果	67
表 4-6 他のデータベースのパフォーマンス結果	68
表 4-7 データベースのパフォーマンス結果と計算結果.....	68
表 4-8 各プログラムの実行時間（目安）	70
表 4-9 Destination_XY_v3.csv の内容.....	71
表 4-10 output.csv の内容.....	72
表 4-11 agent_track_2018_N.csv の内容.....	74
表 4-12 cluster1.csv, の項目	77
表 4-13 cluster1.csv, の内容.....	77
表 4-14 all_encounter_count_2018.csv, の内容.....	80
表 5-1 必要なエージェント数と世代単位の拡大係数	85
表 5-2 2045 年の計算に必要なエージェント数と世代単位の拡大係数.....	86
表 5-3 交通施策パターンの分類と設定理由（バス × 乗合タクシーの組み合わせ） .	87
表 5-4 分析対象となる 8 シナリオの構成（人口スケーリング × 交通施策）	88
表 5-5 RCM 指標の定義と意義	105
表 5-6 各シナリオにおける RCM カウントの比較表.....	106
表 5-7 バスと乗合タクシーの RCM カウント発生量の比較表.....	112

1. 序論

1.1. 背景

現在、日本の多くの行政区において、公共交通サービスの縮小や撤退が相次いでいる。人口減少と超高齢化に加え、平均寿命と健康寿命の乖離、過度な自動車依存社会、割高な都市管理コストといった複合的課題に対応する必要があるためである。しかしながら、このような公共交通サービスの後退は、地域住民の生活の質や地域経済に深刻な影響を及ぼすため、地域交通の価値と役割を改めて評価し直す必要性が高まっている。

こうした問題に対応するため、近年、国土交通省は「クロスセクタ方式」を活用した新たな地域交通モデルを提唱している¹⁾。これは、従来のように単一の部門や政策枠組みに依存せず、交通サービスを単なる「赤字要因」として処理するのではなく、包括的なまちづくりの一環として捉えるモデルである。たとえば、富山市では「お団子と串」という概念に基づき、地域生活拠点（お団子）とそれらを結ぶ交通インフラ（串）を連携させた都市設計を実施している²⁾。このモデルでは、交通サービスの維持が医療費削減や中心市街地の活性化といった効果をもたらし、公共交通の提供価値が運賃収入を上回ることを数値で示しており、モビリティの価値の可視化・数値化が政策正当性を高める手段として注目されている。

モビリティの基本的な価値は、利用者を効率的かつ安価に目的地へ移動させる点にあるが、それにとどまらない。住民が同じ目的地に向かって移動する過程において、自然な交流が生まれ、地域内の信頼関係や社会的つながりが醸成されるという側面がある。通勤電車やバスといった公共交通機関の利用は、共通の話題や親近感を生む契機となり、公園や広場などは偶発的な出合いを誘発する場として機能するという見解がある。Oldenburg（1999）はこうした場を「サードプレイス」と定義し、地域コミュニティの形成にとって重要な要素であると指摘している。また、Putnam（2000）は、住民による共移動が連帯感を強化し、社会関係資本（Social Capital：SC）や主観的幸福感（Subjective Well-being：SWB）に深く影響すると論じており、これは社会的孤立の防止や地域への帰属意識の向上にもつながるとされている³⁾。

さらに、公共交通の利用は自家用車使用の抑制により環境負荷の軽減に貢献し、地域の商業圏を活性化させる契機にもなりうるという意見がある。Gehl（1987）は、公共空間の設計が人々の行動や相互作用に影響を与え、持続可能な都市形成には、地域交流を促す空間的設計が不可欠であると述べている⁴⁾。

このように、地域交流という観点からモビリティの価値を捉え直すには、「移動」および「時間・空間の共有」といった行為の意味に着目する必要がある。特に、人口の少ない地域においては、日常の移動機会そのものが限られており、偶発的な接触や地域内のつながりを生み出す場も少なくなりがちである。そのため、モビリティが果たす社会的機能の重要性は、むしろ都市部以上に高いといえる。したがって、こうした地域におけるモビリティの社会的価値を適切に把握し、可視化する必要性は今後ますます高まると考えられる。

梶山・力石によると、「共移動」と「共滞在」は、社会ネットワークの形成とコミュニテ

ィの維持・強化に資する行動様式であるとされる⁵⁾。すなわち、共移動とは、同じ目的地に向かう住民が移動過程において生むつながりであり、通勤や通学といった日常的な移動が共通の話題や連帯感を育む基盤となる。一方、共滞在とは、同一の物理空間に同時に存在することを指し、公園や商業施設といった公共空間における偶発的な接触によって、地域内の一体感が育まれるものである。Axhausen (2005) は、このような頻繁な出会いである「Frequent Chance Meetings」が社会ネットワークの維持に不可欠であると指摘しており、特に高齢化が進行する地域においては、意図しない他者との接触機会が心理的な安定や幸福感に直結する可能性がある⁶⁾と述べている。

また、心理学の観点からは、Robert Zajonc が提唱した「単純接触効果 (mere exposure effect)⁷⁾」は、同じ他者や場面に繰り返し接触することで親近感や好意が高まると説明されており、これは公共交通利用による日常的な接触とも合致する⁸⁾。Edward T. Hall による「空間心理効果⁹⁾」も、人と人との物理的距離が心理的關係や文化的背景に影響を及ぼすことを示しており、共移動・共滞在の意義を裏付ける知見といえる。

こうしたモビリティの価値を実証的に評価するためには、SC や SWB のような指標の定量化が求められるが、現時点において標準化された手法は確立されていない。また、従来のパーソントリップ調査の枠組みでは、人口の少ない地域におけるモビリティの社会的価値を把握するには限界があり、統計的有意性を確保することが困難である。さらに、交通施策の効果を明らかにするためには、長期的な観測や継続的な投資が不可欠であり、短期間での定量的把握には限界がある。

このような背景のもと、本研究は、モビリティの価値を単なる輸送機能にとどまらず、社会的・心理的・経済的観点の指標となりえる、共移動・共滞在を基軸とした地域交通の評価手法を模索することを目的とする。

特に人口密度が低く、公共交通が縮小・撤退しているような小規模エリアにおいては、住民の移動行動や交通環境の実態を把握すること自体が難しい。従来の統計調査では、対象地域のサンプル数が極めて少なくなり、調査結果の精度や代表性に限界が生じやすいからである。さらに、地域特有の交通手段（歩行や自転車、オンデマンド型移動など）が標準的な調査設計に組み込まれていない場合、実際の行動を十分に反映できない。したがって、小規模エリアにおけるモビリティの価値を正確に把握するためには、地域の空間構造や住民の多様な行動特性に即した新たなアプローチが求められている。

1.2. 現状における課題

前節で述べたように、公共交通の価値は単なる移動手段としての機能にとどまらず、地域コミュニティの維持や社会的つながりの形成、さらには住民の主観的幸福感 (SWB) や社会関係資本 (SC) にも深く関わる多面的な性質を有している。特に人口が少なく高齢化が進む地域においては、日常的な移動が希少化する一方で、偶発的な接触機会の確保や地域内での関係性の維持がきわめて重要な意味を持つ。したがって、地域交通の施策を立案・評価す

るにあたっては、このようなモビリティの社会的価値を的確に把握する手法が求められる。

この点において、現在用いられている主要な調査手法であるパーソントリップ (PT) 調査¹⁰⁾には、いくつかの構造的課題が存在する。PT 調査は、住民の移動実態を把握することを目的とし、国土交通省主導の「全国都市交通特性調査」や、自治体独自の調査が全国の都市圏を対象におおむね 5 年または 10 年周期で実施されている。その意義としては、都市交通需要の把握、都市構造の計画、交通ネットワークの整備等に資する点が挙げられる。

しかしながら、この調査には多くの制約が存在する。第 1 に、PT 調査は任意の回答者に依存したサンプル調査であり、実人口に対する回答数は非常に限られている。そのため、人口が少ない地域においては統計的な代表性や精度の確保が困難であり、調査粒度も粗くなりがちである。第 2 に、調査の対象期間が 1 日から数日間に限られ、しかも被験者の記憶に基づいた自己申告形式であるため、経路や目的、時間帯などの情報に誤差やバイアスが生じやすい。特に、地域内の共移動や共滞在を把握するには、住民の接触機会を時系列的・空間的に精緻に捉える必要があるが、現行の調査では時間のあいまいさや行動の再現性の低さが大きな障害となる。第 3 に、従来の PT 調査では、出発地と到着地の把握にとどまり、移動中の住民どうしの接触の状態を捉えることができない。このため、移動経路上での偶発的な接近や共同行動といった、重要な社会的接触の機会が見落とされる可能性がある。

また、PT 調査は一日の断面を切り取る形で行われることが多く、週末の行動や季節変動、さらにはリモートワークや高齢者の買い物行動といった近年のライフスタイルの多様化を捉えるには不十分である。これにより、モビリティが持つ「移動以上の価値」、すなわち人と人の接触や心理的充足といった側面は、調査結果に反映されにくい。

加えて、仮に新たな交通施策を導入したとしても、その効果を検証するには長期間にわたる観測と継続的なデータ収集が必要となる。特に、社会的なつながりや地域コミュニティの形成といった成果は短期間では可視化されにくく、既存の PT 調査のサイクルや設計では、施策の即時的・定量的な評価には適さない。

このように、従来の PT 調査は、モビリティの数量的な需要把握には有効である一方で、地域内の共移動や共滞在といった「モビリティの社会的価値」を測定するには不十分である。特に小規模自治体における施策立案においては、現行手法の限界を踏まえた上で、より高頻度かつ高解像度で住民の移動と接触の実態を捉える新たな評価手法の構築が求められている。

小規模エリアでは、エージェントベースのシミュレーションを用いたとしても、従来のモデル構成では次のような課題が残る。第 1 に、地域に特有の移動手段や交通履歴、交通コストといった「環境要素」の精密な再現が困難である。たとえば、歩行や自転車の利用頻度、道路や歩道の空間的構造といった情報は、全国スケールのモデルではしばしば省略されてしまう。第 2 に、住民の行動特性や属性情報が大規模統計に基づく平均化処理により抽象化され、地域固有の個別性が再現されにくい。これにより、住民同士の関係性や交流機会の分析が困難になるという限界がある。さらに、小規模エリアでも解析対象の時空間範囲が広が

ることによって計算負荷が高まり、効率的なシミュレーション設計の障壁となることがある。これらの課題は、PT 調査だけでなく、MAS を含めた既存のアプローチに共通する構造的な制約である。

加えて、PT 調査の結果には、個人単位の外出頻度、利用交通手段の頻度、目的地の種類や訪問頻度などが記載されている場合があるが、これらのデータはそれぞれ個別の統計値として扱われるに留まり、被調査者の複合的な行動特性や日常の行動パターンを再現・分析する目的では活用されていない。そのため、個々の行動データを統合的に解釈することで見えてくるはずのモビリティの多様性や主観的意図が、現行の分析枠組みでは捉えきれていないという問題がある。さらに、大規模な PT 調査において特定地域のデータが含まれていたとしても、その地域に居住する被験者の数が母集団全体に対して少数であることが多く、その場合、その地域特有の住民行動や移動傾向は統計的に埋没してしまい、分析上、他地域との違いや特性として顕在化しにくいという問題がある。これにより、地域固有の社会的・文化的背景を踏まえた施策の立案が困難となる。

また、PT 調査の結果には、調査対象地域において実際に提供されている公共交通の運行状況やダイヤ情報が反映されておらず、被調査者がどの交通機関を選択し、乗換にどの程度の時間を要したのかといった詳細な移動プロセスは把握されない。さらに、公共交通を利用せずに歩行や自家用車、自転車、バイクなどを用いた場合の移動時間や移動条件についても十分に記録されないため、移動手段の選択背景や地域交通資源の有無といった文脈情報を読み取ることが困難である。

総じて、現行のパーソントリップ調査は、都市計画や交通需要の推計といった従来の目的においては一定の有効性を持つ一方で、モビリティが有する社会的・心理的価値を定量的に捉えるには構造的な限界を抱えている。調査粒度の粗さ、回答の記憶依存性、時間情報の曖昧さ、公共交通の運行実態との非連動性、さらには地域特性の希薄化や個人行動の再現性の欠如など、多くの点で現代の多様な移動実態と接触構造を把握するには不十分である。とりわけ、人口の少ない地域において、共移動や共滞在といった住民間の偶発的接触が持つ社会的意義を把握・活用していくには、PT 調査に代わる、もしくはそれを補完する新たなモビリティデータの取得・分析手法の導入が急務である。

このような状況に対応するためには、地域のスケールに応じた柔軟な評価手法が必要である。特に本研究が対象とするのは、広域都市ではなく、日常的な生活圏や歩行圏を含むような「小規模地域」である。以下に、本研究において想定する地域スケールの区分を整理する（表 1-1）。

表 1-1 エリアの定義

スケール	対象範囲の例	およその規模
大規模	都市全体，広域	数百平方キロメートルから数十万平方キロメートル
中規模	都市内の特定エリア，主要地域	数十平方キロメートル
小規模	駅周辺，市街区	数百平方メートルから数平方キロメートル

1.3. 本研究の目的

前節で述べたように，地域モビリティが有する社会的価値を実証的に評価するためには，住民同士が空間的・時間的に交差する現象を，明確な定義と計測指標によって把握する枠組みが必要である．特に，人口密度が低く公共交通の維持が困難な小規模地域においては，既存の PT 調査やアンケートによる統計的手法では，住民の個別行動や接触機会を十分に再現・分析することは難しく，より構造的かつ高解像度なアプローチが求められる．

本研究では，地域住民の移動過程において自然に発生する「共移動（Co-Move）」および「共滞在（Co-Stay）」という行動パターンに着目する．前者は，通勤電車やバスなどの利用により生じる時系列の連続性を伴う接触であり，後者は，公園や店舗などにおけるスポット的な滞留による接触を指す．これらは単なる移動量や目的地に関する情報では捉えきれない，住民同士の接触機会の質的な側面を含むものである．

本研究では，これらの行動パターンをマルチエージェントシミュレーション（Multi-Agent Simulation: MAS）上で再現し，2つの観点から定量化を行う．第1に，同一時間帯・同一空間に複数のエージェントが滞在する現象を「共時空間（Co-Exist）」として抽出し，地域空間における“公”的な交流機会を測定する．第2に，特定のエージェント同士が繰返し同一の空間で出会う現象を「RCM（Repeated Chance Meetings）」として抽出し，個人間の“私”的な関係性の蓄積構造として把握する．このように，“公”と“私”の両方の視点を交えた接触構造の分離・定量化を通じて，公共交通が生み出す社会的基盤としての機能を捉えることを目的とする．

以上を踏まえ，本研究の目的は以下の4点に集約される．

- 1) 地域住民の接触機会の定量化において計測すべき対象を明らかにする
- 2) 地域住民の接触機会の定量化において計測すべき手段を明らかにする
- 3) 地域住民の接触機会の定量化において計測すべき方法と基準を明らかにする
- 4) 現実の社会を使ったユースケースで，上記1)～3)を検証する

これらを通じて本研究は，公共交通を単なる「移動手段」としてだけではなく，「共有の時空間を生成する社会的インフラ」として再定義し，それを支える実証的・構造的指標体系

の確立を目指す。

1.4. 用語の定義

本研究では、「共移動」や「共滞在」といったモビリティに関わる日常的な共同行動現象を定量的に把握・分析することを目的としており、これらの用語を厳密かつ一貫した形で取り扱う必要がある。また、マルチエージェントシミュレーションを活用した分析を行うにあたり、エージェントの行動モデルや空間概念についても明確な定義が求められる。交通工学や都市計画の分野において、移動行動や空間利用に関わる用語には多義的な解釈が存在することから、本研究では以下の用語の定義と分析対象の範囲をあらかじめ設定する。

➤ モビリティ

「モビリティ (Mobility)」とは、単に人や物が物理的に移動することを指す語ではなく、近年ではより広い意味を含む概念として用いられている。国土交通省 (2023)「スマートモビリティチャレンジ推進調査」では、モビリティとは「多様な移動手段とサービスが ICT 等の技術によって連携し、移動の利便性や地域の暮らしの質の向上に貢献する仕組み」と位置づけられており¹¹⁾、鉄道や路線バス (以下、バスという) といった公共交通に限らず、自転車、シェアモビリティ、デマンド交通、MaaS (Mobility as a Service) などの新たな移動サービスを含むものとされている。

また、Vuchic, V. R. (2005) によれば、モビリティは「個人が望む時に、望む場所へ、効率的かつ快適に移動できる能力または可能性」とされており¹²⁾、単なる移動の手段だけでなく、それを支えるインフラ、制度、技術、そして社会的・空間的文脈までも包含する、総合的な移動環境に関わる概念である。

本論文においては、「モビリティ」を「個人または集団が社会生活を営む上で必要な移動を実現するための手段、サービス、制度およびそれを取り巻く空間的・社会的構造の総体」として定義する。これには、公共交通や歩行、自転車、自動車といった従来型の手段だけでなく、それらを統合・補完するデジタルサービスや地域交通施策も含まれるが、本研究においては「地域住民の日常の移動に影響を与えるモビリティ」に限定し、物流や観光などの非日常的移動は範囲外とする。

➤ 公共交通

国土交通省 (2007)「都市公共交通活性化・再生等に関する調査研究報告書」において、公共交通 (Public Transportation) とは、「不特定多数の人が利用することを目的として運行される、定時性・路線性・運賃制度などを有する交通手段の総称」であり、鉄道、バス、路面電車、地下鉄、モノレール、フェリーなどが該当するとされている。また、Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*. Wiley. においては、"Public transportation is a shared passenger transport service which is available for use by the general public, typically managed on a schedule, operated on established routes, and charging a posted fee." とされている。本研究に

においては、これらの定義を重要し「誰でも利用でき、一定のスケジュールと料金制度に基づいて運行される地域住民の交通手段」が公共交通の基本的な定義である。本研究では、鉄道、路線バス、定期運行される乗合タクシーを公共交通として取り扱うが、一定のスケジュールで運行されていないタクシー、また不特定多数の人が利用することを目的としない自家用車、自転車、バイクは、公共交通とは見なさない。

➤ マルチモーダル

本研究において「マルチモーダル (Multimodal)」とは、複数の異なる交通モードを組み合わせで行われる移動形態を指す。国土交通省 (2017)「都市交通におけるマルチモーダル施策に関する調査研究報告書」においては、マルチモーダルとは「一つの移動経路において、徒歩、自転車、公共交通、自動車など複数の交通モードを組み合わせることにより、移動効率の向上や利便性の改善を図る施策」と定義されている。また、Curtis, C., & Scheurer, J. (2010). *Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. Progress in Planning* においては、"Multimodal transport refers to the use of more than one mode of transport during a single journey, enabling seamless movement across different networks." とされている。本研究では、これらの定義にもとづき、「一つの移動行程において徒歩、自転車、バス、鉄道、オンデマンド交通など複数の異なる交通モードを連続して利用すること」をマルチモーダル移動の基本的な定義とする。なお、同一モード内での経路変更 (例：鉄道から鉄道への乗換) のみの場合はマルチモーダルとは見なさず、異なる種類のモードを跨ぐ場合をマルチモーダルということとする。

➤ 共移動 (Co-Move)

本研究における「共移動 (Co-Move)」とは、複数の主体が、互いに空間的に近接した状態を保ちながら、同じ方向に向かって移動を継続する行動様式を指す。たとえば、通勤電車やバスにおいて同じ車両に乗り合わせている状況、または、商業施設や通学路を集団で歩行するような状況が該当する。これらの移動は、同じ時間帯・空間領域に滞在するという意味で「共滞在」と共通する側面を持ちつつ、時系列的な連続性を伴っている点に特徴がある。

この概念は、梶山・力石 (2009) ⁵⁾ が提唱する「共移動」の枠組みに基づいており、彼らは一定距離内 (例：50m 以内) において連続的に他者と共に移動する現象を、社会的つながりの生成メカニズムの一部として位置づけた。彼らの実証研究では、共移動の頻度や移動距離の重なりが、強い社会的紐帯 (Tie1) の形成と統計的に相関していることが明らかにされている。

本研究において「共移動」は、後述する「共時空間 (Co-Exist)」の一構成要素であり、後者が示す「空間的近接×時間的同时性」という条件を満たす動的なプロセスとして位置づけられる。したがって、「共移動」は、空間的同在だけでなく、並行する移動行動の重なりを含むものとして定義される。

➤ 共滞在 (Co-Stay)

「共滞在 (Co-Stay)」とは、複数の主体が、ある限定された物理的空間において、同一時間帯に滞留している状態を指す。これは、公園、広場、カフェ、商業施設、交通施設等において、互いに意図せず近接した場所に居合わせることによって発生する接触機会である。共滞在は、移動中に一時的に移動を停止している状態にある点で、共移動とは異なる行動特性を持つ。

この概念もまた、梶山・力石 (2009)⁵⁾における定義に依拠しており、彼らは一定時間 (例：5分以上) かつ一定距離内での静的な共在を「共滞在」と分類し、これが中程度の社会的紐帯 (Tie2・Tie3) の形成に関与することを示している。

本研究において「共滞在」は、後述する「共時空間 (Co-Exist)」のもう一つの構成要素として、空間的重なりを伴う静的な接触の代表例として位置づけられる。共移動が時系列的な接触の連続性を示すのに対し、共滞在は単位時間内における同位置での存在の重なりに着目するものである。

➤ 共時空間 (Co-Exist)

本研究における「共時空間 (Co-Exist)」とは、「共滞在 (Co-Stay)」および「共移動 (Co-Move)」という空間的・時間的な重なりを持つ行動様式のうち、“地域空間 (公) における複数主体の同時共在”に着目し、集团的・構造的に抽出された状態を指す下位概念である。すなわち、「共時空間」は、接触の関係性 (誰と誰か) ではなく、どこで・いつ・どれだけの人数が空間的に重なっていたかという“場の状態”に着目した概念であり、都市空間や地域社会における公共的な社会接触の基盤を定量的に捉える指標として位置づけられる。

本研究では、住民の緯度・経度・滞在時間をもとに生成されたエージェントの行動軌跡に対して、DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) アルゴリズム¹³⁾を適用し、空間的・時間的に一定の密度で共在する主体群 (クラスタ) を抽出することで、「共時空間」を定義する。ここで抽出されるクラスタは、特定個人の接触関係ではなく、「ある場所においてどれだけの人数がどれだけ重なっていたか」という構造的特徴を持ち、その出現頻度、空間分布、時間帯別傾向などをもとに、地域の“公共的交流機会を可能性の場”として分析可能である。これらのクラスタにおいてただちに交流が発生するわけではないが、交流が生じる可能性が高い場として捉えることができる。

したがって、「共時空間」は「共滞在／共移動」のうち匿名的・集团的な“場の重なり”を抽出するための公的指標であり、交通・都市政策における「どこに接触の潜在的機会が形成されているか」を視覚化・定量化することを目的とする。

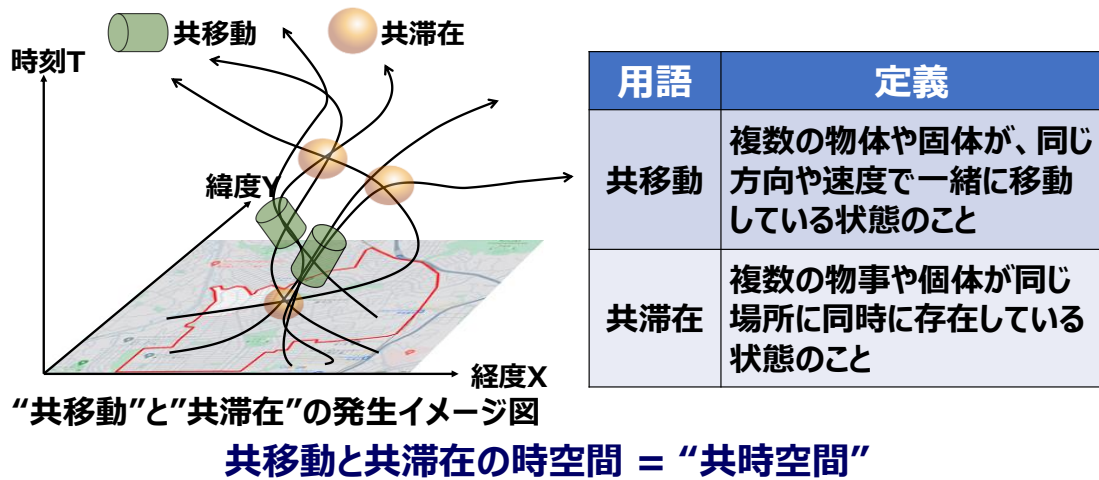


図 1-1 共時空間の概念図と定義

➤ RCM: Repeated Chance Meetings

RCM (Repeated Chance Meetings) とは、「共滞在 (Co-Stay)」および「共移動 (Co-Move)」といった空間的・時間的な重なりのうち、特定の個人同士 (ペア) に着目し、その“繰返し出会いの蓄積”を抽出・定量化することで得られる“私的な”接触構造の下位概念である。

RCM は、単なる「一度の接触機会」ではなく、「偶発的であるが複数回にわたり再現される空間的・時間的共在」に基づいて構築される。すなわち、「出会ったか否か」ではなく、「意識せず偶然に同じ相手と何度もすれ違っている」という事実に着目し、潜在的な社会的認知や心理的つながりの構築にかかわる構造を捉えることを目的とする。

本概念は、Axhausen (2005) が提唱した「Frequent Chance Meetings (頻繁な偶然の出会い)」⁶⁾に着想を得ているが、単に出会いの頻度に注目するのではなく、「同一人物」との再接触がもたらす社会的・心理的効果に焦点を当てている。RCM の理論的背景には、Zajonc (1968) による「単純接触効果 (mere exposure effect)」⁷⁾があり、これは繰返し他者と接触することで、相手に対する好意や信頼、親近感が自然と形成されやすくなることを示している。

さらに、Edward T. Hall の「空間行動論」において定義された「対人距離」や「空間心理効果」も、RCM の社会的機能と密接に関連している⁸⁾。特に公共交通機関、店舗、公園、通学・通勤路などにおいて、継続的に一定距離内で同一人物と接触を繰り返す状況は、明示的なコミュニケーションがない場合でも、相互認知や社会的な安心感、地域に対する帰属意識の醸成につながる可能性がある。

RCM は、都市空間や地域社会における非意図的な関係形成の起点となりうる。たとえば、通勤電車の同じ車両に乗り合わせる人々、公園の同じ時間帯に居合わせる親子連れ、カフェの常連客同士などが該当する。こうした状況は、形式的な人間関係とは異なり、匿名性を保ちながらも微細な社会的つながりを育むための土壌となり、都市の社会的包摂力や心理的

安全性に寄与する。RCM の値が大きいからといって必ずしも交流が生じるとは限らないが、交流が生まれる可能性は高くなると考えられる。

本研究では、各エージェントの移動軌跡を 10m×10m の空間区画および 1 分間の時間区間で分割した時空間セルに投影し、同一キューブ内で同一ペアのエージェントが何度共在したかを記録することで RCM を抽出する。時空間キューブとは、1 分間×10m×10m の時空間セルから構成される時空間の直方体である。この手法により、計画された関係性に依存せず、匿名性を保ちながらも繰返し発生する"選択されない出会い"の構造を数理的に可視化することが可能となる。なお、1 分間は、移動中でも他者を認識し得る最小の時間単位とできること^{14) 15) 7)}、また、10 メートルは、視覚的接触が成立する限界距離として心理学実験で用いられている^{16) 17)}。

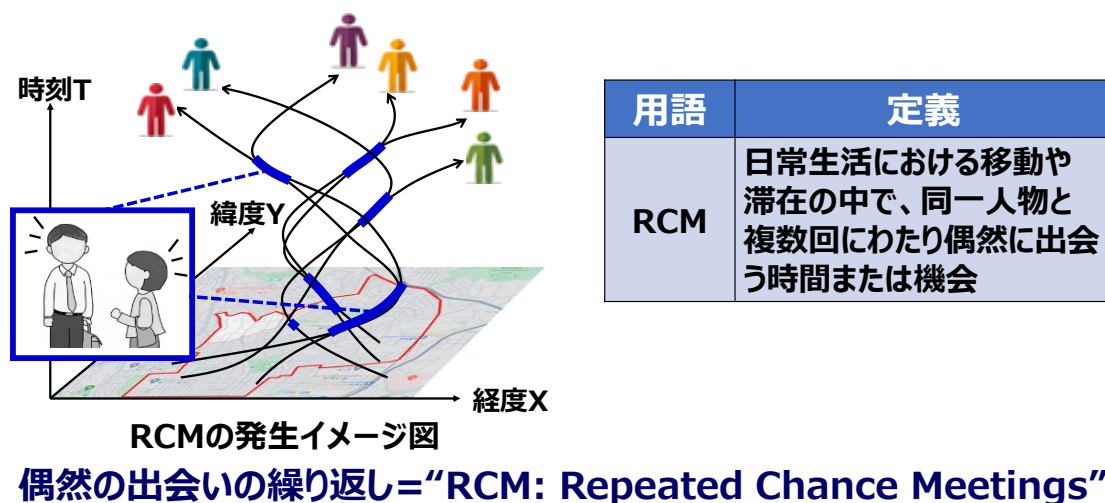


図 1-2 RCM の概念図と定義

➤ パーソントリップ調査 (PT 調査: Person Trip Survey)

パーソントリップ調査（以下、PT 調査という）とは、個人単位で実施される交通行動調査であり、居住者が「ある特定の 1 日」にどこからどこへ、どのような目的で、どの交通手段を用いて移動したか（トリップ）を記録することで、人々の移動実態を把握することを目的としている。調査対象には、性別、年齢、職業、世帯構成といった属性情報に加え、出発地・目的地、出発時刻・到着時刻、目的（通勤、通学、買い物、余暇など）、交通手段（歩行、自転車、自動車、鉄道、バスなど）が含まれる。

この調査は、1960 年代より国や地方自治体によって繰返し実施されており、都市交通計画、地域交通政策、道路・公共交通整備のための基礎資料として活用されている。また、住民の日常的な移動パターンを数量的に捉えることが可能であり、社会的現象の検出にも有効なデータソースとなっている。

実施例としては、近年では、以下のような代表的な調査が行われている。

(1) 首都圏では「第 6 回東京都市圏パーソントリップ調査 (2018 年)」が実施され、約 37 万世帯・約 79 万人を対象に、人々の移動回数の減少や公共交通・自動車利用の地域差など、交通行動の構造的変化が報告された。この調査は東京圏全体の都市交通政策を見直す基礎資料とされている。

(2) 地方都市では「福岡都市圏パーソントリップ調査 (2015 年)」が行われ、約 12 万人を対象に、通勤・通学・買い物等の移動目的別の行動や交通手段の利用傾向が明らかにされた。特に、自動車利用の高止まりとわずかな減少傾向が注目され、地域交通の持続可能性に関する議論が展開された。

(3) 市町村単位では、地域のスケールに応じた縮小版 PT 調査 (例：市民アンケート形式) も実施されており、交通空白地帯の把握や高齢者の移動支援政策の立案などに活用されている。

近年では、スマートフォンや IC カードの位置情報を用いた代替手法の検討も進んでおり、デジタル技術の活用による効率化や時系列的な行動把握の精度向上も期待されている。本研究においては、PT 調査は対象地域における個人の時空間的な移動行動を定量的に把握するための根幹的データとして位置づけられている。

➤ 地理情報システム (Geographic Information System, GIS) ¹⁸⁾

地理情報システム (GIS) とは、地理的な空間情報とそれに付随する属性情報を統合的に収集・蓄積・管理・解析・表示する情報技術システムである。空間情報とは、地点・線・領域などの形状を地球上の座標系に基づいて表現したものであり、属性情報はその空間要素に関連付けられた意味や性質 (例：建物の名称、道路の種別、土地利用区分など) を指す。

GIS の主要機能には、地図作成、距離や面積の計測、空間検索、バッファ (一定距離の範囲) やオーバーレイ解析、時間的変化の可視化などが含まれる。これにより、都市計画、交通ネットワーク設計、災害対応、環境管理、商業立地選定などの場面で、空間的な意思決定を科学的に支援することが可能となる。

さらに、GIS は他のシミュレーション技術、特にマルチエージェントシミュレーション (MAS) と連携することで、現実の地理的構造を舞台とした人や車の行動モデリングに利用される。たとえば、OSM の道路ネットワークを基に、各エージェントがどの経路を選び、どこに滞在するかを動的に再現することで、混雑発地点の分析や公共交通施策の評価を空間的に行うことができる。

具体的な例として、オープンな地理データ基盤である OpenStreetMap (OSM) ¹⁹⁾がある。OSM は、世界中のボランティアによって作成・更新されている地図データベースであり、道路網、建築物、公園、公共交通機関などの空間情報が詳細に収録されている。GIS はこのようなオープンデータを取り込み、たとえば都市内の自転車通行空間の可視化、公共施設までの到達時間分析、人口分布との重ね合わせによるアクセシビリティ評価などを実現する。

➤ マルチエージェントシミュレーション (Multi-Agent Simulation, MAS) ²⁰⁾

マルチエージェントシミュレーション(MAS)とは、複数の自律的なエージェント(agent)が環境内で相互に作用しながら行動する様子を計算機上で模擬する手法である。ここでいうエージェントとは、自らの目的や状態を持ち、周囲の状況や他のエージェントの動きに応じて自律的に意思決定を行うモデル単位であり、人間、車両、動物、施設など様々な対象が抽象化される。

MAS の大きな特徴は、個々のエージェントの単純な行動ルールに基づく局所的な挙動から、全体として複雑で予測困難なマクロ的現象が創発される過程を再現・分析できる点にある。このため、MAS は交通流、都市構造、災害時避難、疫病拡大、経済取引、社会ネットワークなど、多様な領域において複雑系の理解や政策評価のツールとして用いられている^{21) 22)}。

また、MAS は数理モデルや統計モデルでは捉えきれない非線形性、異質性、確率性、動的变化などを取り込む柔軟性を備えており、現実の社会システムや行動パターンに近い構造でのシミュレーションが可能となる。特に交通・都市計画分野では、人口属性や行動特性を持つ住民、施設、交通機関を個別のエージェントとしてモデル化することで、時刻別・地域別の移動需要、道路混雑、公共交通の利用状況、インフラ整備効果などを空間的・時間的に詳細に再現・分析することができる。

本研究では、この MAS の枠組みを活用し、調査対象地域の構造や住民行動の特性を反映した環境を構築することで、個別の行動がどのように集団的・都市的な挙動へと展開するかを探求する。

➤ 住民接触機会解析システム

本研究における「住民接触機会解析システム」とは、パーソントリップ調査票をもとに地域住民 1 人 1 体のエージェントを生成し、時空間上の移動・滞在情報を再現した上で、共滞在 (Co-Stay) および共移動 (Co-Move) といった接触機会を数理的に抽出・構造化し、共時空間 (Co-Exist) および繰返し偶発的接触 (Repeated Chance Meetings: RCM) として定量化する一連の処理体系である。本システムは、複数のデータセットと交通条件に対応したマルチプロジェクト方式で構築され、空間クラスタリング (例: DBSCAN)、時間分割処理、個体間の接近判定などを統合的に実行する。

なお本システムは、本研究の目的達成のために構築された統合解析環境であり、理論・実装の両面において実証的検証機能を伴っている。

➤ 社会関係資本 (Social Capital: SC)

Putnam, R. D. (2000) は、”Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community”³⁾において、社会関係資本 (Social Capital: SC) とは、「個人間の信頼、規範、ネットワーク

といった社会構造であり、これらが協調行動を容易にし、社会の効率性を高める資源」と定義されている。また、OECD（2001）"The Well-being of Nations: The Role of Human and Social Capital"²³⁾では、「社会関係資本は、人々の間のネットワーク、共通の規範、信頼のような共有された価値から構成され、協働や協調的行動を可能にする」と述べられている。本研究では、これらの定義を踏まえ、「個人間または集団間における信頼・ネットワーク・社会的規範といった構造が、持続的な協力関係を形成しうる資源」として社会関係資本を定義する。なお、本研究においては、交通行動や地域活動を通じて形成・強化される人と人とのつながりや信頼関係も、社会関係資本の一部として含まれる。

➤ 主観的幸福感（Subjective Well-Being: SWB）

Diener, E.（1984）は、"Subjective Well-Being"²⁴⁾において、主観的幸福感（Subjective Well-Being: SWB）は、「人々が自らの生活をどのように評価しているかという主観的な認識であり、生活満足度、肯定的感情、否定的感情の3要素から構成される」と定義されている。また、OECD（2013）"OECD Guidelines on Measuring Subjective Well-being"²⁵⁾においては、「SWBとは、個人が自分の人生の質についてどう感じ、どう評価しているかに関する自己報告的な尺度」とされており、生活への評価（cognitive evaluations）と感情的反応（affective reactions）の両面を含むとされている。本研究では、これらの定義を踏まえ、「個人が自身の生活全般に対して主観的に抱く満足感や幸福感、ならびに日常的なポジティブ・ネガティブ感情のバランス」を総合したものとして主観的幸福感を定義する。なお、本研究においては、移動体験や地域内での交流などを通じて変化する生活満足度や感情状態も、主観的幸福感の構成要素として取り扱う。

1.5. 本研究の構成

本研究は、公共交通が地域住民のあいだにもたらす「接触機会」を定量的に把握し、それを評価するための新たな指標および計測手法を提案し、シミュレーションによる検証を行うものである。その構成は以下の通りである。

第1章では、研究の背景と動機を明らかにする。少子高齢化や運転手不足に伴う地域公共交通の縮退が、単なる移動手段の欠如にとどまらず、人と人との偶発的接触の減少を通じて、社会的孤立や地域の関係性希薄化をもたらす可能性について問題提起を行う。そして、従来の交通評価指標が見落としてきた「接触機会」という観点を導入する意義と、本研究の目的・課題を整理する。

第2章では、接触機会に関する概念的枠組みと、これに関連する先行研究の動向を整理する。具体的には、「共時空間（Co-Exist）」「繰返し接触（RCM: Repeated Chance Meetings）」などの新たな評価軸を導入し、社会における社会関係資本（SC: Social Capital）や主観的幸福感（SWB: Subjective Well-being）との関係を理論的に検討する。また、交通行動研究や都市社会学の視点を織り交ぜながら、本研究が位置づけられる学術的文脈を明確にする。

第 3 章では、住民の行動実態をベースとしたマルチエージェントシミュレーションの構築方法を詳述する。まず、パーソントリップ調査票を用いたエージェント生成手法、行動スケジューリング、移動経路計算のアルゴリズムを示し、現実的な移動挙動を再現するための各種データベース（GIS、時刻表、地物情報など）の統合手法について説明する。さらに、共時空間や RCM を抽出するプログラム構成と指標定義についても記載し、接触機会を数値化するための技術的枠組みを提示する。

第 4 章では、前章で構築した住民接触機会解析システムが正常に機能するかを検証する。具体的には、2018 年の実データに基づく 2,093 件のパーソントリップ調査票をもとに、約 2,000 体のエージェントを生成し、各プログラムの動作確認と出力結果の整合性を確認する。さらに、共時空間や RCM の空間分布を可視化し、実際の都市構造との対応関係を検討することで、本システムの有効性と信頼性を初期段階で評価する。

第 5 章では、本研究の提案手法を 8 の社会シナリオ（2 種類の人口スケール×4 種類の交通施策）に適用し、接触機会の変化を多面的に分析する。分析は「利用者数分析」「共時空間分析」「RCM 分析」「RCM 属性分析」の 4 種類に分かれ、交通施策の縮小や人口構成の変化が、接触構造に与える影響を定量的に把握する。特に、歩行・バス・乗合タクシーといった交通手段ごとの接触創出機能の違いや、異なる年代・地域・性別間での RCM 発生傾向を明らかにすることで、政策の優先順位づけに資する実証的知見を提示する。

第 6 章では、本研究全体の成果を総括するとともに、今後の発展可能性について 8 つの方向性を掲げて展望する。これには、アクティビティエージェントによる行動変容の導入、SC・SWB との関係分析、MATSim へのツール実装、都市スケールへの拡張、リアルタイムモニタリングとの融合、さらには他地域との比較研究などが含まれる。これにより、接触機会を核とした新たな交通・都市評価の枠組みが、実社会での応用へと進展する基盤を提示する。

以上の流れを表したものが、図 1-3 である。

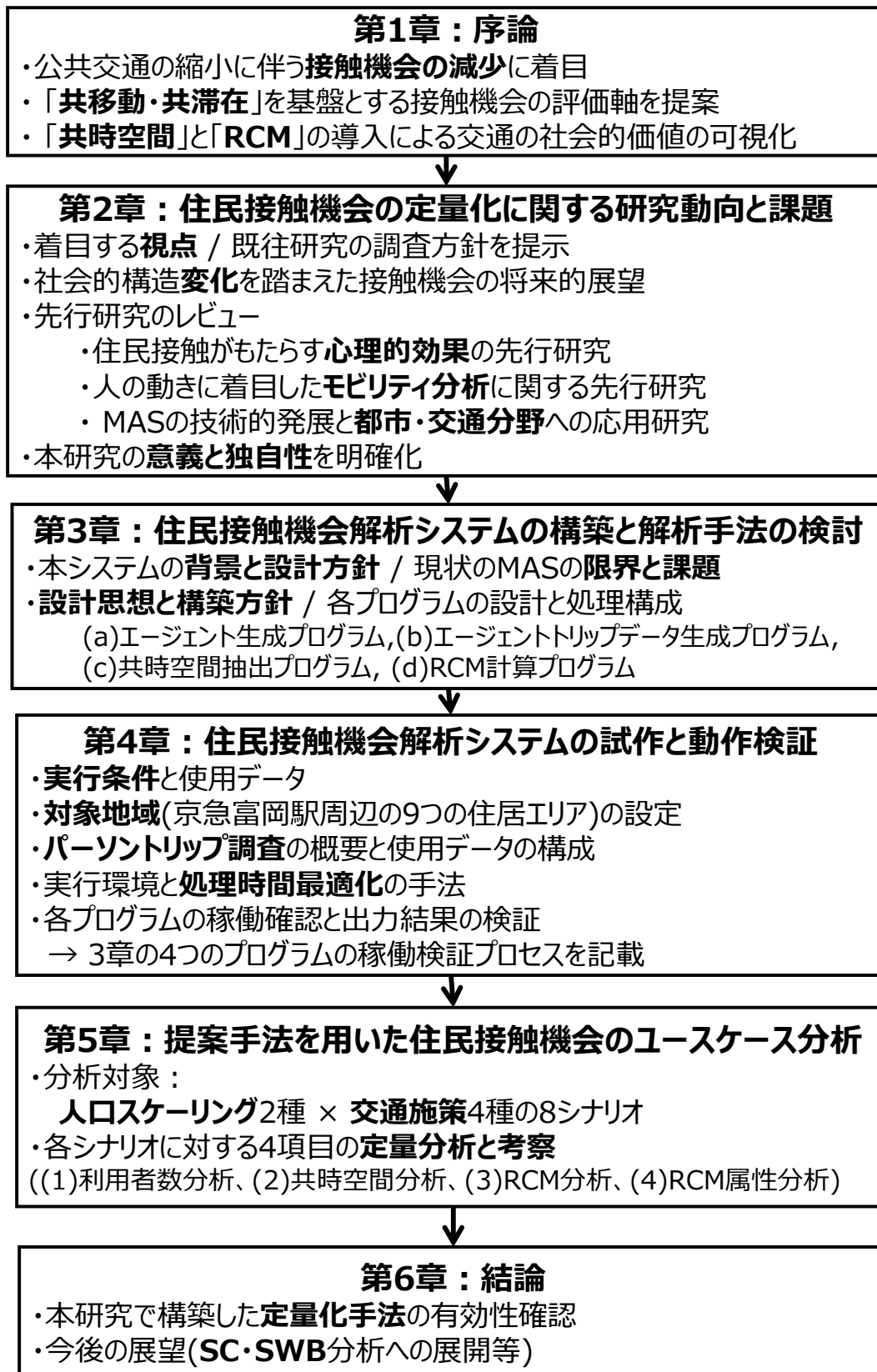


図 1-3 本研究の構成

1.6. 略語一覧 (Abbreviations)

本論文で頻出する略語の一覧を以下に示す。略語は以後、断りのない限りこの表に基づいて用いる。

略語	英語表記 (正式名称)	日本語表記 (補足)
Co-Exist	Co-Existence	共時空間
Co-Move	Co-Movement	共移動
Co-Stay	Co-Stay	共滞在
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise	ノイズを含む密度ベースクラスタリング法
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
KPI	Key Performance Indicator	主要業績評価指標
MAS	Multi-Agent Simulation	マルチエージェントシミュレーション
OSM データ	OpenStreetMap data	OpenStreetMap データ
PT 調査	Person Trip Survey	パーソントリップ調査
PT 調査票	Person Trip Survey Form	パーソントリップ調査票
RCM	Repeated Chance Meetings	繰返し偶発的接触
SC	Social Capital	社会関係資本
SWB	Subjective Well-Being	主観的幸福感

なお、本論文においては、「地域」と「エリア」の2つの用語が登場するが、基本的にこの両者は同じ意味を持つ。但し、「地域」は主に社会的・行政的な文脈において用いられ、「エリア」は空間的な範囲や機能的な区画を強調する際に使用している。

2. 住民接触機会の定量化に関する研究動向と課題

本章では、地域社会における「公共交通による住民同士の接触機会」がいかに研究されてきたかを、接触の発生構造・心理的効果・社会的意義・計測手法といった観点から整理する。特に、偶発的な出会いや共通空間の共有といった、非制度的・日常的な接触に焦点を当て、接触の「構造的条件」と「定量的把握」に関する知見を再検討することで、本研究が担うべき課題と貢献の射程を明確にする。

2.1. 本研究において着目する視点

2.1.1. 住民接触機会に関する現行施策の位置づけ

住民接触機会の創出に関連する施策は、都市・交通・福祉といった多分野で個別に展開されてきた。たとえば、都市計画では広場や公園、商業施設、道路空間といった物理的構成要素が交流の場として設計され、空間の利活用を通じた滞在・交差機会の増進が試みられている。また、福祉領域では、高齢者や子育て世帯向けの「居場所」づくりが進められ、地域包括ケアや地域福祉の実現と接続して議論されている²⁶⁾。

これらの施策は、直接的に「接触機会」を評価・指標化しているわけではないが、結果として人々の接触の前提となる場や状況を生み出しており、接触の構造的条件を整える政策的基盤として重要であるという意見がある⁴⁾。なお、本節では既存の施策を現時点の実践と捉え、将来的変化への対応や課題の議論は2.2.4節で扱う。

2.1.2. 住民接触機会による意義

本項では、住民接触機会が有する理論的意義について確認する。具体的には、顔見知り関係や緩やかなつながりといった「弱い紐帯」が、地域社会における信頼形成や情報共有の基盤となることが指摘されており²⁷⁾、これらは接触の質的側面を捉える視座として重要である。また、公共空間における日常的な行動の中で、意図せざる関係が生まれる契機が存在し、それが越境的な交流や地域外との関係形成にもつながる可能性があるという意見がある²⁸⁾。接触機会は単なる物理的な動線の交差ではなく、社会的ネットワークや地域構造に作用する中間的要素としての意義を有している。

2.1.3. 住民接触機会による心理的・社会的効果

接触機会の効果については、個人の心理的充足と地域社会の機能性という二つの側面から整理できる。前者では、接触の蓄積がもたらす安心感や親近感、孤立感の軽減、SWBの向上などが議論されており²⁴⁾、後者では、信頼を基盤とした支え合いネットワークや災害時の相互支援といったSCの構築への寄与が挙げられる³⁾。これらの効果は、短期的には日常の快適性に、長期的には地域社会の持続性やレジリエンスの強化に資する点で重要である。

2.1.4. 住民接触機会の定量的計測手法

住民の接触を捉える計測手法は、近年の技術進展とともに多様化してきた。従来はインタビュー調査や質問紙調査が中心であったが、近年は位置情報、交通履歴、通信データなどを活用した手法も登場している。これらの手法は、従来の主観的な認識に依存しないデータに基づくことから、接触の空間的・時間的な構造を定量的に把握することを可能にしている²⁹⁾。

2.1.5. 社会的構造変化を踏まえた接触機会の将来的展望

住民の接触を捉える計測手法は、近年の技術進展とともに多様化してきた。従来はインタビュー調査や質問紙調査が中心であったが、近年は位置情報、交通履歴、通信データなどを活用した手法も登場している³⁰⁾。これらの手法は、従来の主観的な認識に依存しないデータに基づくことから、接触の空間的・時間的な構造を定量的に把握することを可能にしている。

一方で、これらの手法は観測可能な過去の接触を記録するものであり、将来的な接触構造の予測や、特定の政策介入が接触機会に与える影響のシミュレーションには限界がある。こうした課題に対して、住民個人の属性や行動履歴を反映したエージェントを用いて、都市空間内での移動・滞在・接触を動的に再現する MAS は、接触構造の計測と将来予測の両面において有効なアプローチとなる可能性がある²¹⁾。

本研究では、既存の PT 調査票を基にエージェントを生成し、MAS を構築することで、「どこで・誰が・どのように・何回接触しているか」といった構造的な接触機会を定量的に可視化・分析する枠組みを提示する。これについては、次節「2.3 本研究の意義」にて詳述する。

2.2. 本研究において着目する研究

住民同士の接触機会に関する既往研究には、その発生や維持の仕組み、社会的な役割、測定方法、制度的課題に関する多様な論点が見られる。これらの研究は、接触を空間的・制度的要因により生じる「結果」として捉える立場と、関係性や支援、地域の結束を生み出す「資源」や「手段」として捉える立場に大別できる。本節では、既存の文献における代表的な知見を、(1) 接触機会の役割、(2) 心理的效果、(3) 社会的価値の可視化に向けた定量的枠組み、(4) 将来的課題と対応策、という 4 つの観点に整理し、住民接触の研究的背景とその射程を明らかにする。

2.2.1. 地域社会における接触機会の役割に関する研究

住民接触機会の意義については、社会的包摂、地域参加、対話の契機といった観点からの検討が多くなされてきた。特に、従来の自治会や町内会などの組織的つながりが希薄化する中で、日常生活に埋め込まれた非制度的な関係性に注目する研究が増えている。例えば、地

域資源としての「場」が持つ潜在力や、他者との関係性のきっかけとなる行為（挨拶，立ち話，視線の交差など）に焦点を当てた研究は，地域内の緩やかな関係性が社会的孤立の予防や安心感の醸成に寄与し得ることを示している．

こうした関係性は，移動や滞在の共有といった身体的な共通経験を通じて自然に発生することがあるとされる．たとえば，住民が同じ目的地に向かい，共に移動することで交流が生まれ，地域の信頼関係が形成・強化されるという指摘がある．通勤電車やバスの利用を通じて共通の話題や親近感が育まれ，公園や広場といった空間もまた，交流の場として機能することが確認されている．Oldenburg（1999）は，こうした機能を担う場を「サードプレイス」と呼び，偶発的な出会いがコミュニティ形成に寄与すると論じている³¹⁾．また，Putnam（2000）は，日常的な共通移動によって生まれる連帯感が，SC や SWB に密接な影響を及ぼすと指摘し，社会的孤立の防止や地域への帰属意識の向上に資する可能性を述べている³⁾．

加えて，Gehl（1987）は，公共空間の設計が人々の行動や相互作用を促す要素であると述べ，公共空間を通じた住民間の交流の促進が持続可能な都市形成にとって不可欠であると主張している⁴⁾．実際，交流機会の創出は，地域経済の活性化や公共交通の利用促進，さらには環境負荷の軽減といった波及効果を持ちうることで，複数の文献で示唆されている．

また，接触機会を移動や滞在の観点からとらえる枠組みとして，「共移動」や「共滞在」といった概念に着目する研究もある．梶山・力石の研究では，共移動とは，GPS データから抽出された移動軌跡において，「2 人の共滞在地点の中間点の移動距離が 50m を超える場合の現象」と定義している⁵⁾．彼らはこの共移動や共滞在の情報を基に，多項ロジットモデルを用いて人間関係の強度（紐帯強度）を推定し，共移動の頻度や時間が強い社会的つながりの形成に影響を与えることを明らかにしている．Axhausen（2005）は，このような現象は，地域の一体感を高めるだけでなく，社会ネットワークの形成と維持にも寄与し，「Frequent Chance Meetings（頻繁な出会い）」が社会的関係性の維持にとって重要な役割を果たすと述べている⁶⁾．

2.2.2. 住民接触がもたらす心理的・健康的効果の研究

接触の効果については，心理学，社会学，福祉学など多様な分野において多くの知見が蓄積されており，これらは地域社会における関係性の形成，維持，深化に大きな示唆を与えている．

代表的なものとしてまず挙げられるのが，「単純接触効果（mere exposure effect）」である．これは心理学者ロバート・ザイアンス（Robert Zajonc）が提唱した現象で，ある刺激に繰り返し接触することによって，その対象に対する好意や親近感が無意識のうちに高まるという効果である⁷⁾．単純接触効果は，人間関係にも適用可能であり，たとえば通勤電車で毎日見かける他者や，日常的にすれ違う近隣住民への親しみの感情形成に寄与する．Moreland & Beach（1992）の実験では，授業への出席頻度が高い人物ほど，その人物への好意的評価や親密感が増加することが示された¹⁵⁾．また，Saegert ら（1973）による実験でも，接触回数

が増えるにつれて他者への好意度が有意に上昇する傾向が確認されており、日常的な繰り返し接触の累積が対人感情に与える影響の大きさが明らかにされている³²⁾。

さらに、エドワード・T・ホール (Edward T. Hall) の「空間心理学 (proxemics)」も、住民接触に関する重要な理論的視点を提供する⁹⁾。ホールは、人間が他者との間に保つ距離を「密接距離 (0–45cm)」「個体距離 (45cm–1.2m)」「社会距離 (1.2m–3.6m)」「公共距離 (3.6m以上)」の4つに分類し、それぞれが心理的・社会的関係に与える影響を体系化した。なかでも個体距離 (45cm–1.2m) は、日常的な会話や交流が成立しやすい適切なプライバシーが保たれる範囲であり、信頼感や安心感の形成に最も寄与する距離帯とされる。公共空間でのすれ違いや会話、ちょっとした接触はこの範囲で生じることが多く、空間的な近接が社会的関係形成における前提条件となる。

加えて、交流の「場」の単位として注目すべきは、いわゆる「最適集団サイズ理論 (optimal group size theory)」である。これは、対話や意思決定、相互理解が効果的に行われるためには、場の目的に応じた人数設定が必要であるという知見に基づく。たとえば、親密な交流を目的とする場合には6～10人程度の小規模グループが最適とされる一方、情報共有やアイデア収集の場では15～50人の中規模、地域全体の合意形成や意識啓発では50人以上の大規模集団が適しているとされる^{33) 34)}。このような知見は、住民接触を誘発する空間設計やイベント設計の基盤として応用可能であり、物理的距離だけでなく「人の密度」や「関与の深さ」もまた接触効果の強度に影響を与えると考えられる。

これらの研究は、住民接触を単なる偶発的事象としてではなく、感情、信頼、心理的充足、行動変容といった多面的な効果のトリガーとして捉えることの重要性を示している。加えて、接触の回数、距離、人数といった要素がその効果に強く関係していることは、今後の空間・交通・社会インフラの設計や評価の基盤にもなりうる。

さらに、近年の研究では、公共交通の利用がフレイル（加齢に伴う虚弱状態）や健康状態に与える影響についても注目が集まっている。Ettema らは、日常的な移動満足度がSWBに正の効果を与えることを示しており、特に公共交通の利用が行動の自立性や生活満足度に寄与する可能性を指摘している³⁵⁾。また、Stanley らは、モビリティの喪失が社会的排除や孤立感を引き起こし、精神的健康の悪化につながることを論じており、公共交通が「社会的つながりの媒介装置」として機能していることを示している³⁶⁾。

図2-1は、日常および非日常的なモビリティ行動が個人の主観的幸福感 (Subjective Well-being) に与えるポジティブな影響を概念的に示したものである。

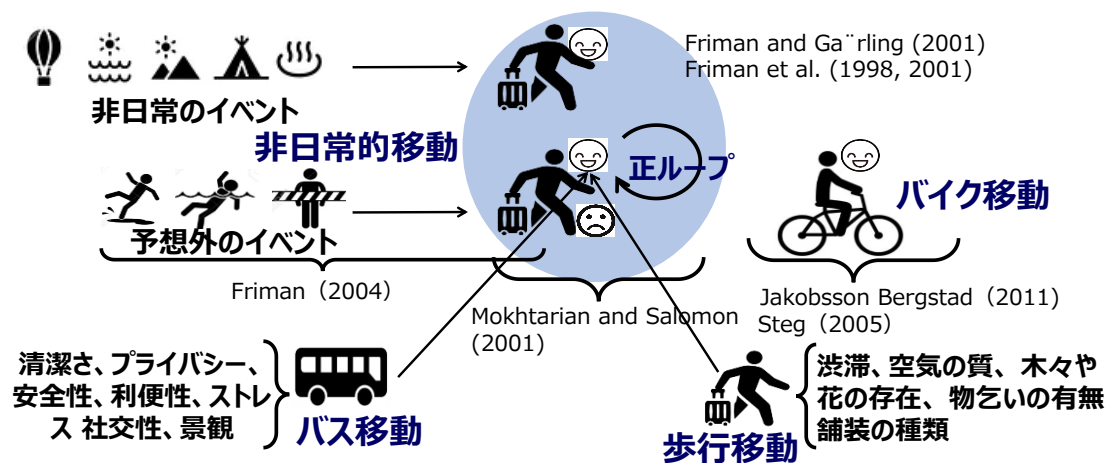


図 2-1 モビリティが個人に与えるポジティブな価値に関する既往研究

Friman & Garling³⁷⁾および Friman³⁸⁾は、移動中に発生する否定的体験（遅延、不快、事故等）の頻度が公共交通に対する満足度に影響し、それが主観的幸福感に波及することを実証している。一方で、満足度の高い移動は、ポジティブな感情を強化し、移動そのものへの好意的評価を再生産する「正のフィードバックループ」を形成する（図中央の青円内に対応）。また、Mokhtarian & Salomon³⁹⁾は、移動が単なる目的地への手段ではなく、移動そのものに快楽的・象徴的な価値が存在することを示し、非日常的な移動（旅行・レジャー等）における幸福感の源泉を支持する（図上部「非日常的移動」領域に対応）。

Jakobsson Bergstad ら⁴⁰⁾は、日常移動の満足度が主観的幸福感に統計的に有意な関連を持つことを報告しており、徒歩・バス・バイク等の移動手段が感情的な充足感をもたらす構造（図下部・右部）を示している。さらに、Steg⁴¹⁾によれば、自動車移動をはじめとするモビリティには、道具的価値だけでなく、感情的・象徴的価値が含まれており、それらが移動に対するポジティブな態度の基盤となることが指摘されている。

このように、公共交通は単なる移動手段としてだけでなく、高齢者の健康や心理的安定にとっても重要な基盤であることが示唆されている。実際、Cao らの研究でも、住環境の変化とともに移動手段の選好や移動行動が変化し、それが健康や幸福感に影響を与える構造が確認されている⁴²⁾。これらの知見は、住民接触機会を「移動による偶発的接触」だけでなく、「モビリティによる生活の質」や「健康の維持」といった観点から捉える必要性を示しており、本研究の意義をさらに補強するものである。

また、日常生活における幸福感の源泉として、他者との対話や社会的接触の重要性が指摘されている。Kahneman と Krueger は、通勤や単独作業などの活動がネガティブな感情を誘発する一方で、家族や友人との時間、あるいは人との対話・社会的接触といった活動は、ポジティブな感情を生むことを実証的に示している⁴³⁾。このような直接的な社会的接触が幸福感を高めるという知見は、個人の SWB を理解する上で重要な示唆を与える。

さらに、Sandstrom と Dunn は、日常における「弱いつながり」、例えば、店員やすれ違う人々との軽いあいさつ程度の接触ですら、幸福感や所属感を有意に高めることを実験的に示している⁴⁴⁾。この研究は、強固な人間関係だけでなく、偶発的かつ一過性の接触であっても、人間の心理的充足に寄与しうることを明らかにしている。

加えて、Epley と Schroeder の研究では、公共交通機関における隣人との会話が、事前の予想を上回るポジティブな感情をもたらすことを示している。多くの人が「孤独」を求めがちであるが、知らない他者との社会的交流の方が幸福感を高める傾向があることを明らかにしている⁴⁵⁾。

これらの研究成果は、都市空間における社会的接触機会の設計、特に公共交通や歩行空間などにおける「偶然の出会い」や「弱いつながり」が、人々の幸福感に与える潜在的な効果を評価する上で、理論的基盤を提供するものである。

2.2.3. 住民接触機会の社会的価値を定量化する研究

住民接触機会に関する研究の多くは、アンケート調査を通じて得られた主観的データをもとに、住民の交流頻度、接触の質、社会的つながりの強さなどを分析する形で進められてきた。たとえば、近隣住民との会話頻度や相談の可否といった項目に対する自己評価を指標化し、SC や SWB との関係性を統計的に明らかにするアプローチが一般的である。SC や SWB は個人やコミュニティによって創生される無体財産であるので、人間の五感や測定装置で直接測定することは困難であるからである。1970 年代に社会学者のピエール・ブルデューが SC を提唱した後、多くの SC/SWB の可視化の試みが行われてきた。その代表的な既往研究の論文の概要を図示したものである。その全体像を図 2-2 に示す⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾⁵¹⁾⁵²⁾⁵³⁾⁵⁴⁾⁵⁵⁾⁵⁶⁾。

モビリティのSC/SWBの関連に関する既往研究

モビリティとウェルビーイング の評価	JP Bergstad (2011)	主観的ソーシャルキャピタル (一般)	Jackson, J.M. (1987). Helliwell, J.F.(2004).
モビリティソーシャルキャピタル	G. O. Collantes (2007)	主観的ソーシャルキャピタル (オブジェクト論)	H. Li, C. Cheng (2015)

SC/SWB の「定量化」に関する研究

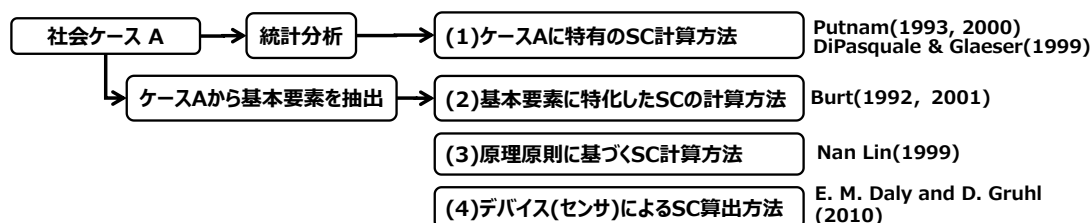


図 2-2 既往研究におけるモビリティと SC/SWB の関係と定量化の試み

SC や人間関係の構造に関する理論的背景として、複数の先行研究が蓄積されている。Putnam (1994) は、信頼・規範・ネットワークといった SC が、市民参加や地域社会のガバナンスにおいて重要な役割を果たすと論じ、SC の公共政策への応用に大きな影響を与えた⁵²⁾。また、DiPasquale と Glaeser (1999) は、持ち家率が高いほど地域への定着や社会参加が促され、SC の蓄積につながるという実証的な分析を示している⁵³⁾。ネットワーク理論の観点からは、Burt (1992) が「構造的空隙」の概念を提唱し、情報や影響力の仲介者としてネットワーク上の位置づけが個人の社会的優位性を形成すると説明している⁵⁴⁾。さらに、Lin (1999) は、ネットワークにおける関係の質や構造が社会的成果と密接に関係していることを明らかにし、SC の理論をより精緻化した⁵⁵⁾。一方、Daly と Gruhl (2010) は、センサ技術を用いて人と人との接触や非言語的なやりとりを定量的に計測する手法を提示しており、従来のアンケートや観察に頼らない新しい SC の把握方法として注目されている⁵⁶⁾。

一方、図 2-3 に示すように、SC/SWB、出会い、接触機会は階層的に包含関係を持つ概念であるが、既存研究の多くは SC/SWB の理論的枠組みや主観的指標に焦点を当てており、接触機会そのものの定量的値や算出方法については十分に言及していない。

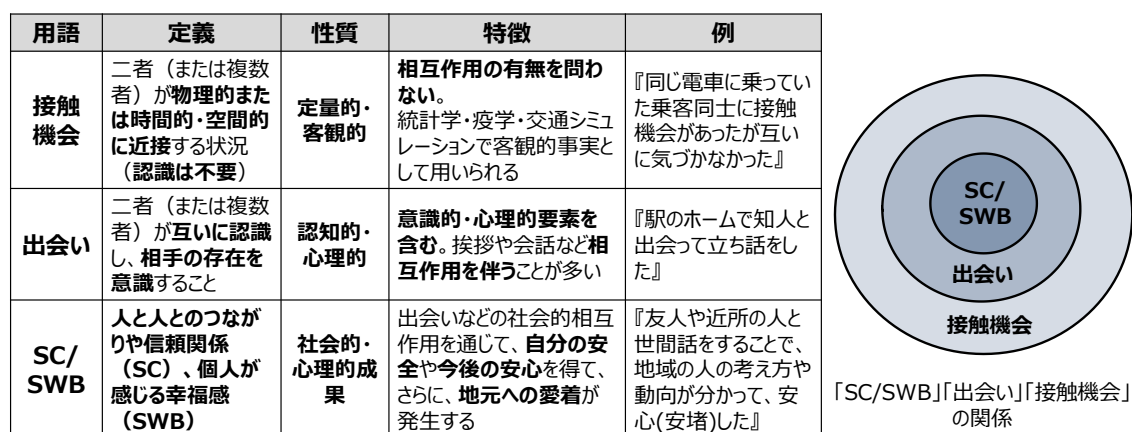


図 2-3 接触機会・出会い・SC/SWB の用語定義と関係図

本研究は、この点に着目し、SC/SWB 研究を実証的かつ客観的に進めるための基盤として、住民接触機会を定量的に計測・可視化する手法を提示する。接触機会を構造的・量的に把握可能とすることで、今後の SC/SWB 研究における客観的定量値の算出および理論的深化に資するアプローチを提供することを目的とする。

2.2.4. 住民接触機会に関する将来課題と対応策の研究

少子高齢化に対しては、国や地方自治体において様々な対策が講じられているものの、現時点ではその状況が改善されているとは言い難い。内閣府（2023）の「高齢社会白書」によ

れば、65 歳以上の高齢者人口は年々増加しており、2040 年には全人口の 35.3%を超えると予測されている。この傾向は、地方圏において特に顕著であり、今後も予想より早いペースで少子高齢化が進行する可能性が指摘されている⁵⁷⁾。したがって、これを前提とした住民生活および交流構造の再設計が求められている。

このような状況において、住民接触機会の課題として、「移動能力の格差」という観点からの研究がある。たとえば川井（2012）は、歴史人口学的視点から、都市部と地方部における人口減少の非対称性が、地域間の交流の減少や高齢者の孤立を招く構造的要因になっていると指摘している。特に高齢者が日常的に他者と接触するための移動手段が限られていることが、社会的つながりの維持を困難にし、生活満足度や健康に悪影響を及ぼす可能性があることを示唆している⁵⁸⁾。

また、20 年後に考えられる施策として、「情報通信技術（ICT）の活用による地域ネットワークの再構築」という観点からの研究がある。鬼塚ら（2019）は、農山漁村地域におけるむらづくりに関する研究の中で、デジタル技術を活用した高齢者の生活支援と地域交流の促進について言及しており、遠隔コミュニケーションや地域情報共有システムの整備が、物理的移動に依存しない新たな接触機会の創出につながる可能性を示している⁵⁹⁾。

さらに、自治体による未来予測の事例としては、横浜市を含む 8 市連携による将来人口・社会変化予測に関する報告書がある。この中では、2040 年を見据えた住民構成の変化に基づき、地域内の人と人との関係性の再構築、地域拠点の機能再配置、公共交通と生活支援の統合といった視点から、接触機会の維持・拡張に向けた包括的施策の検討が行われている⁶⁰⁾。

このように、将来的な住民接触機会の変化に対しては、移動の格差、ICT の活用、地域再構築の視点からそれぞれにアプローチした研究が存在しており、今後の施策設計においてこれらの知見を統合的に活用することが求められる。

2.2.5. 人の動きに着目した先行研究

近年、都市における人の動きに着目した分析は、都市計画、防災、観光振興、感染症対策、商業支援など多様な分野において重要性を増している。その背景には、GPS や携帯電話ネットワーク、交通 IC カードなどを通じて人流データを広域かつ高頻度で収集・分析可能となった技術的進展がある。こうした背景のもと、わが国でもいくつかの代表的なモビリティ分析の試みが実施されてきた。

なかでも、東京大学空間情報科学研究センターによる「PFLOW プロジェクト」⁶¹⁾および株式会社 NTT ドコモによる「モバイル空間統計（Human Flow Project）」⁶²⁾は、それぞれ異なる目的と手法に基づき、大規模な人流の可視化と解析を行ってきた実績がある。これらは、都市モビリティのマクロな傾向を把握するうえで有用であり、国や自治体による政策立案や民間企業による市場分析など、社会的応用の裾野を広げている。

表 2-1 人の動きに着目したモビリティ分析に関する既往研究

区分	PFLOW プロジェクト	Human Flow プロジェクト
主な目的	学術研究・社会課題の解決	商業・行政目的の人流分析
活動の性質	学術（研究成果は公開）	実務（結果はクライアントに提供）
活用分野	都市計画，防災，観光振興	商業分析，行政支援，防災，感染症対策

PFLOW プロジェクトは、交通センサスや国勢調査等をもとに人口流動をシミュレーションした合成データを構築し、それに基づく学術的分析を行ってきた。一方、モバイル空間統計は、携帯電話基地局の接続情報を匿名化処理したうえで、地域単位での人の滞在数や移動傾向をリアルタイムで可視化・解析することを可能としている。

しかしながら、両者は「集団」のレベルでの移動や滞在を検知する手段や、「個人」のレベルでの意思決定や移動の相互作用を直接的に再現することを目的としているものではない。主として統計的に集約された人流データ（マクロ視点）に依拠しており、各個人の移動目的、選好、行動履歴に基づく動的な変化、あるいは他者との出会い・影響関係などを再現する機構を持たない。そのため、たとえば特定地域における行動変容や自律的な意思決定のモデル化、あるいはイベント・災害時の動的対応といった分析には限界がある。

また、これらの既存システムの多くは、都市圏や人口密集地においては一定の精度と有効性を示す一方で、統計データが乏しい地域や、文化的・社会的文脈が重要な判断要素となる地域においては、十分な対応が難しいという課題もある。特に、住民一人ひとりの生活文脈に基づく選択行動や、他者との共滞在（Co-Stay）・共移動（Co-Move）のような「関係性」に着目した分析は困難である。

このような限界に対応するためには、個人の属性や移動履歴、意思決定のプロセスを取り込み、空間内での動的な相互作用を再現可能なモデルが求められる。次節では、そうした要件を満たし得る分析手法として、MAS の技術的展開とその適用可能性について検討する。

2.2.6. MAS の技術的発展と都市・交通分野への適用拡大

近年、都市・交通分野における人の行動や接触の分析手法として、MAS が注目されている。MAS は、個々の住民を属性や行動履歴をもつエージェントとしてモデル化し、仮想的な都市空間上での移動・滞在・接触の発生を再現する手法である。

特に、2000 年代半ば以降、64bitOS や高性能 PC の普及、GIS 技術の発展を背景に、従来は限られた範囲にとどまっていた MAS の適用領域は大きく拡張された。これにより、実際の都市規模に匹敵するエージェント数での大規模なシミュレーションが現実的となり、住民のモビリティや社会的相互作用の分析にも応用されるようになった。

本節では、MAS という手法の技術的進展と、それが都市・交通分野においていかに応用されてきたかに関する研究動向を整理し、本研究における位置づけを明確にする。

2.2.6.1. MAS の目的

MAS は、複数のエージェントが相互作用を通じて、特定の環境で振る舞いをモデル化し、シミュレーションする手法である。エージェントは、人、組織、動物、車、ロボットなどシミュレーションの目的に応じて用いることができる。MAS は、現実社会における複雑な問題を理解するための重要な手段として、社会学、経済学、環境科学、工学、およびコンピュータサイエンスなど、様々な分野で利用されている。MAS の適用例としては、都市交通の混雑や災害時の避難行動、社会的規範や倫理的行動の形成、競争や協調の戦略、市場の相互作用や価格形成など、多岐にわたる問題に使用されている。

2.2.6.2. MAS の構成

MAS は、一般に「環境」「エージェント」「分析手法」という 3 つの中核要素によって構成される。

第 1 の要素である環境は、エージェントの行動や相互作用が展開される舞台であり、都市・交通分野においては、道路網、鉄道、地形などの地理情報を統合したシミュレーション空間として構築される。環境の精度や解像度は、エージェントの移動再現精度に直結するため、交通ネットワークと GIS の統合が重要な前提となる。

第 2 の要素であるエージェントは、個別の意思決定主体として定義され、年齢、職業、移動頻度、所有交通手段といった属性を持つ人間や車両、施設などが該当する。エージェントは、環境から得られる情報に基づき、自律的に行動を選択し、他のエージェントや環境との相互作用を通じて全体の動態を形成する。都市・交通分野では、特に住民や通勤者を対象とする個人エージェントが主に用いられる。

第 3 の要素である分析手法は、シミュレーション結果の解釈と評価に用いられ、クラスタリングやネットワーク分析、経路解析、時間統計処理などが含まれる。これらはエージェントの行動パターンや交通需要の分布、接触機会の発生構造などを把握するために活用される。

このように、MAS は、現実社会の縮図として「環境」「エージェント」「分析」の三層構造をもとに設計され、都市や交通における複雑な現象を可視化・再現するための柔軟なモデリング手法として活用されている。

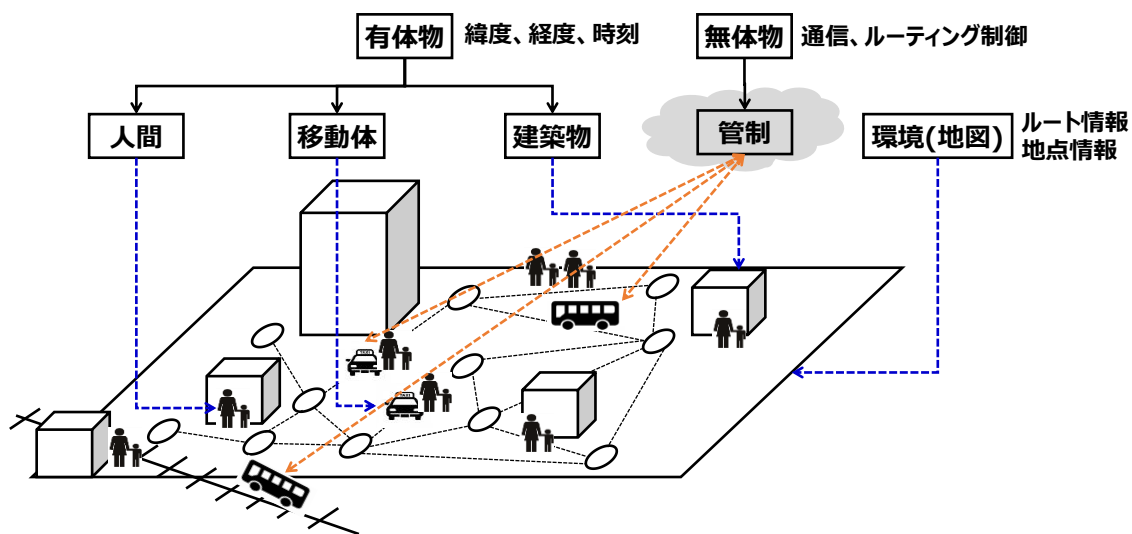


図 2-4 MAS の構造のイメージ

2. 2. 6. 3. MAS のエージェントの構成と問題点

MAS におけるエージェントは、オブジェクト指向プログラミング (OOP) の構造と類似しており、システム内の個別要素として振る舞う。それぞれのエージェントは事前にメモリ上に構築されることが多く、規模拡張に限界がある点が課題である。一方、OOP は動的な生成が可能であるが、計算負荷の増大というトレードオフを伴う。

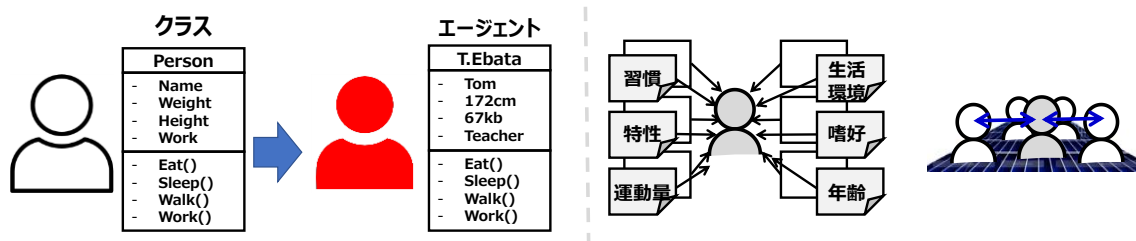


図 2-5 エージェントの設計と実体と相関関係

MAS には、一般的に以下の 5 つの問題点がある。

- 1) 計算負荷の高さ：複数のエージェントが相互作用を行うため、計算量が大きくなり、高いコンピュータ性能が必要になる場合がある。また、シミュレーションの規模が大きくなるほど、計算時間がかかる
- 2) 初期条件の影響：MAS は、初期条件によって結果が大きく異なってしまうことがあり、再現性が担保されない

3) モデルの妥当性の問題：MAS は、複雑な現象をモデル化できるが、そのモデルが妥当であるかどうかを検証することが難しい。妥当性を検討するためには、実証的に検証する必要が発生する

4) エージェントの振る舞いの予測の難しさ：MAS のエージェントはランダムな要素と他のエージェントからの影響を受け続けるため、その行動を正確に予測することが難しいという問題がある。

5) 結果の解釈の難しさ：シミュレーションの解釈は専門的な知識が前提となる。また、結果が予想と異なる場合には、その原因を正確に特定することが困難である。

2.2.6.4. MAS の適用分野と傾向

MAS の適用分野は、社会学、経済学、環境科学、工学、コンピュータサイエンスなど多岐に渡る。Google Scholar (Google LLC 提供) に下記の検索キーを用いて 1991 年から現在の論文数をカウントした (表 2-2)。

表 2-2 1991 年からの MAS の適用分野の論文数

分野	検索キー	具体例	論文数
社会	政策	税制、医療政策の社会への影響	1208
	都市開発	建築物の配置や高さ、広さ、災害対応などの提言	5183
	戦争	戦争の勝敗や軍事戦略の評価	1324
	犯罪	犯罪の発生率を予測、防犯カメラの設置	535
	疫病	流行の予測、感染対策の評価	997
	人間	意思決定や信頼、倫理的行動の意思決定	4697
	群集行動	交通渋滞や大規模災害時の避難行動	199
経済	市場動向	価格決定や需要と供給の調整、価格の決定	4321
	投資戦略	株価予測、トレーディングのモデル化	1936
	企業戦略	生産活動や価格設定、市場参入や退出	6647
環境	生態系	生物の個体群の動態や生態系の変化	1780
	気候	気候変動の対策、影響評価	2455
	災害	地震・津波予測、復旧計画立案	2025
	公害	大気汚染、水質汚染の把握	1472
工学	製造現場	工場の生産効率、スケジュール管理、生産ラインの最適化	5541
	交通(輸送)	物品輸送計画、公共交通機関のスケジュール管理	5416
	交通(移動)	ドライバー行動、信号機制御、交通渋滞の解消策	3210
	エネルギーシステム	電力需要の予測、エネルギー供給の最適化、再生可能エネルギー、スマートグリッドの導入計画	5408
コンピュータサイエンス	人工生命	人工的な生命体の創造や進化、群集現象の解明	1624
	AI	知能エージェントの学習や協調、競合の研究	6739
	ロボティクス	ロボットの集会的な動作や協調の研究	2736
	ゲーム理論	最適戦略や均衡点を解析	1972
	セキュリティ	脅威の分析や対策の評価	4365

下図の左の円グラフは合計数の比率を示し、右の線グラフは5年間単位での論文数の変化を示している（図 2-6）。

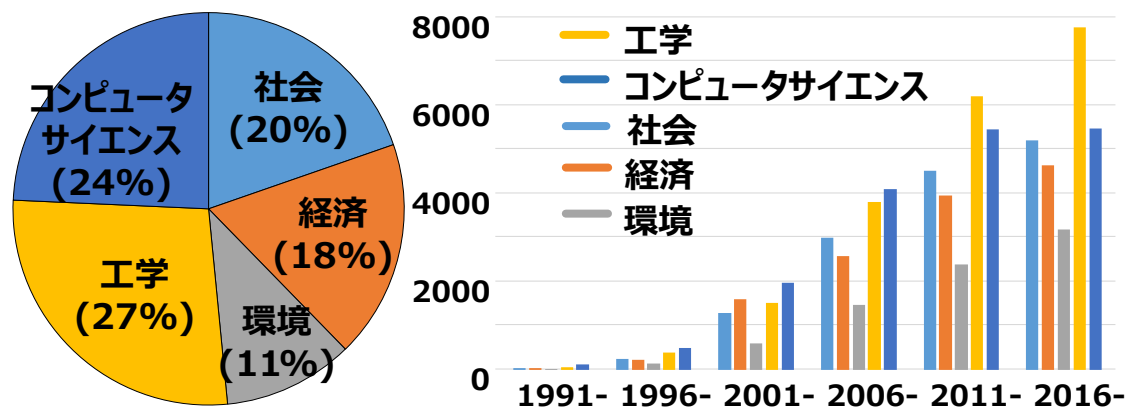


図 2-6 論文数の変化

全ての分野において MAS を利用した研究の増加の傾向が見られるが、2001 年ごろから工学関連の論文の増加が顕著となり、2006 年以降では、それまでもっとも数の多かったコンピュータサイエンス関連の論文数を越えている。MAS の課題には、1) 計算負荷の高さ、5) 結果の解釈の難しさがあり、いずれもコンピュータ資源の進化によって改善可能である。MAS におけるエージェント数のスケーラビリティやシミュレーション速度は、PC のクロック周波数やメモリ容量の向上とともに改善されてきた。64 ビット OS では、最大メモリ容量が 4TB を超えることが可能であり、これは 32 ビット OS の 500 倍以上に相当する。

「Multi-Agent Simulation」「64-bit OS」「32-bit OS」という 3 つのキーワードについて、Google トレンドによるニュース見出し数の比率を比較したところ、2004 年から 2006 年頃にかけて、32 ビット OS から 64 ビット OS への移行が本格化し、それに伴って「multi-agent simulation」が高性能 PC の登場とともに注目を集めるようになったと推測される（図 2-7）。

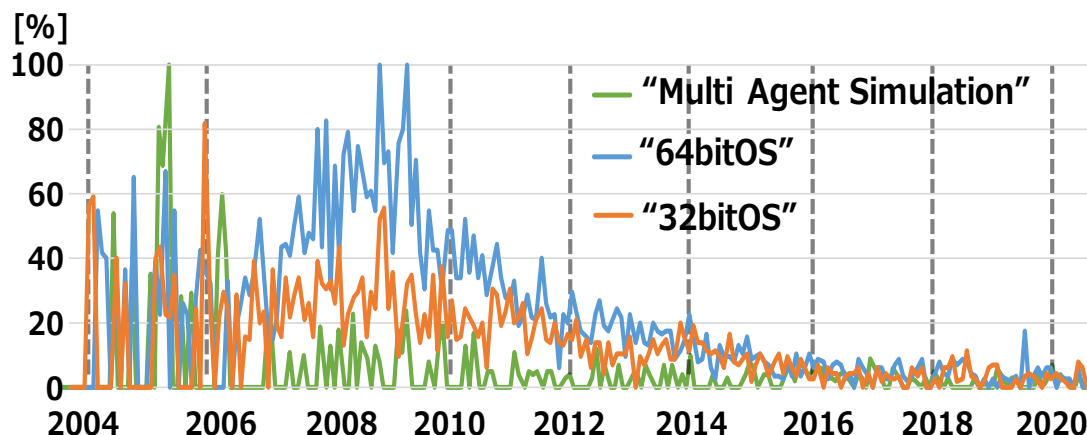


図 2-7 32bitOS から 64bitOS への推移状況（推定）

さらに，あるノート PC シリーズに搭載されたメモリ容量の推移を調査したところ，2005 年前後からメモリの増加速度が大きく加速していることが分かった（図 2-8）。

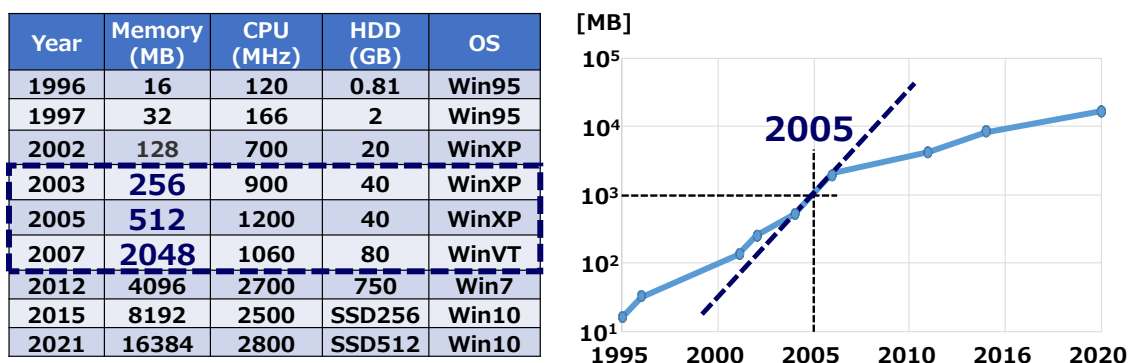


図 2-8 ノート PC に搭載されたメモリ容量の変化

その結果，これまで少数のエージェントで実行されていた計算機科学における MAS は，現実世界に匹敵するスケールでの実行が可能となり，工学分野における MAS 研究の活発化につながったと考えられる。

2.2.6.5. MAS におけるヒューマンエージェントに関する考察

1990 年代以降の MAS 研究においては，「自律的ヒューマンエージェント」，すなわち自律的行動アルゴリズムを組み込んだ人間エージェントに着目し，多くの論文の内容を調査した。その概要は以下のとおりである。

- 1) 2000 年以前は，使用されるヒューマンエージェントの数は少なかったが，「集団心理」

などに焦点を当てた研究ではエージェント数が増加した。

2) 自然災害・人工災害・テロに対する戦略的行動をテーマにした行動心理学的研究も一部見られたが、対象空間は建物内の一室や町の一部といった比較的限定的な範囲に留まっていた。

3) 心理パターンに関する研究の実験および検証手段としてヒューマンエージェントが活用されることが多く、論文の中では「共有地の悲劇」や「認知地図」など、15以上の心理モデルが確認された。

4) ヒューマンエージェントに対する「標準的な心理モデル」と呼べるものは、現在のところ存在していない。

ヒューマンエージェントに関するこれらの知見は、現実社会における人間の行動を再現する上で重要であるが、実際には多くのモデルが物理的な移動や単純な意思決定にとどまっており、行動の背後にある生活パターンや社会的背景といった側面を十分に表現できていない。今後、公共交通を介した住民同士の行動交差や接触機会を定量化するうえでは、こうしたヒューマンエージェントの性質をより柔軟かつ高解像度に再現する手法が求められる。

2.2.6.6. 都市・交通分野における MAS の特徴

図 2-9 の右図は、都市・交通分野における MAS の対象（貨物または旅客）に関する論文数を示しており、左図は旅客輸送の目的（業務目的または私的目的）に関する論文数を 5 年ごとに集計したものである。

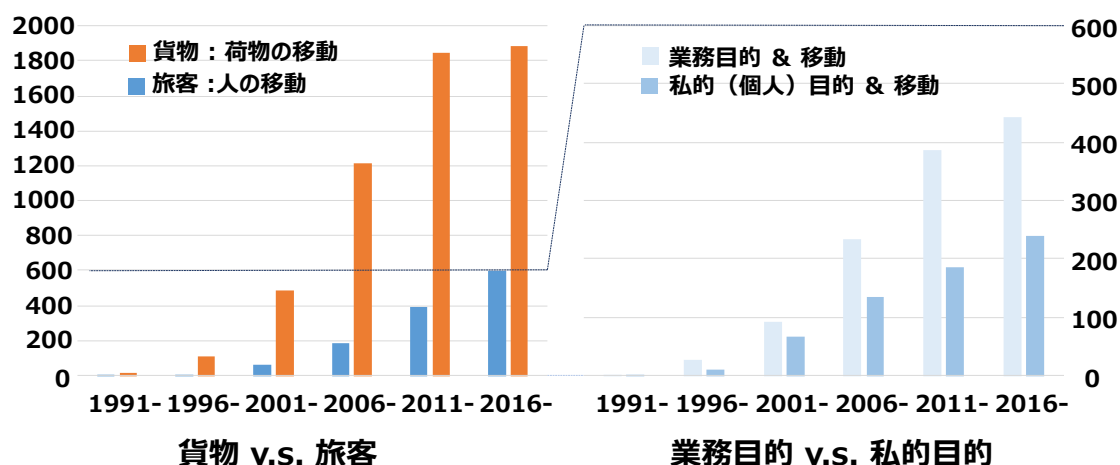


図 2-9 都市・交通分野における論文数

「旅客」を含む論文数は「貨物」を含む論文数よりも少ないが、いずれも着実に増加しており、「業務移動」だけでなく「個人移動」に関する論文数も増加傾向にある。この傾向

は、近年のシェア型モビリティやオンデマンド型移動サービスの拡大を反映している可能性がある。

2.2.6.7. 都市・交通分野における MAS と GIS の関係

1990 年代以降の MAS 研究においては、位置情報に基づく情報システム (GIS) に着目し、以下のような傾向が確認された。

- 1) 2000 年以前の GIS 連携型 MAS は、仮想的な小規模都市を対象とするものであり、現実の空間を反映するものではなかった。
- 2) 2001 年～2005 年には、MAS の適用分野が拡大し、発電所、人口、農業など多様な領域での活用が顕著になった。
- 3) 2006 年～2015 年には、「都市交通」「環境」「エネルギー」などを対象とする MAS の応用が中心となり、Google Maps や OpenStreetMap¹⁹⁾の登場により、現実の都市・交通を地図上で扱うことが可能になった。
- 4) 2016 年以降は、エージェント行動モデルがより複雑化し、車両の移動では「最短経路」だけでなく、運転者や歩行者の「個性」など心理的要素も考慮されるようになった。

2.2.6.8. 都市・交通分野で使用されている MAS シミュレータ

図 2-10 は、1990 年代以降に発表された論文数に基づき、都市・交通分野で使用されている MAS シミュレータを比較したものである。

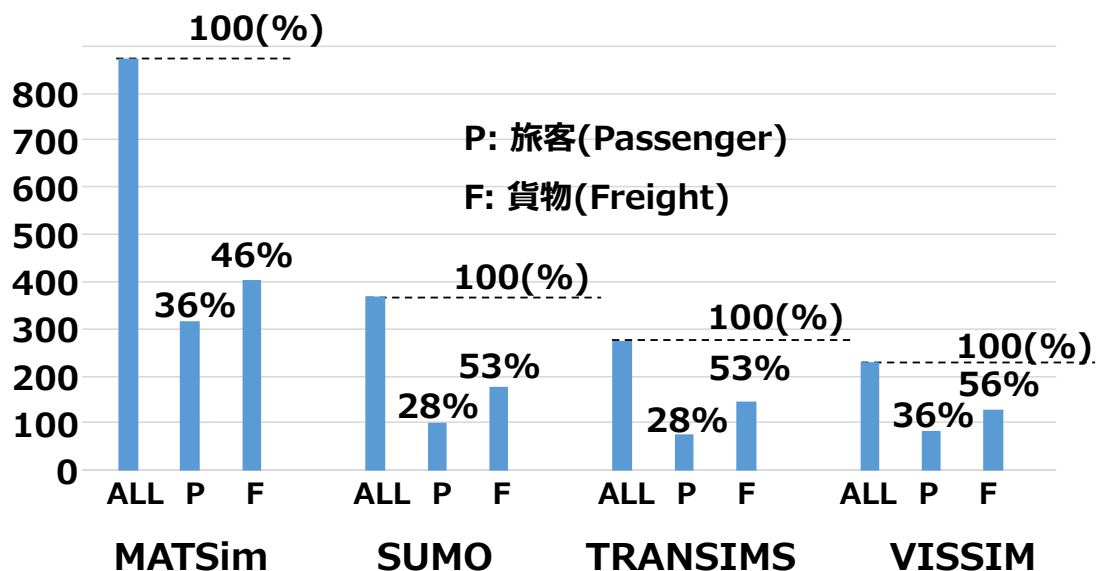


図 2-10 都市・交通研究論文におけるシミュレータの比較

MATSim⁶³、SUMO⁶⁴、TRANSIMS⁶⁵、VISSIM⁶⁶は、都市・交通分野で最も広く利用されている MAS シミュレータである。NetLogo⁶⁷や AnyLogic⁶⁸も一定の人気を集めているが、いずれも都市・交通分野への応用は全体の 50%未満にとどまっている。

2.2.6.9. 都市・交通分野における MAS で使用される移動エージェントに関する考察

1990 年代以降の MAS 研究において、運転者や乗客などの移動エージェントの行動心理に注目した結果、以下のような傾向が確認された。

1) 2005 年以前には、「モビリティ」と「心理モデル」を組み合わせた研究は見られなかった。これは、GIS ソフトウェアの活用が PC リソース不足のため困難だったことが一因と考えられる。

2) 2005 年以降、現実と同数の移動エージェントや乗客エージェントを用いた現実的な MAS が実施されるようになったが、心理モデルの適用例は依然として少なかった。

3) 近年では、多くのエージェントが物理モデルに基づいて構成されている一方で、心理モデルを活用した応用例はごくわずかにとどまっている。

2.2.6.10. まとめ：MAS の発展と住民接触機会の定量化手法としての可能性

MAS は、複雑な社会・交通現象を、複数の自律的なエージェントの相互作用によって再現・分析する手法として 1990 年代以降に発展してきた。従来は、計算資源の制約から少数のエージェントしか扱えず、仮想的で限定的なシナリオに留まっていたが、2000 年代中盤以降の PC 性能の飛躍的な向上により状況は大きく変化した。特に、64 ビット OS の普及とメモリ容量の大幅な増加は、現実社会の人口規模に近い数十万～数百万単位のエージェントを扱うシミュレーションを可能にし、MAS の実用性を飛躍的に高めた。

また、Google Maps や OpenStreetMap¹⁹⁾といった地理情報技術の進展によって、現実の都市構造や交通ネットワークを反映した空間設定が容易となり、都市・交通分野への MAS の応用が加速した。さらに、公共交通を含む多様な移動手段をエージェントの行動として組み込むことで、現実に近い形で住民の動態再現が実現可能になった。

これにより、特定地域における住民同士の接触機会の分布や頻度といった、従来は把握が難しかった現象についても、シミュレーションを通じて定量的に把握するアプローチが現実味を帯びてきた。公共交通がもたらす人と人との交差の構造や傾向を、人口属性や行動パターンを反映したエージェントを用いて再現・分析することが可能となりつつある。

このように、MAS は、コンピュータリソースの進化と情報環境の整備を背景に、住民接触機会の定量化という新たな研究領域において、有力な手法としての可能性を拓けている。

特に都市・交通分野においては、個々のエージェントの行動が他のエージェントや空間構造と交差する中で、複雑な相互作用が生まれる。ヒューマンエージェントに関する研究の蓄積は、こうした相互作用の再現に不可欠であり、今後の MAS がより現実に近い形で住民の動態を捉えるための基盤となる。技術的進展とともに、心理的側面や行動特性を反映した

エージェント設計の重要性が高まっている。

このように、MAS はその技術的進展を背景に、実験的モデルから都市スケールの社会現象を動的に再現可能な分析ツールへと進化してきた。とりわけ都市・交通分野においては、住民の移動や接触といった日常的行動の再現が可能となり、従来の統計的アプローチでは捉えきれなかった相互作用や構造的パターンの把握に資する枠組みが形成されつつある。次節では、これらの動向を踏まえつつ、本研究において MAS をどのように適用し、住民接触機会の定量的分析においてどのような新たな貢献が可能となるのかを明らかにする。

2.3. 本研究の意義

本章 1 節では、住民接触機会が都市・福祉・交通といったさまざまな領域で施策的に捉えられてきたこと、また、その意義・効果・計測方法・今後の変容可能性について多角的に検討されてきたことを確認した。さらに第 2 節では、接触機会の概念的整理から心理的・社会的効果、定量的アプローチの枠組み、将来課題に至るまでの既往研究の蓄積を概観した。そして第 6 項では、これらの定量的アプローチの一つとして注目されている MAS の技術的发展と応用可能性について、都市・交通分野を中心にその展開を整理した。これらの知見は、住民接触が単なる偶発的現象ではなく、地域社会の信頼形成、心理的安定、ネットワークの構築などに重要な影響を与えるものであることを示している。

一方で、既往研究にはいくつかの限界がある。第 1 に、接触機会の発生過程が理論的には多く議論されてきたものの、実際にどのような場所で、どのような属性の住民同士が、どれだけ接触しているのかという空間的・時間的分布の定量化は、ほとんどなされていない。第 2 に、接触の効果を SC や SWB などの指標で把握しようとする試みは多数存在するが、それらは主にアンケート調査や意識調査に依拠しており、行動データに基づく定量的な接触構造の再現とは異なるアプローチである。第 3 に、都市構造や交通サービスの変化、あるいは少子高齢化による交流圏の縮小といった社会的変動が、接触機会に与える影響をシミュレートするためのツールや方法論は、十分に整備されているとはいえない。

本研究は、これらの課題に対応するため、実在の住民行動データの一部を構成する「PT 調査票」を用いて、地域住民の属性や移動履歴を反映したエージェント個体を生成し、MAS を構築することで、住民接触機会を空間的・時間的に定量的に可視化・計測する枠組みを提示するものである。PT 調査票は、住民の属性（年齢・性別・居住地など）に加え、日常的な移動の出発地・目的地・交通手段・到着時刻などを含む詳細な行動データを提供するものであり、これをベースにした MAS は、実際の都市空間を再現した上で住民の移動・滞在・接触の発生をシミュレート可能である。これにより、特定地域における「どこで・いつ・誰と誰が・何回出会っているのか」といった住民接触の構造を把握し、将来的な人口変動や交通条件の変更による影響を定量的に検証することができる。

また、第 5 項にて紹介した PFLOW プロジェクトや、モバイル空間統計(Human Flow Project)は、都市スケールにおける人流の時空間的傾向を把握する上で極めて有効であり、行政支援

や災害対策等に活用されうる。一方で、これらの手法は主として集約化された移動データを対象としており、個人単位での移動判断過程や、他者との相互作用の再現を目的としたものではない。そのため、関係性の構造や意思決定の背景に踏み込んだ解析には限界があり、地域レベルでの接触の生成メカニズムを把握するには不十分である。本研究では、そうしたスケールと再現粒度のギャップを補完すべく、より細かな行動プロセスを反映できる手法を提示するものである。

本研究の枠組みは、既存の施策論や心理的効果論、また SC/SWB との関係性研究と相補的に機能するものであり、「住民接触の空間的・構造的実態の把握」という視点を通じて、都市・交通政策の計画論的基盤の再構築に資する意義を有している。

2.4. 本研究の独自性

本研究は、住民接触機会に関する理論的・実証的研究の蓄積を踏まえつつも、これまで十分に扱われてこなかった課題に対して、独自の視点と方法論によってアプローチを試みるものである。特に、公共交通を通じた住民間の接触機会を、都市スケールにおいて構造的かつ動的に再現・分析する点において、先行研究に見られない新たな知見を提示している。

以下に、本研究の学術的貢献と実務的応用可能性の観点から、その独自性を整理する。

2.4.1. 学術的貢献

- 既往研究では定性的・主観的な指標に依存していた住民接触機会について、PT 調査票を用いてエージェントを構築し、MAS を通じて定量的かつ空間的に可視化・計測する新たな手法を提示している。
- 「頻度」「継続時間」「発生地点」「関与する属性組み合わせ」といった多次元指標を統合的に扱う解析枠組みを提示し、記述的分析にとどまらない構造的アプローチを実現している。
- 「共時空間」や「RCM」など、接触構造に関する概念を新たに定義・指標化し、SC や SWB と補完関係にある分析視点を導入している。
- 人口減少や交通縮退、少子高齢化といった将来の社会構造変化を見越したシナリオ分析を通じて、接触構造の変化を動的・時系列的に予測可能とする分析基盤を構築している。

2.4.2. 実務的応用可能性

- 都市計画や地域交通政策において、「住民接触機会」を定量的に可視化するツールとして、本研究の「住民接触機会解析システム」は従来の人口密度や交通流動とは異なる意思決定基盤を提供する。
- 公共交通の縮退や再編が住民接触に与える影響を事前にシミュレーション可能とすることで、地域孤立リスクや交流減少の空間的分布の把握に寄与し、福祉・交通・都

市整備の統合的施策立案を支援する。

- 新たに定量化された共時空間や RCM の概念を用いて、これまで「雰囲気」や「偶然性」として扱われてきた住民交流の価値を数値化・地図化することが可能となり、地域活性やまちづくりにおける KPI 設定の新基軸となり得る。

3. 住民接触機会解析システムの構築と解析手法の検討

3.1. 本システムの背景と設計方針

本章では、地域住民の移動・滞在行動を対象に、共時空間（Co-Exist）および繰返し偶発的接触（RCM: Repeated Chance Meetings）といった社会的接触機会を抽出・定量化するための「住民接触機会解析システム」の構築と、その解析手法の設計について述べる。

本研究では、小規模地域における人口減少・交通縮小に伴う住民生活の分断を背景に、共滞在・共移動といった社会的接触の機会を都市構造の中で再評価する必要性を指摘してきた。しかしながら、このような社会的接点は従来の交通量調査や統計データでは捉えにくく、また PT 調査もサンプル数や期間の制約から限界がある。

こうした課題に対して本研究では、1 人 1 体で住民をモデル化するエージェントベースの手法（MAS）を基盤に、移動・滞在情報を時空間的に再現し、その上で接触機会を定量的に抽出・分析する処理システムを構築した。

本章ではまず、本システムの全体構成と開発方針を整理し（3.2 節）、その中核となるエージェントトリップデータ生成プログラムの設計（3.3 節）、計算負荷や地図処理の最適化（3.4 節）、接触機会を抽出するための解析手法（3.5 節）、そしてその結果を指標として設計する方法（3.6 節）について順次述べていく。

3.2. PT 調査と MAS の限界と課題

本研究では、住民間の共滞在・共移動を通じた社会的接触機会の定量化を目的として、エージェント個々の移動と相互作用を高い解像度で再現する必要がある。この実現に向けては、MAS の活用が有効と考えられるが、従来の PT 調査および MAS には、構造的な限界と課題が存在する。

第 1 に、従来の PT 調査では、出発地と到着地の把握にとどまり、移動の途中で生じる出会いや重なりといった社会的接触機会を捉えることができないという点である。これにより、共時空間や偶発的接触の構造が記録されず、社会的な相互作用の全体像を再現することが困難となる。

第 2 に、MAS における移動手段の表現が限定的である点が挙げられる。従来の都市交通モデルでは、自家用車や鉄道などを主軸として構築されており、歩行・自転車・地域バス・乗合交通など、地域固有のモビリティ特性が反映されない場合が多い。これにより、移動判断の背景にある現実的な制約や特性が欠落し、シミュレーション結果に乖離が生じる恐れがある。

第 3 に、エージェント行動の平均化処理による多様性の損失である。特に大規模地域を対象とした MAS では、統計的代表値を基にエージェントの属性や行動が抽象化される傾向があるが、実際には生活パターンや目的地選択、移動頻度などにおいて個人差が大きく、それらを平均的に処理することで PT 調査との整合性が損なわれる可能性がある。

第 4 に、処理負荷と再現解像度のトレードオフである。エージェント数や移動・滞在の粒

度を高めるほど、計算負荷やメモリ消費が急増する。また、対象エリア外のエージェントを含める場合、相互作用の組み合わせが爆発的に増加し、システムの実行性能に現実的な制約が生じる。

第5に、偶発的な接触や繰り返される出会いを記録する構造が欠如していることである。多くのMASは交通流や目的地到達に焦点を置いており、複数のエージェントがどこで、どのように接触・接近・滞在したかを構造的に記録・分析する機能を備えていない。そのため、共時空間やRCMといった社会的接点を再現するには、新たな記録構造の設計が必要となる。

第6に、統計データやPT調査票に基づく解析では、対象地域における地形的特徴や歩行環境、交通施設の配置状況などの実態を十分に反映できない。とりわけ、石段や坂道、非公式な近道といった詳細な経路構造はデータ上に現れにくく、住民の実際の移動行動との乖離を生む要因となりうる。現地での実踏や観察といった調査が行われていないことも、MASの入力データの精度に影響を及ぼす潜在的な課題の一つといえる。

3.3. モバイルデータの限界と課題

近年、携帯電話の位置情報ログ（以下、モバイルデータ）を活用した人流分析が広がりを見せており、都市スケールでの人の流れの可視化手法として注目されている。しかし、本研究の目的である「住民の接触機会の定量化」においては、モバイルデータの特長そのものが複数の本質的な制約となる。

第1に、モバイルデータは、提供元のプロバイダの仕様により、個人単位での行動履歴や出発地・到着地といった情報が秘匿化されており、ユーザごとの行動嗜好や生活パターンの推定ができない。また、個人IDが日ごとに更新される仕様であるため、1ヶ月を超えるような連続的な行動の追跡が不可能である。

第2に、モバイルデータのデータ量そのものは膨大であるが、サンプルは若年層に大きく偏っており、地域全体の世代構成を反映するには不十分である。高齢者や非スマートフォンユーザの行動はほとんど記録されないため、地域全体のモビリティ傾向の把握には限界がある。

第3に、位置情報の記録間隔が長く、一般的に1分以上の時間的間隔が空くため、使用した交通手段の識別やルート検索の精度が著しく制限される。

第4に、モバイルデータは非自発的なセンサーログであり、エージェントが「なぜその場所にいたのか」「何のために移動したのか」といった行動の目的や文脈を伴わない。これは、単なる空間的な接触以上に、社会的背景や行動意図を含む接触機会の理解には適さないという限界を意味する。

第5に、モバイルデータの収集および匿名化の方法はプロバイダごとに異なっており、データ取得や前処理の仕組みが研究者にとってはブラックボックスとなっている。このため、取得されたデータの空間分布や欠損の発生過程に対して検証可能性が乏しく、研究間での比較や再現性の確保に課題を残す。

第 6 に、モバイルデータの取り扱いには倫理的・法的な制約が伴い、位置情報というセンシティブな情報の利用にあたっては、プライバシー保護や利用目的の明確化が強く求められる。その結果、研究に必要な空間的・時間的解像度でのデータ提供が制限される場合も多く、分析の精度や自由度に影響を与える。

以上を踏まえると、仮に上記の問題をクリアして、将来的に対象エリア全員のモバイルデータが入手可能となったとしても、「住民の接触機会の定量化」を把握・再現するには限界がある。モバイルデータは全体傾向の把握には有効であるものの、個別の接触構造や行動意図の再現には適さないからである。

前節と本節の課題を踏まえ、本研究では、移動手段の多様性、行動の個別性、接触機会の構造的再現を可能とする住民接触機会解析システムの構築を試みる。次節以降では、本システムの構成要素および設計方針について詳述する。

3.4. 住民接触機会解析システムの構成と設計思想

前節で示したように、従来の MAS は小規模地域における住民の多様な行動特性や移動手段、接触構造を十分に表現するには限界がある。これを踏まえ、本研究では、接触機会を空間的・時間的に構造化・定量化することを目的として、「住民接触機会解析システム」を構築した。

本システムは、住民エージェントの行動を PT 調査票の単位で再現し、共時空間および RCM を抽出するまでの一連の処理を一体的に実行するものである。特に、エージェントトリップデータ生成プログラムはその中核を成すものであり、本研究独自の設計方針に基づいて拡張・調整されている。以下に、本システムの全体構成と設計思想について順に説明する。

3.4.1. システム構成の概要

図 3-1 に示すように、本システムは、調査票の読み込みから接触構造の抽出までを 4 つの段階に分けて構成されている。

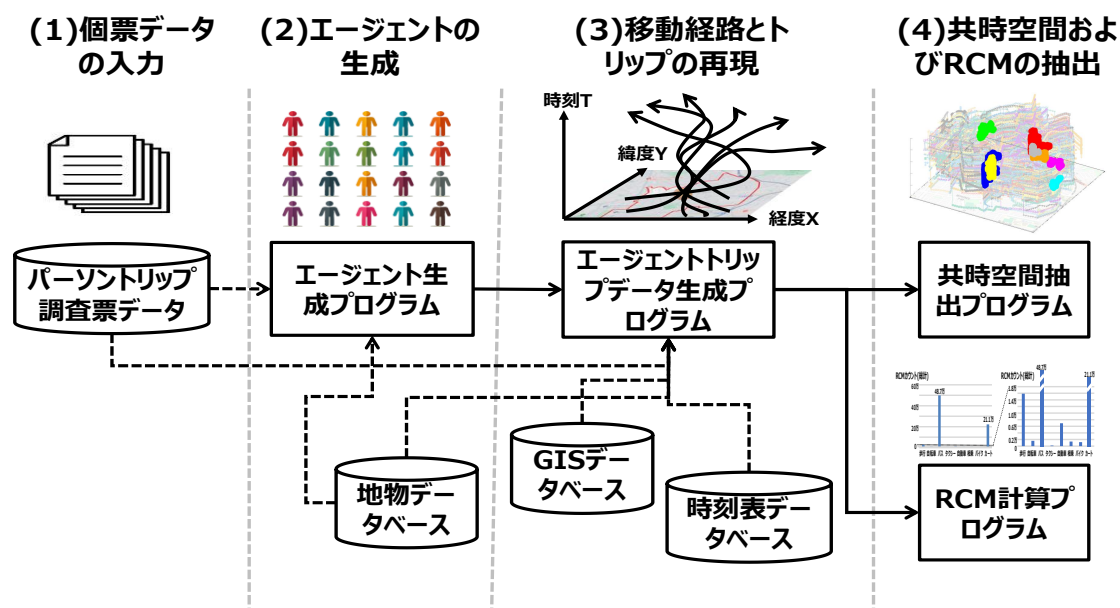


図 3-1 住民接触機会解析システムの構成図

(1) PT 調査票のデータの入力：

PT 調査票を読み込み、対象エリアにおける住民情報を抽出する。

(2) エージェントの生成：

1人1体のエージェントを生成し、年齢、性別、目的地などの属性を付与する。

(3) 移動経路とトリップの再現：

各エージェントについて、移動ルート、出発時刻、滞在時間を個別に再現し、実行可能なトリップデータを生成する。この過程では、地図情報および交通モードに関する情報が統合的に用いられる。

(4) 共時空間および RCM の抽出：

全エージェントの行動履歴を集約し、空間的・時間的な重なりをもとに、DBSCAN 法により共時空間を抽出し、時空間キューブを構成する時空間セルにより RCM を計測する。

これらの処理は、異なる交通条件や人口構成を与えたシナリオ下においても、現実的な時間内で複数回の実行が可能となるよう最適化されており、実用性を重視した構造となっている。

3.4.2. 設計思想と構築方針

本システムは、従来型 MAS の限界に対する具体的な対抗策として設計されている。設計思想の核となるのは、以下の5点である。

(1) 個別性の尊重：

大規模統計では平均化されてしまう住民の行動特性を忠実に再現するため、PT 調査票のデータをもとに 1 人 1 体のエージェントを生成する方式を採用した。これにより、住民の年齢や性別、移動目的などに応じた多様な行動を再現可能とした。

(2) 地図の柔軟な適用：

対象エリアにおける現実的な移動ルートを再現するため、OpenStreetMap を加工・拡張した地図データを利用し、交通手段や年齢に応じて異なる経路コストや通行可能経路を設定できる設計とした。

(3) 接触構造への着目：

単なる移動経路の再現ではなく、複数エージェント間の空間的・時間的重なり（共時空間）や繰り返しの接触（RCM）を抽出することに主眼を置き、「接触の構造を再現可能な MAS」として設計している。

(4) 実行効率と現実性の両立：

本システムは、政策検証のための複数シナリオの迅速な実行を想定し、地図処理や経路計算における最適化を行っている。具体的には、対象エリアと周辺エリアで異なる経路計算を適用し、実行時間と空間精度のバランスを確保している。

(5) 地図整備の作業負荷とモデルの適用範囲：

石段・抜け道といった詳細な歩行経路は、OSM に反映されていない場合があるため、現地調査や手動修正により再現精度を高めることもできる。しかし本研究では、地図整備の作業負荷と汎用的な再現性を考慮し、OSM の既存データをそのまま用いる方針を採用し、全体傾向の抽出と構造分析に主眼を置いている。

このように、本システムは、マルチエージェントによる移動再現に留まらず、都市空間における住民同士の接触構造を数理的に抽出し、社会的接点の生成過程を可視化・検証するための新たな解析基盤である。次節以降では、各プログラムの詳細設計とその実装方法について順次説明する。

3.5. 各プログラムの設計と処理構成

3.5.1. エージェント生成プログラムの構成と処理

本節では、PT 調査票のデータをもとにエージェントを生成する「エージェント生成プログラム」の設計と処理構成について述べる。本プログラムは、「住民接触機会解析システム」における初期処理を担うものであり、調査票から得られる個々の住民の属性と行動傾向を反映したエージェントを 1 体ずつ作成する。

従来の MAS では、大規模統計データに基づく平均化された属性により、住民の行動特性が抽象化され、小規模地域の行動の揺らぎや偶発性を再現しにくいという課題があった。本プログラムでは、調査票 1 件に対しエージェント 1 体を対応させる 1 対 1 方式を採用し、個別性の高いエージェント生成を実現している。

3.5.1.1. 入力データ，出力データと事前準備

本システムで必要となる入力データ，出力データ，事前準備を以下に列挙する．

(1) 入力データ

対象エリアの PT 調査票

地域人口スケーリング情報

(2) 出力データ

属性付きエージェント情報（性別・年齢・交通手段・外出頻度など）

スケーリング後のエージェント集団データ

(3) 事前準備

調査票のデータベース化（CSV→DB 化）

地域人口に基づく補正係数の設定

3.5.1.2. 主な処理構成

(1) 1人1トリップベースによるエージェント生成：

PT 調査票の1件の回答から1体のエージェントを生成し，属性（年齢・性別・居住地域・交通手段など）を付与する．

(2) 地域人口に基づくスケーリング処理：

実際の人口構成に合わせるため，調査データに補正をかけ，世代別人口分布などに対応したエージェントを構成する．

(3) 確率値としての行動特性の付与：

「外出する確率」や「交通手段を選択する確率」などの行動傾向を，調査票に基づき確率値としてエージェントに属性として付与する．これらは後続の行動決定処理において参照されるものであり，本段階では行動の実行判定は行わない．

(4) 同一調査票からの複数エージェント生成：

調査票の1件の回答から複数のエージェントを生成する場合がある．その際は，外出頻度や手段選択確率などの属性に対して確率的な揺らぎを与えることで，同一傾向を持ちつつも非同行動をとる複数のエージェントを生成する．

このように，本プログラムは，PT 調査票のデータに基づくミクロな行動再現を目的としており，エージェント生成の基本情報を，必要な数を作成するための処理である．

図 3-2 に，本プログラムにおける処理の全体像を示す．

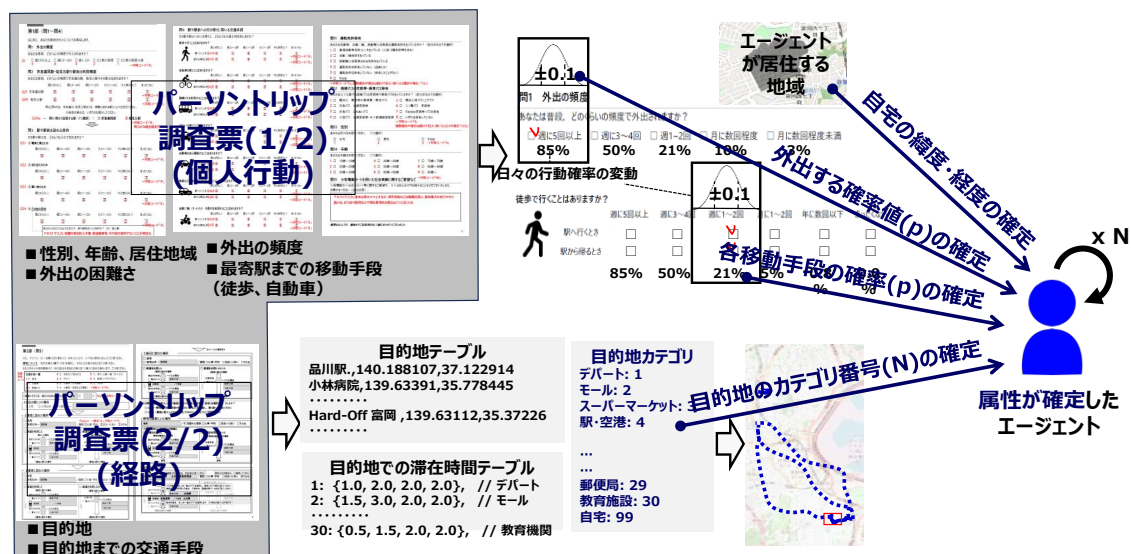


図 3-2 エージェント生成プログラムの構成と処理

3.5.2. エージェントトリップデータ生成プログラムの構成と処理

本プログラムは、エージェント生成プログラムによって作成された属性付きエージェントに対し、個別の行動決定と移動履歴（トリップ）を与えるものであり、「住民接触機会解析システム」の中核的処理を担う。各エージェントは、それぞれの属性に応じて、外出の有無、移動手段、出発時刻、目的地、滞在時間を確率的に決定し、それらの情報に基づいて経路探索を行う。本節では、これら一連の処理について順を追って説明する。

3.5.2.1. 入力データ、出力データと事前準備

本プログラムの入力データ、出力データおよび事前準備を以下に列挙する。

(1) 入力データ

属性付きエージェント情報（3.4.1 の出力）

GIS データベース（道路網、鉄道網、バス・乗合タクシールート）

時刻表データベース（バス・鉄道・乗合交通のダイヤ情報）

地物データベース（目的地カテゴリ、位置座標、滞在時間分布など）

(2) 出力データ

全エージェントの終日トリップデータ（目的地、経路、出発時刻、滞在時間）

(3) 事前準備

OSM データの加工と DB 化（JOSM による編集後、PostGIS にインポート）

道路・鉄道・バス・乗合タクシーをレイヤー化して連携構造を付加

滞在カテゴリ別パラメータ設定（最小・最大滞在時間、ベータ分布パラメータ）

(1) 確率処理に基づく行動の決定

- 外出の有無（確率 $P_{\text{外出}}$ ）
- 交通手段の選択（確率 $P_{\text{手段}}$ ）
- 出発時刻（年齢層に基づく確率密度関数）
- 目的地カテゴリ内での施設の選択（目的地テーブルからランダム選択）
- 目的地滞在時間（目的地カテゴリに対するベータ分布）

この5つの確率的決定の流れは、図3-3に示す通りである。

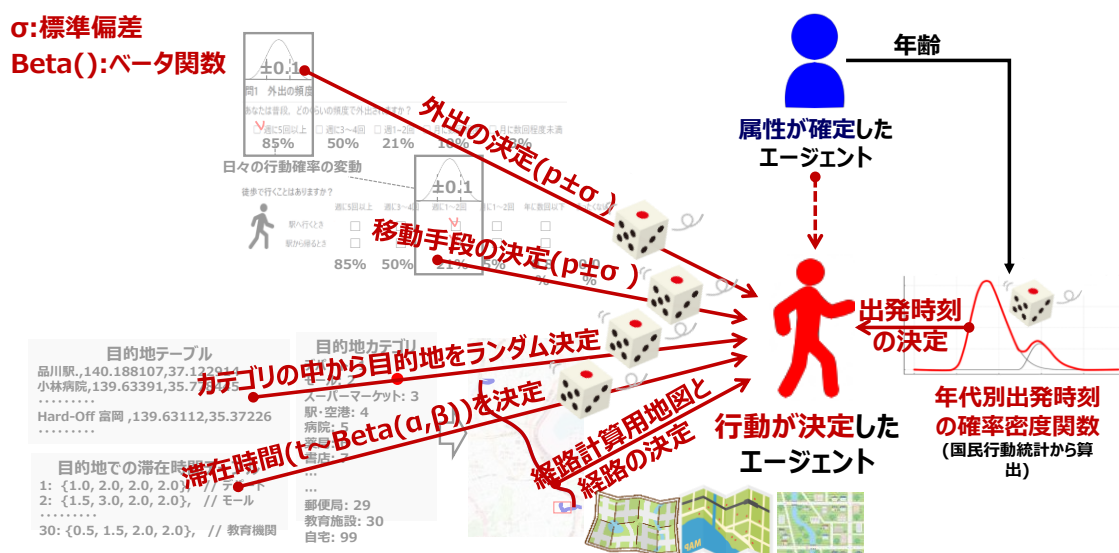


図 3-3 確率処理に基づくエージェントの行動決定の概要図

ここで重要なのは、これらの決定はすべて、エージェントの属性として設定された個別の確率に基づいて行われる点である。すなわち、同じ属性（例：70代女性）であっても、乱数の揺らぎにより異なる行動が生成される。これは、「同傾向を持ちながらも非同一行動をとる」ことを可能にする構造であり、PT 調査票レベルの多様性を維持するための中核的設計である。

また、交通手段の選択においては、単なる確率選択ではなく、交通手段ごとの利用条件（免許保有、所有、身体条件等）および外的制約（運休・減便等）を考慮した多段階の判定処理が導入されている。図 **3-3** は、エージェントが自身の属性と当日の交通サービス提供状況に応じて、使用可能な交通手段を確定する際のフロー構造を示したものである。

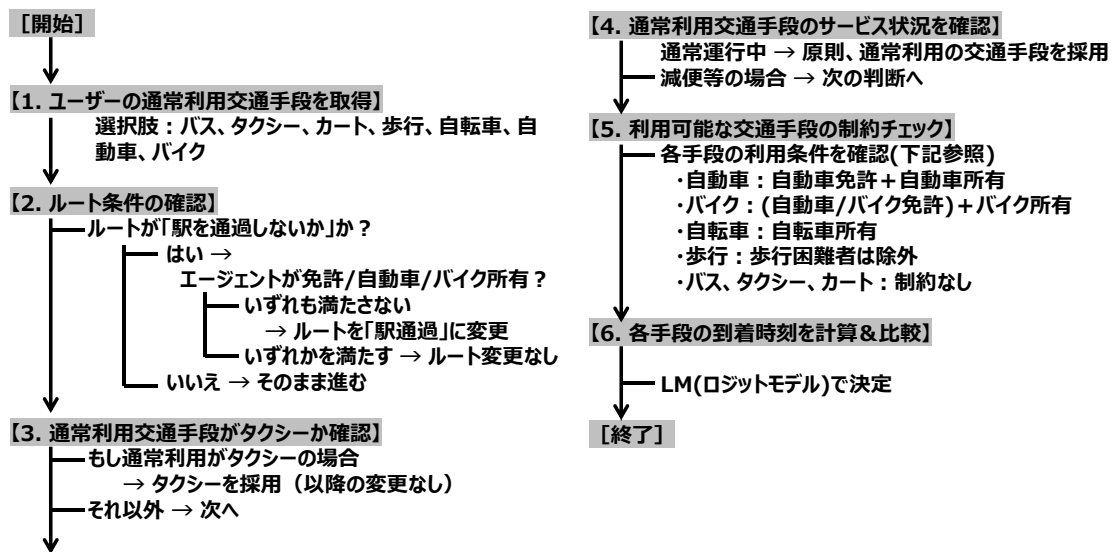


図 3-4 エージェントの当日の移動手段の決定方法のフロー図

このアルゴリズムでは、まずエージェントが通常利用する交通手段（例：自家用車，バスなど）を初期設定として取得し，次にそのルートが駅を経由するか否か，または移動条件に違反していないかを確認する．通常利用手段がタクシーであればそのまま採用されるが，それ以外の場合は，利用条件（免許の有無，車両保有，身体的制約など）を満たすかどうかをチェックし，不適合であれば代替手段の候補を検討する．

代替候補が複数存在する場合は，各手段ごとの移動所要時間を試算し，その所要時間に基づいてロジットモデルを用いた確率的選択が実行される．この処理により，同一条件下でも行動の揺らぎが導入され，日によって異なる移動手段が選ばれるエージェントが生まれる仕組みとなっている．

(2) 目的地と滞在時間の設定

目的地は，表 3-1 に示すように，カテゴリ別に設定されたテーブルからランダムに選択される．カテゴリごとに最小滞在時間と最大滞在時間を決めている．選択される目的地は対象エリア内外約 700 地点の緯度/経度情報が格納されており，経路探索の起点または終点として使用される．

表 3-1 目的地別滞在カテゴリ別のパラメータ

カテゴリ	施設種別	最小時間	最大時間	備考
0	その他	0.75h	1.25h	その他の一般的な施設。平均的な短時間滞在を想定。
1	デパート	1.0h	2.0h	平均的な長さの滞在が中心。
2	モール	1.5h	3.0h	広範囲な買い回りを想定。
3	スーパーマーケット	0.25h	0.5h	短時間滞在が多く一部に長居も想定 ($\alpha=2.0$, $\beta=5.0$)。
4	駅・空港	0.5h	1.0h	乗換えや待機など平均的滞在。
5	病院	0.5h	2.0h	診察・待機を含む医療行為全般に対応。
6	薬局	0.25h	0.5h	処方箋や市販薬の購入等、短時間利用が中心。
7	本屋	0.5h	1.5h	閲覧・立ち読み・購入などを含む。
8	図書館	1.0h	2.0h	勉強・閲覧・滞在を含む比較的静的な活動。
9	家電量販店	0.5h	1.0h	購入目的に加え、商品検討による中程度の滞在。
10	繁華街・商店街	1.0h	2.0h	買い回りや通過も含まれる滞在。
11	公共施設	0.5h	1.0h	行政手続きや閲覧、イベントなどの活動。
12	小学校	0.5h	1.0h	登下校の送迎等、関係者による短時間滞在。
13	中学校	0.5h	1.0h	部活動や保護者対応などの非授業時間含む。
14	高校	0.5h	1.0h	通学・イベントなど多様な短時間滞在が混在。
15	大学	1.0h	3.0h	講義・自習・課外活動による長時間滞在があり得る。
16	エンタメ施設	2.0h	4.0h	映画・演劇・アミューズメント等での滞在。
17	フィットネスクラブ	1.0h	2.0h	トレーニングや休憩を含む中時間滞在。
18	医院	0.5h	1.5h	診療・待機を含む短中時間の滞在を想定。
19	幼稚園・チャイルドケア	0.5h	1.0h	送迎や行事などを含む短時間滞在が中心。
20	会社施設	0.5h	1.0h	訪問・面談・短時間の業務対応を想定。
21	美容	0.5h	1.5h	施術・待機を含めたサービス利用全般。
22	公園	0.5h	1.0h	散歩・休憩・遊戯などの短時間滞在。
23	銀行	0.25h	0.5h	手続きやATM利用など非常に短時間の滞在。
24	飲食店	1.0h	2.0h	食事目的の滞在。
25	コンビニ	0.25h	0.5h	ごく短時間の立ち寄りを想定。
26	介護施設	1.0h	2.0h	訪問・介助・相談等を想定した滞在。
27	店舗	0.5h	1.0h	一般店舗での買い物・相談等の中程度滞在。
28	宿泊施設	1.0h	3.0h	仮眠・滞在・宿泊など広めの時間幅。
29	郵便局	0.25h	0.5h	発送・受取・手続き等を短時間で実施。
30	教育・学び	0.5h	1.5h	講座参加や学習支援、イベント等を想定。

滞在時間の設定には、単なる固定値や一様分布ではなく、ベータ分布⁶⁹⁾を応用した確率的生成手法を導入している。これにより、「多くの人が短時間で用事を済ませるが、まれに長時間滞在する人も存在する」といった実社会で観察されるような偏りのある滞在行动を再現できるように設計している。このデータは、総務省統計局「令和 3 年社会生活基本調査」⁷⁰⁾を用いて算出した。

(3) 出発時刻の生成（年齢別分布に基づく）

エージェントの出発時間について出発時間について記載のある調査結果⁷⁰⁾を使って、以下のような手続で、出発時間の確率関数を作成した。

まず、出発時間の傾向として午前と午後にピークがあることから、この 2 つの状況を分離して、出発時間をグラフ化した。このグラフより、2 つのベータ関数による確率密度関数で補完した。

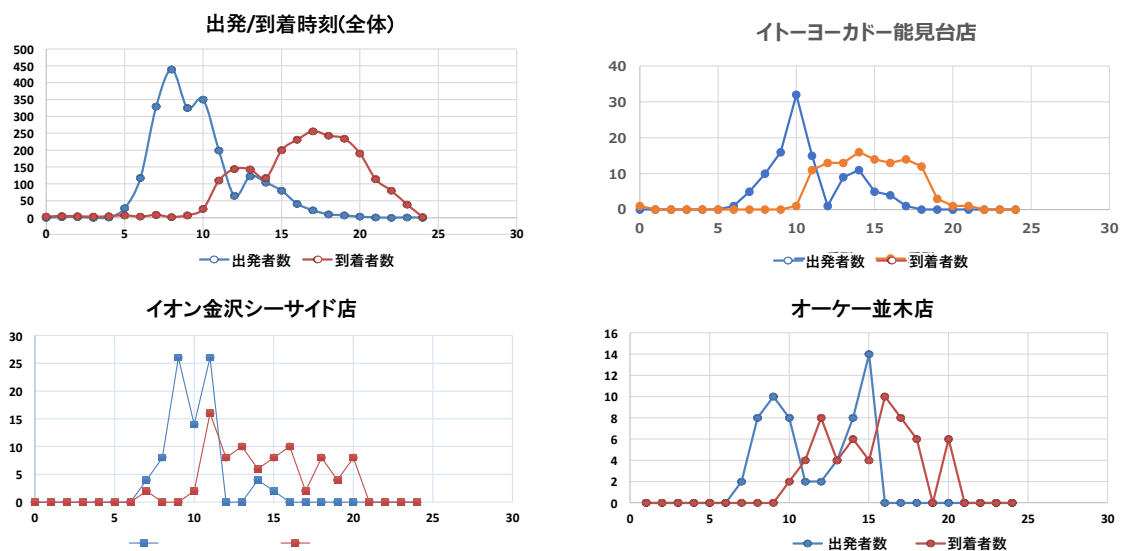


図 3-5 出発時間の調査結果 (1)

次に、年齢別の自宅出発時刻と、自宅到着時刻の人数と、その時刻の偏差値を調べた。

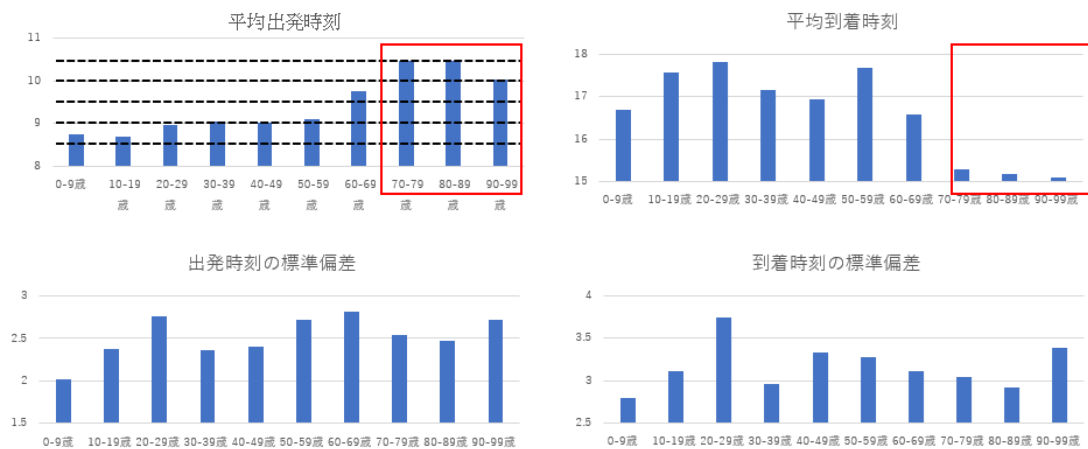


図 3-6 出発時刻の調査結果 (2)

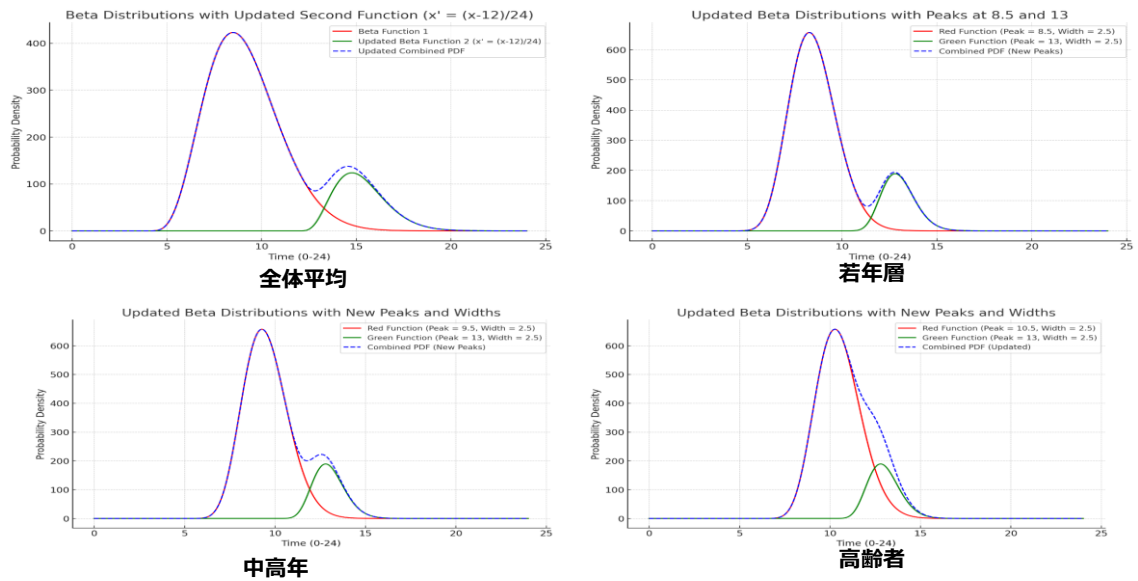


図 3-7 世代別の出発時刻の確率密度関数

出発時刻は、年齢層ごとにベータ分布を2つ組み合わせた確率密度関数により生成した。午前と午後のピーク時間帯（例：9時／13時）に基づいて構成されており、年齢が高くなるにつれて出発時間帯が遅くなる傾向が反映されている。

(4) 地図とレイヤー構成の準備

本プログラムでは、OpenStreetMap（OSM）データをベースとしながらも、対象エリアの特性や分析目的に即した詳細な地図構成を必要とする。そのため、以下のような加工・拡張処理を行った上で、PostGISを組み込んだPostgreSQLデータベースに格納し、一つの移動行程で複数の交通手段を組み合わせるマルチモーダルな経路計算に利用できる構造を構築している。

現状、OSMの標準データには以下のような問題がある：

- ・ 鉄道と道路のノードが接続されておらず、交通モードの乗り換え経路を再現できない。
- ・ バス路線情報は停留所と路線名のみで、運行経路が含まれていない。
- ・ 地域独自の交通サービス（例：乗合タクシー）のルート情報が存在しない。

これらの課題を克服するために、以下の対応を行った。

(a) OSMデータの取得と加工

対象エリアに関するOSMデータをOpenStreetMap¹⁹⁾公式サイトから取得し、Java OpenStreetMap Editor（JOSM）上で加工を実施（図3-8）。必要に応じて以下を編集した：

- ・ 鉄道駅のノードと出入口を結ぶウェイ（way）の作成（図3-9）

- バスおよび乗合タクシーの経路の追加，経路上のノードの新規設定
- 歩行用通路や地域独自の小道などの追加

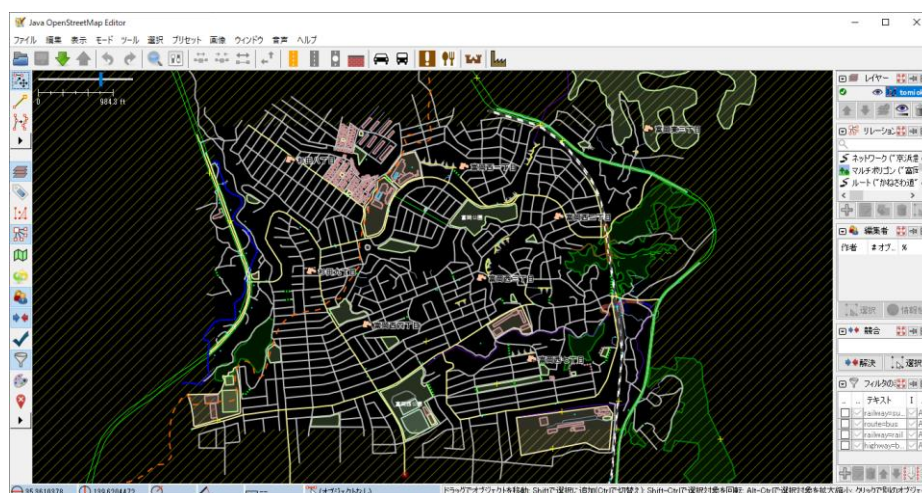


図 3-8 JOSM での作業の様子

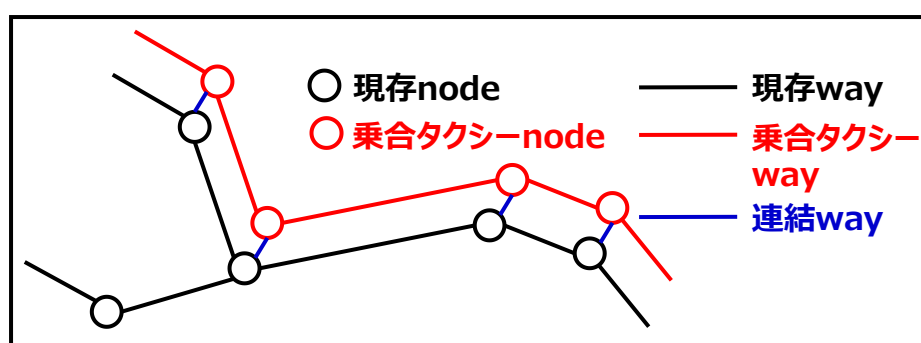


図 3-9 JOSM でのノードとウェイの追加

(b) 交通レイヤーの構成と統合

加工済みの地図には，道路・鉄道・バス・乗合タクシーなどの各交通手段に対応したレイヤーを構成し，これらを相互接続するノードを挿入．図 3-10 に示すように，それぞれの交通モードが接続された統合的ネットワークとして構築した．

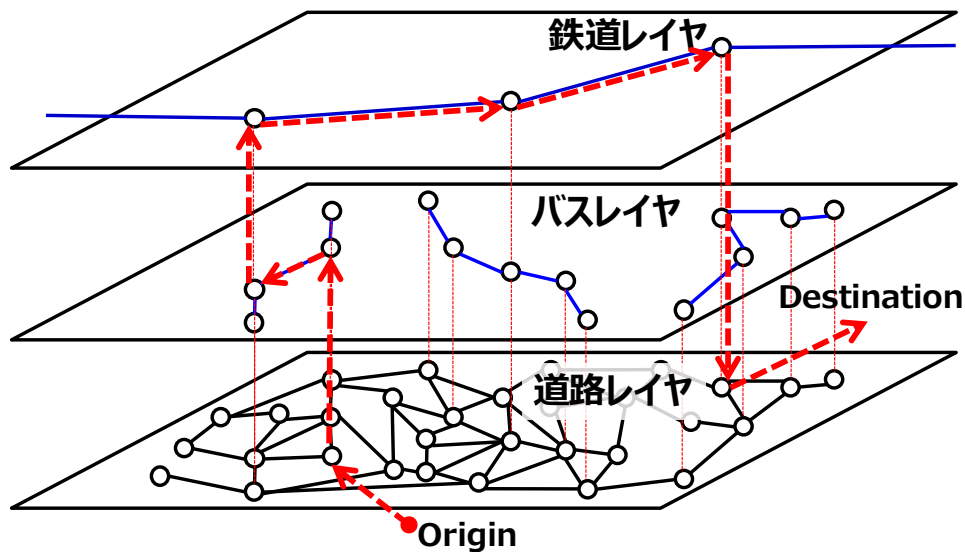


図 3-10 交通レイヤーの構成と統合

なお，本研究では，OSM に記録された経路情報をベースに経路ネットワークを構築しているが，一部の石段や細道など，実地には存在しても OSM 上で未整備な経路が含まれる可能性がある．本方式の OSM データの加工を行えば，このような石段や細道の対応も可能となるので，今後は現地調査を実施し，必要に応じて OSM への反映も検討したい．

(c) 地図データの DB インポートとレイヤー構造の活用

編集完了後の OSM ファイルは，osm2pgsql などのツールを用いて PostGIS 対応のデータベースにインポート．各 way には，交通モードごとに異なる「コスト（重み）」を設定し，これをエージェント属性に応じて変更可能とした．例えば，高齢者の歩行移動には坂道の通行コストを高く設定し，バス非利用者にはバスレイヤーを除外した経路探索が行えるようにしている．

(d) 個別エージェント地図の生成

本研究では，エージェント属性に応じて異なる地図を利用する「個別エージェント地図」を採用．バスを利用しないエージェントにはバスレイヤーを除外した地図を適用し，また，交通機関ごとの way コストを一括変換することで，各エージェントに応じた最適経路計算を実現している．

(e) 作成手順の概要

- (Step 1) OSM から対象エリアの地図データをダウンロード
- (Step 2) JOSM で開き，ノード追加・ウェイ結線・経路修正を実施（図 3.10）
- (Step 3) 編集済みデータを保存後，必要に応じて差分チェックを実施

(Step 4) osm2pgsql 等を用いて PostgreSQL+PostGIS 環境へインポート

(Step 5) 各 way に交通モード別のコストを設定

(Step 6) 属性に応じた地図切替・経路探索の準備完了

このように、標準の OSM データの限界を克服し、分析目的に応じた柔軟な経路探索を実現するための地図構成と DB 整備が、本プログラムの基盤となっている。

(6) 計算最適化のための空間分離処理

対象エリアから外部へ向かう経路と、外部からの経路、内部のみの経路を明確に分離し、それぞれに異なる探索処理を適用することで、計算負荷を軽減している。図 3-11 に空間分割の概念図を、図 3-12 に移動パターン分類と処理方針を示す。



図 3-11 空間分割の概念図

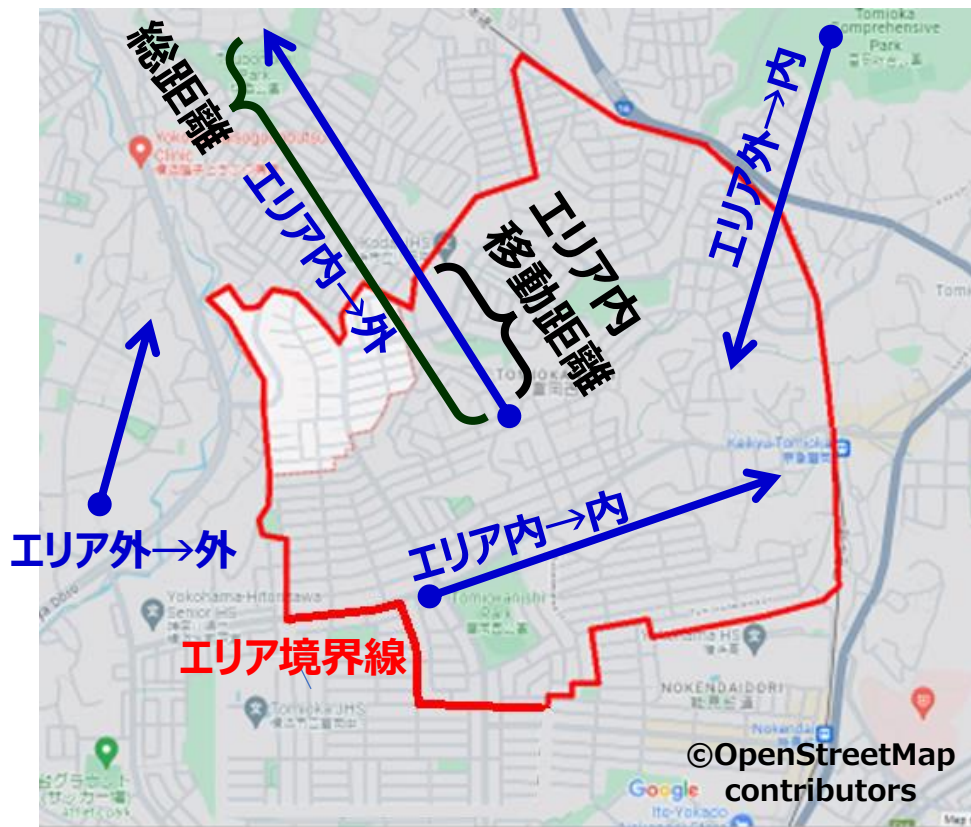


図 3-12 対象エリアにおける移動パターン分類と経路計算分離の概念図

対象エリア内とその周辺エリアとで経路計算を分離する手法を導入した．対象エリア内では正確な経路計算を維持する一方，周辺エリアにおける経路は簡略化された推定により処理することで，全体の負荷を大幅に軽減している．この分離により，対象エリアの局所的な分析精度を損なうことなく，不要な外部エージェントの計算処理を抑制することが可能となった．エージェントの移動は，以下の4つのパターンに分類される：(a) 対象エリアから周辺エリアへの移動，(b) 周辺エリアから対象エリアへの移動，(c) 対象エリア内での移動，(d) 周辺エリア内のみの移動．これらのうち，パターン (d) は地域交通の評価との関連性が低いため，分析対象から除外される．

本研究ではエージェントの移動方向に応じて複数の地図データセットを動的に切り替える機構を実装した．各エージェントの経路はダイクストラ法を用いて算出され，定時バスおよび乗合タクシーの時刻表にも対応している．

バス，乗合タクシー，鉄道以外の交通手段に関しては，対象エリアの境界から目的地までの直線距離に，実際の経路の回り道を反映する冗長係数を乗じて移動距離を推定する．移動時間は，この補正距離を選択された交通手段の平均速度で割ることにより算出される．

周辺エリアにおける鉄道移動に関しては，詳細な経路探索を回避する代替手法として，バ

イリニア補間を用いた推定法を適用している（図 3-13）。これは、代表駅間の事前計測データを用いて、空間的な連続性と方位依存性を保ったまま、移動時間や距離を高速に見積もるものである。これにより、精度を犠牲にすることなく計算時間を極端に圧縮することを可能とした。

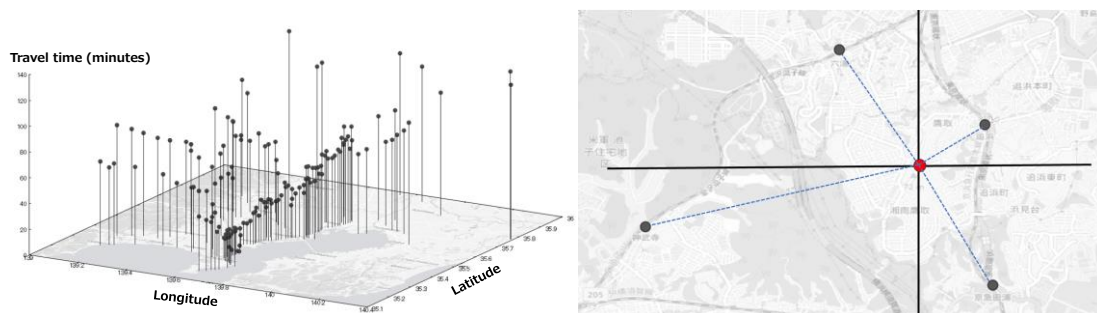


図 3-13 対象エリア外移動時間の空間的分布とバイリニア補間による時間推定手法

使用するマップデータセットごとにノード数とリンク数を把握し、実行時間を理論式としてモデル化している。OSM 由来のノード数 V およびエッジ数 E （経路区間に対応）に基づく基本的な計算量は $O(V^2)$ だが、優先度付きキュー（priority queue）の活用により、実際の計算複雑度は $O((V+E)\log V)$ に改善されている。

ただし、実行時間には PostGIS 環境におけるクエリ処理や I/O 遅延といったオーバーヘッドの影響も加わるため、以下のようなモデル式で総実行時間を表現する：

$$T(V,E) = \alpha (V+E) \log V + \beta \quad (1)$$

式 (1) において、頂点それぞれに対する優先度キュー操作（取り出し・更新）に $\log V$ の計算がかかり、エッジもより短い経路が見つかった場合にキュー更新の計算が必要となるため、全て合わせると $(V+E) \log V$ となる。 α は実装定数（計算機性能やデータ構造実装に依存する比例定数）で、 β は固定コスト（初期化処理や I/O 準備など）でなる。この式は、線形探索による $O(V^2)$ の計算を優先度キュー（二分ヒープを使用）により $O((V+E) \log V)$ に最適化したものである。

α および β の定数は実測値から導出する。これにより、事前にデータ構成に基づいた時間予測が可能となり、シミュレーション計画の立案や実行制御の基盤となる。

このように、「エージェントトリップデータ生成プログラム」は、確率論的に決定された行動構造を前提に、エージェント単位の空間・時間・行動の再現を実施する。これにより、地域の構造的接触（共時空間）や繰返し出会い（RCM）を支えるトリップデータが生成され、後続の分析フェーズの基盤が形成される。

3.5.3. 共時空間抽出プログラムの構成と処理

本節では、エージェントトリップデータ生成プログラムによって得られた全エージェントの行動履歴をもとに、空間的・時間的な重なり（共時空間）を抽出するための「共時空間抽出プログラム」について、その設計と処理構成を説明する。

本プログラムは、同一時刻帯において一定範囲内に存在するエージェントの集合を「空間的な共在」として捉え、これを DBSCAN（Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise）によってクラスタ化するものである。これにより、任意のエージェント間の密集状態を時間軸を通じて定量的に抽出し、特定時刻・特定地点における住民の接触構造の可視化を可能にする（図 3-14）。

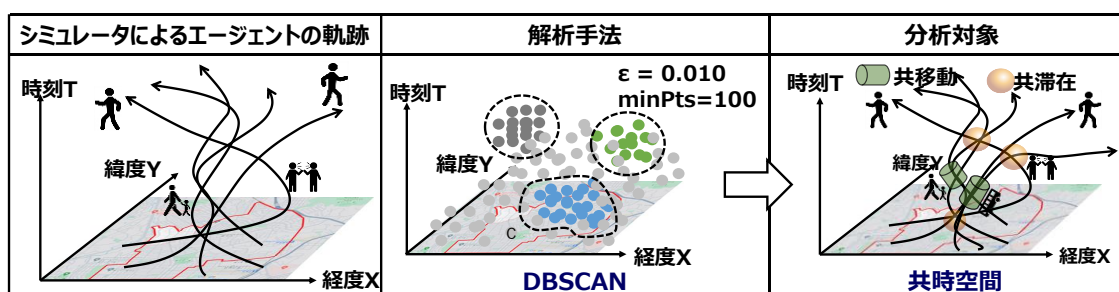


図 3-14 エージェントのトリップ情報に基づく共時空間の抽出フロー

3.5.3.1. DBSCAN の概要

共時空間とは、「1.4 用語の定義」で述べた通り、複数の主体が空間的に近接した場所において、時間的にも重なりを持って存在している状態を指す。これを、主観的な観点から言えば、「互いの存在を認識し得る状態」、あるいは、「接触の可能性があると解釈されること」のように表現することができるが、本研究の目的は、地域住民の接触機会の定量化手法の開発である。それゆえ、ここで言う「定量化」とは、主観的な判断に依存せず、地域の条件にも左右されずに、一意に数値的に求めることができるものである必要がある。

そのため本研究では、共時空間の状態を定量的に抽出するために、エージェントの位置と時刻のデータから空間的・時間的に密集している集団を検出するクラスタリング手法を導入する。検討対象とした手法には、もっとも基本的かつ広く用いられている k-means 法、また、空間上の点の密度を連続関数として推定するカーネル密度推定（Kernel Density Estimation, KDE）などがある。

k-means 法はクラスタ数をあらかじめ設定する必要がある上、クラスタの形状が球状（均一な分布）であるという仮定に基づいているため、現実のように通路や建物の構造に沿って人が不規則に分布するようなケースでは、精度の高いクラスタリングが困難となる。また、KDE による密度推定は時空間的な集積を連続値で表現する点では有効であるものの、「共時

空間を構成する具体的な集団（人の集合）」を抽出するには不向きである。

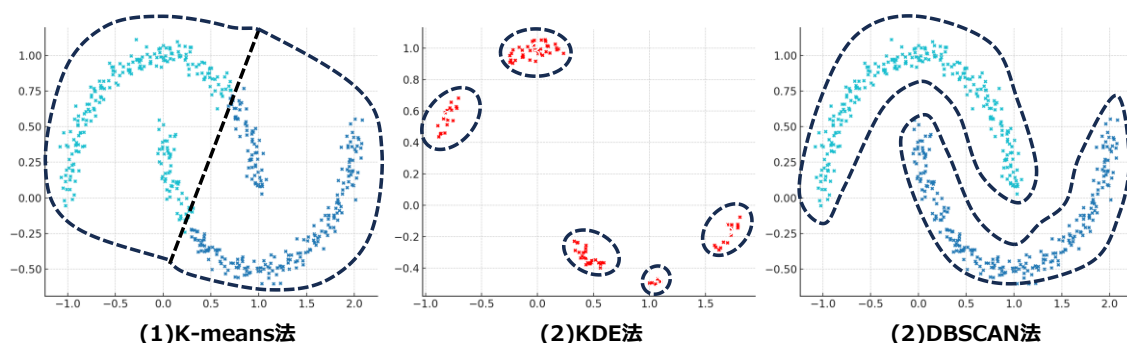


図 3-15 クラスタリング手法による 2 次元分布の比較（k-means, KDE, DBSCAN）

これらに対して、本研究で採用した DBSCAN（Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise）は、クラスタ数の事前指定が不要であり、任意の形状のクラスタ（直線的・曲線的・細長いなど）を検出できるため、実際の人の動きや滞在パターンを検出に対して高い柔軟性を持つ。また、低密度な領域にあるデータポイントをノイズとして明示的に除外できる点も、集団としての共時空間を抽出するうえで有用である。加えて、DBSCAN では 2 つのパラメータ（近傍距離 Epsilon および最小点数 minPts）により精度調整が可能であり、実験的に最適な閾値を見出すことで、多様な地域環境における共時空間の検出が可能となる。

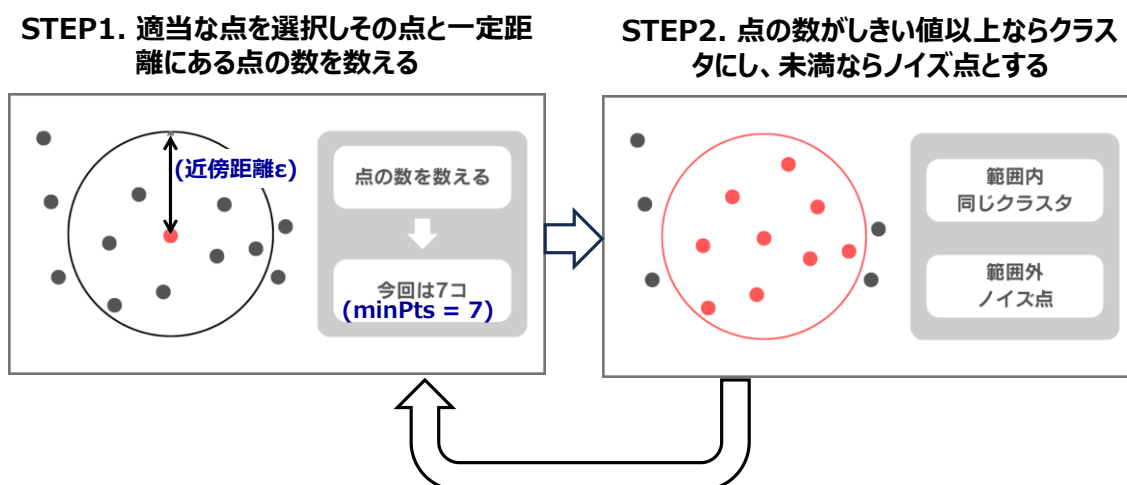


図 3-16 DBSCAN 法におけるクラスタ形成の原理（ ϵ -近傍と minPts の概念）

このように、k-means 法や KDE のような代表的手法と比較した際に、共時空間という現

象の定義に最も適合し、かつ定量的な手法としての汎用性と再現性を両立できる点から、DBSCAN を本研究の基盤手法として採用することとした。

3.5.3.2. DBSCAN で用いる入力データと出力データ

本研究で採用した DBSCAN において必要となる入力データと出力データを以下に列挙する。

(1) 入力データ

全エージェントのトリップデータ（緯度・経度・滞在開始時刻・滞在終了時刻を含む）
共時空間抽出条件（時間間隔 Δt , 空間半径 ϵ , 最小人数 minPts ）

(2) 出力データ

抽出された共時空間クラスター群（時刻, 中心座標, 含まれるエージェント ID の集合）
各クラスターの特性情報（密度, 継続時間, 最大範囲など）

3.5.3.3. 主な処理構成

(1) 三次元空間における時刻スライス処理

本プログラムでは、まずエージェントごとの滞在データ（位置と時刻）を、一定時間幅（30 秒）で時刻スライスし、各スライス内に滞在中の全エージェントの座標データを抽出する。ここで処理対象となる空間は、時刻・緯度・経度の 3 軸からなる三次元空間であり、本研究の共時空間検出はこの三次元空間上に DBSCAN（Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise）アルゴリズムを適用することで実現される。

(2) DBSCAN によるクラスタリングとパラメータの構造的設計

本研究では、DBSCAN に必要な 2 つのパラメータである「近傍距離 ϵ (epsilon)」および「最小点数 minPts 」を、理論的要件と観測解像度、そして社会的意味づけに基づいて一貫して設定している。空間軸は 1 メートル単位、時間軸は 30 秒単位となるようスケーリングを行った上で、以下のような代表設定を採用している。

- $\epsilon = 0.010$: 空間約 10 メートル, 時間約 14 分に相当

- $\text{minPts} = 100$: 33 人のエージェントが 1.5 分以上共在したことを反映

この設定により、偶発的なすれ違いや短時間の通過を除外し、空間的近接・時間的重なり・人数的規模という三要素を同時に満たす「意味ある共時空間」を、構造的に定義・抽出することが可能となる。また、地域間・時系列間の比較可能性を確保するため、データ駆動型の最適化（例：k-distance 法）は採用せず、一貫したパラメータを用いている。

(3) ϵ の補助的設定と高通過空間への対応

通過交通の多い道路上では、実際以上にクラスターが肥大化する傾向がある。この現象への対応として、補助的に $\epsilon = 0.005$ （約 6 メートル, 6 分）を併用し、すれ違いや一時的接近によるノイズクラスターを抑制している。これにより、通過空間と滞在空間を構造的に区別し、共時空間の質的分類を補完している。

このように、本プログラムは空間・時間・人数という三条件を同時に満たす「意味ある共在構造」の検出を可能とする処理であり、マルチエージェントによる社会的接点の構造可視化において不可欠な役割を果たしている。

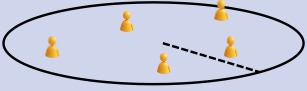
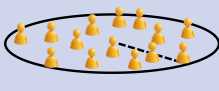
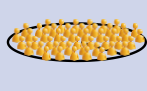
パラメータ	$\varepsilon = 0.025$ / minPts = 100	$\varepsilon = 0.010$ / minPts = 100	$\varepsilon = 0.005$ / minPts = 100
観測対象の距離	30メートル	12メートル	6メートル
維持される時間	36分	14分	7分
1人あたりの半径	約24m	約3.8m	約0.9m
概要	半径30メートル以内に、常に4人以上いる状態が30分以上、継続している	半径10メートル以内に、常に10人以上いる状態が14分以上、継続している	半径6メートル以内に、常に40人がいる状態が7分以上、継続している
状態イメージ	広範囲で緩やかに人が集まる / 空間全体のにぎわい感 	他人の顔が見える程度の広さ / にぎわいは軽め 	密集、強い混雑感 / 身体接触の可能性 

図 3-17 DBSCAN パラメータ設定ごとの共時空間構造の比較

3.5.4. RCM 計算プログラムの構成と処理

RCM 計算プログラムは、本システムにおける分析の最終工程に位置付けられるモジュールであり、エージェント同士の「反復的かつ偶発的な接触機会（RCM）」を抽出・定量化する処理を担う。これは、共時空間とは異なり、時間をまたいだ複数回の出会いを蓄積的に捉える構造である。

3.5.4.1. RCM の概要

RCM とは、「1.4 用語の定義」にて述べた通り、「日常生活における移動や滞在の中で、同一人物と複数回にわたり偶然に出会う時間または機会の数」である。共時空間が特定時刻における共滞在・共移動の“密度的広がり”を定量化するのに対し、RCM は特定のエージェント間における“反復的な出会いの蓄積”を検出対象とする。したがって、RCM は時間軸に沿った出会いの再現構造に注目し、「日常性」「偶発性」「継続性」を軸とした「出会い」を測定するための指標である。

3.5.4.2. RCM で用いる入力データと出力データ

本研究で採用した RCM において必要となる入力データと出力データを以下に列挙する。

(1) 入力データ

共時空間クラスタ情報（クラスタ ID、時間帯、位置座標、構成エージェント ID）

各エージェントの時刻別空間滞在情報（時間、緯度、経度、ID）

(2) 出力データ

RCM 接触ペア一覧（エージェント ID の組，RCM 発生回数，日付，平均間隔など）

RCM 強度マトリクス（頻度，持続性，発生密度による重み付け）

空間分布・属性別ヒートマップ・RCM ネットワーク構造図

3.5.4.3. 主な処理構成

(1) RCM の計算課題と定義の精緻化

RCM は，全エージェント間のあらゆる組み合わせを対象に，時空間的な共在履歴を比較し，その中から「同一の相手と，時間・場所をずらして複数回すれ違った」記録を抽出するプロセスである．しかしながら，エージェント数が数千から数万に及ぶ本研究のような全住民規模のシミュレーションにおいて，全組み合わせの接触履歴を直接比較することは，計算負荷・メモリ使用量の両面において現実的ではない．

(2) 時空間キューブによる環境主導型記録構造の導入

時空間キューブとは，1 分間×10m×10m の時空間セルからなる時空間の直方体である．本研究では，この問題に対処するため，エージェントに履歴を保持させるのではなく，緯度・経度・時間の三次元空間を 1 分×10m×10m の格子（時空間セル）に分割し，各キューブがその時間帯に進出したエージェントの ID を記録する方式を採用する（図 3-18）．

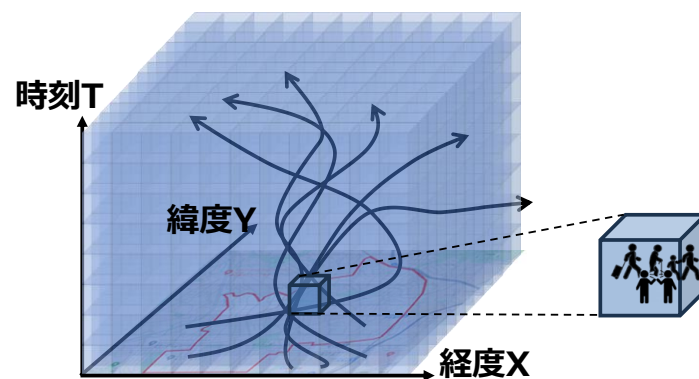


図 3-18 時空間キューブによる移動軌跡と接触履歴の記録構造

この構造により，1 分間内に同一キューブに共存したエージェントペアを簡易かつ高速に抽出可能となり，全履歴比較の必要を回避できる．これは，「空間側に履歴を残す」戦略であり，接触の持続・再発生の構造を効率的に把握することを可能とする．

(3) 時空間キューブの時空間セルの分割単位の設定根拠

時間：1 分間

心理学実験においては，「選択的注意」や「単純接触効果（mere exposure effect）」を通じ

て、人が無意識的に他者を認識することが報告されている¹⁴⁾¹⁵⁾⁷⁾。1分という時間単位は、たとえばエレベーターや電車内での短時間の共滞在によって「見覚えがある」「再び見かけた」といった認知が形成される時間である。また、レジ待ちや信号待ちといった日常的な「停止」状態においても、1分程度の共滞在は頻繁に発生しており、他者の存在を無意識に意識し始める時間であることが生活実感からも裏付けられる。さらに、人が移動中に他の行為に注意を向けている場合でも、その間に一度は「選択的注意」および「周辺視野」によって周囲の他者の存在を認識していることが報告されている⁷⁾。これらの知見に基づき、本研究では、他者認知が成立する最小時間単位として1分間を設定した。

空間：10メートル四方

10メートルという空間単位は、人が他者と「同じ空間にいる」と社会的に認識可能な範囲の上限であり、心理学実験においても頻繁に用いられる距離である^{16) 17)}。加えて、本研究の対象である歩行移動圏における平均速度や、位置記録精度（例：GPSの空間分解能）との整合性を考慮すると、10メートル四方という粒度は、混雑空間や施設内行動における意味のある接近行動を抽出する上で、実用的かつ妥当な単位である。

本研究では、この10メートルという距離を、RCM（Repeated Chance Meetings）検出における空間的接近の閾値として設定し、時空間キューブの時空間セル内に同時に存在するエージェントのペアを「単純接触」とみなす。さらに、この空間単位に1分間の時間分割を組み合わせることで、視覚的接触が成立しうる時間・空間の交差領域における反復的接近を効率的かつ定量的に把握可能としている。

(4) RCMの抽出アルゴリズムと出力構造

記録されたキューブ内のエージェントIDペアを走査し、「同一ペアが異なるキューブ・異なる時刻で再出現している」かどうかを照合することでRCMを抽出する。具体的には、各ペアについて：

- 接触回数（共在回数）
- 特定交通機関での接触日数
- RCMペアを生成するペアの属性

などを計算し、それらの値を「RCM強度」としてスコア化して出力する。この結果は、空間ヒートマップやネットワーク分析に用いられ、地域における「弱い社会的接点の構造」を可視化する。

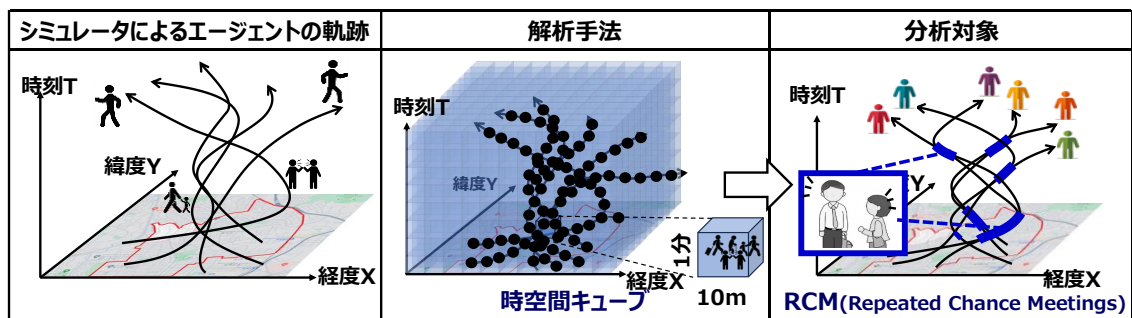


図 3-19 エージェントのトリップ情報に基づく RCM の抽出フロー

このように、RCM 計算プログラムは、個々の出会いを一過性の現象として扱うのではなく、都市生活における繰り返し接触の構造として定量化する機能を担う。都市における「出会いのインフラ」としての交通サービスや公共空間の社会的役割を明らかにする上で、本プログラムは不可欠な役割を果たす。

4. 住民接触機会解析システムの開発と動作検証

本章では、第3章で設計した「住民接触機会解析システム」の各プログラムが適切に動作し、想定通りの出力が得られるかを検証する。検証対象は、2018年に実施されたPT調査票2,093件のPT調査票のデータであり、人口スケーリングや将来シナリオは導入せず、元データに基づく単日・単純構成の環境下で実行を行う。

まず、エージェント生成・トリップデータ生成・共時空間抽出・RCM計算の各プログラムが連携して動作することを確認する。次に、共時空間やRCMが、交通結節点や公共空間で適切に検出されているかを可視化を通じて検証する。さらに、代表的なエージェント間の接触事例を抽出し、時空間的な接近と属性との対応関係を確認する。

これにより、解析システム全体の基本機能が正常に構成されていることを確認するとともに、接触構造の抽出精度の初期評価を行う。本研究で提案する手法の基本的な妥当性を実証する土台を築く。

4.1. 実行条件と使用データ

本節では、本章で検証に用いる実行条件および入力データの構成について示す。

4.1.1. 対象エリア

(1) 対象エリア

本システムの対象エリアは、横浜市金沢区に位置する京急富岡駅西側の住宅地である。当該地域は複数のバス路線によって一定の交通網が形成されているものの、バス停と鉄道駅の間アクセス困難な区間が存在し、移動に制約がある地点も見られる。

特筆すべき地形的特徴として、駅からの標高差が70メートルを超える高台が存在しており、高齢者や歩行利用者にとって移動の障壁となっている。この地域には、「富1系統」から「富6系統」までのバス路線（図4-1参照）が運行しており、住民の主要な移動手段として機能している。

2018年の国勢調査によれば、当該地域の人口は18,040人であり、年齢分布や死亡率は全国平均とほぼ同水準である。本研究では、この地域特性を反映したエージェント生成と移動行動の再現を行う。

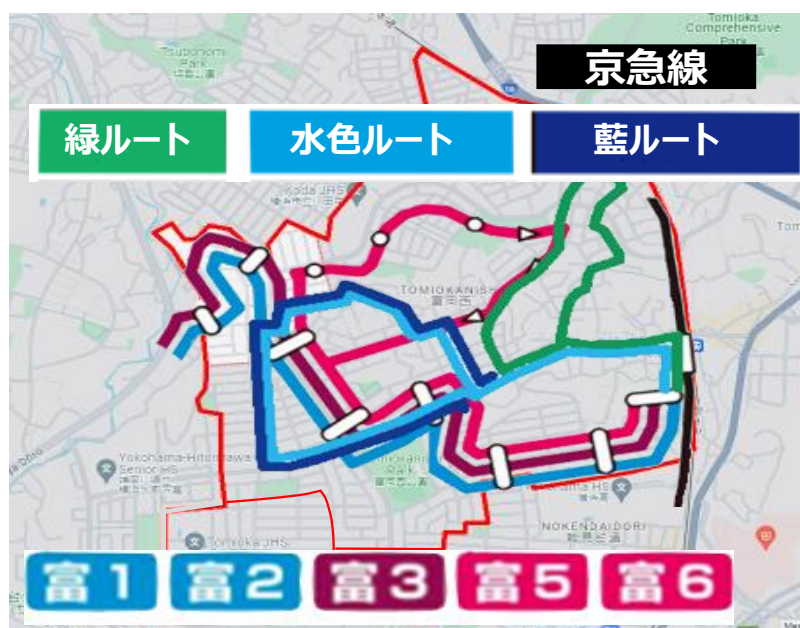


図 4-1 対象エリアの地図と公共交通網

(2) 対象エリアの PT 調査の概要

2018 年 9 月、本研究の対象エリアにおいて PT 調査が実施され、6,628 通の配布に対し、1,357 世帯から 2,093 件の回答が得られた。調査票は、「移動日誌」と「質問票」の 2 部構成となっており、年齢・性別・世帯構成などの属性情報に加え、移動手段、目的、出発・到着時刻、移動距離といった詳細な行動データが収集された。

特に公共交通利用者については、乗車駅および降車駅、利用目的が記録されており、バスや鉄道の利用実態を把握する上で有用な情報が含まれている。また、自由記述欄により、補足的な意見や状況も収集されている。質問票にはさらに、移動頻度、よく利用する駅やバス停、目的地などの情報も含まれており、日常的な移動習慣を把握することが可能である。

調査結果からは、住民の移動範囲が東京 23 区北部から三浦半島南部にまで広がっていることが明らかとなった（図 4-2）。これは、地域外との移動も考慮した MAS の設計が必要であることを示している。

なお、当該 PT 調査票には調査実施日の曜日（平日・休日）が記録されているため、今後の展開としては、平日と休日を分けた別シナリオを構築することも可能である。これにより、平日中心の解析から一歩進め、生活パターンの異なる週末の接触機会に関する検証も可能であると考えられる。

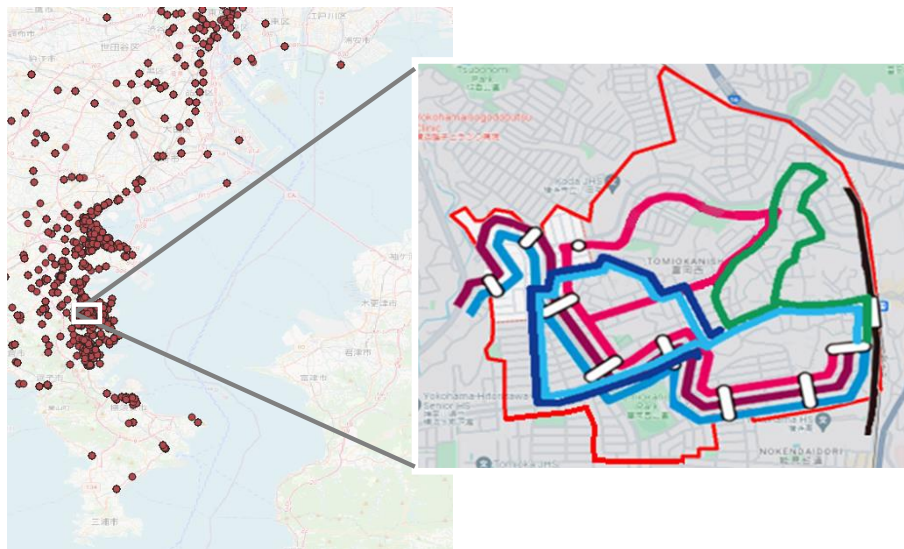


図 4-2 エージェントの活動範囲

(3) 対象エリア選定の理由

本研究で京急富岡地区（小規模地域）を対象とした理由は、以下の 3 点に基づいている。

第 1 に、京急富岡駅が対象エリアと周辺エリアを接続する交通結節点として機能しており、駅を起点とした多方向への移動が観察できる点で、交通構造と移動行動の分析に適している。

第 2 に、地域全体としてはバスによる公共交通が提供されているものの、特定の住宅街ではバス路線が不十分である、あるいは、限られた系統しか運行していないといった交通空白が存在する。このような空間的不均衡は、エリア内移動の制約として重要である。

第 3 に、当該エリアでは過去に本学が実施主体となって行った乗合タクシーの実証実験が行われており、前述のバス網の不十分さを補完する手段として導入された経緯がある。この乗合タクシーの導入により、住民の移動行動にどのような変化が生じたかを定量的に評価する機会が得られる点も、本研究において重要な意義を持つ。

以上のように、本エリアは鉄道拠点、公共交通の空白、補完施策の実績という 3 要素を併せ持ち、都市周縁部に特有の課題が集約された分析に適したモデル地域であるため、本研究の対象として選定した。

4.1.2. PT 調査の概要

本研究で用いた PT 調査は、京急富岡駅周辺の地域住民を対象に実施されたものであり、個人の日常的な移動行動を把握することを目的として構成されている。調査票は主に 3 部構成で構成されており、各個人の基本属性、移動記録、意識・評価に関する情報が網羅的に記録されている。

第1部は、調査対象者の性別・年齢・職業・通勤通学先など、個人属性に関する質問で構成されている。この情報は、個人単位でのエージェント属性を定義する際の基本データとなる。また、各回答は5桁の個人ID (IDV_id) で識別され、匿名性を確保したうえでデータベース化されている。

第2部は、当該調査日の移動行動に関する詳細なトリップ情報を記録する構成となっており、出発地、目的地、出発時刻、到着時刻、目的、交通手段などが時系列で記録されている。交通手段については最大10種類以上がコード化されており、歩行、自転車、鉄道、バス、自家用車、乗合タクシーなどが含まれる。目的地の記述については自由記述形式も含まれており、補助的に内容推定や地理情報との対応付けが求められる。

第3部および第4部では、住民の交通手段選好、地域交通への評価、改善希望、また自由記述による意見など、主観的評価や意識に関する情報が記録されている。これらは本研究における定量的指標算出には直接用いないが、今後の拡張的分析や結果の社会的解釈において重要な補助情報となりうる。

■性別、年齢、居住地域 ■外出の頻度 ■目的地 ■目的地までの交通手段
■外出の困難さ ■最寄駅までの移動手段（徒歩、自動車）

図 4-3 本研究で使用した PT 調査表（集計用コメント付き）

4.1.3. 使用データの構成と項目定義

本項では、第3章にて説明した「エージェント生成プログラム」「エージェントトリップデータ生成プログラム」「共時空間抽出プログラム」「RCM 計算プログラム」で生成されるデータを記載する。

4.1.3.1. エージェント生成プログラムで生成されるデータ

はじめに、PT 調査票のデータを用いて、対象エリアの住民属性およびトリップ情報を集計し、PostgreSQL データベースに格納する。このデータをもとに、エージェント生成プログラムが、各エージェントの基本情報（出発座標、到着座標、出発時刻、エリア境界座標、目的地滞在時間、目的地カテゴリ）を必要数分生成する。

「エージェント生成プログラム」はエージェントを生成または量産する。このプログラムは、元となるエージェント情報に対して所定の範囲内で差異（例：同一町内における出発地点の微調整、出発時間のわずかなずれ、同カテゴリ内の異なる目的地の設定）を加え、振る舞いの異なるエージェントを生成する。生成結果は CSV 形式で **output.csv** に保存される。

表 4-1 に、ファイル構成の概要および代表的な記録例を示す。

表 4-1 **output.csv** の一部

id	act_id	出発地点 (ox, oy)	到着地点 (dx, dy)	出発時刻	到着時刻	滞在時間	移動 手段	目的地 カテゴリ
100010 01109	1	139.620826, 35.366502	139.387385, 35.442985	13:07:47	14:21:23	0.78 h	TRN	14（職場）
100010 01110	2	139.387385, 35.442985	139.620826, 35.366502	15:08:23	16:21:58	0 h	TRN	0（帰宅）

4.1.3.2. エージェントトリップデータ生成プログラムで生成されるデータ

「エージェントトリップデータ生成プログラム」は「エージェント生成プログラム」で作成された **output.csv** を読み込み、各エージェントを作成した後、PT 調査票に基づく確率モデルに従って行動を開始させる。エージェントは、GIS データベース、地物データベース、時刻表データベースに基づいて移動を行い、1 日分の全エージェントのトリップデータを生成する。これらは CSV ファイル（例：agent_track_2018_13.csv は 13 日目の全エージェントの行動記録）として保存される（表 4-2）。

表 4-2 **agent_track_2018_13.csv** の一部

個体ID (idv_id)	経度 (lon)	緯度 (lat)	時刻 (time)	交通手段 (mode)
10107033393	139.6175	35.36488	8:47:30	BUS
10107033393	139.6172	35.36482	8:48:00	BUS
10107033393	139.6172	35.36481	8:48:30	BUS
30002034373	139.6183	35.36938	13:40:30	WALK
30002034373	139.6183	35.36916	13:41:00	WALK
30002034373	139.6184	35.36895	13:41:30	WALK

4.1.3.3. 共時空間抽出プログラムで生成されるデータ

「エージェントトリップデータ作成プログラム」が生成したトリップデータを入力として、「共時空間抽出プログラム」が、時間的かつ空間的に重なりのある時空間を抽出し、その結果を CSV 形式（例：cluster5.csv は 5 番目に検出された共時空間の座標情報）で保存す

る.

表 4-3 cluster5.csv の一部

個体ID (idv_id)	X座標 (lat_normalized)	Y座標 (lon_normalized)	時間 (time_normalized)	移動手段 (mode)
70002014100	0.97	0.42	0.58	WALK
50003032676	0.98	0.42	0.58	WALK
10083034865	0.98	0.41	0.58	WALK
40020031326	0.98	0.40	0.57	DRV
50007033695	0.98	0.40	0.58	BUS
50007033695	0.98	0.40	0.58	BUS
10083034865	0.98	0.40	0.58	WALK

4. 1. 3. 4. RCM 計算プログラムで生成されるデータ

「エージェントトリップデータ作成プログラム」が生成したトリップデータを入力として、「RCM 計算プログラム」が、同一人物との繰り返し共時空間の発生頻度を分析し、各エージェントペアにおける移動手段別の RCM カウントおよびフロー情報を、all_encounter_count_2018.csv として出力する (表 4-4)。

表 4-4 all_encounter_count_2018.csv の一部

エージェント1ID	エージェント2ID	接触回数 (RCM)	交通手段構成 (エージェント1)	交通手段構成 (エージェント2)
10105034865	10146034865	2398	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 22	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 22
10105034865	10114034865	2289	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 21	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 21
10075034865	10114034865	2289	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 21	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 21
10004034865	10075034865	2289	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 21	WALK: 0, BIC: 0, BUS: 0, ... TRN: 21

(エージェントペア間における RCM (繰り返し共時空間) 発生回数と、各回における交通手段の内訳 (all_encounter_count_2018.csv より抜粋)。TRN=電車, BUS=バス, DRV=自家用車, BIC=自転車, WALK=歩行)

4. 1. 4. システム実行環境と処理時間の最適化

本節では、本解析システムの処理時間を大幅に短縮するために講じた最適化手法について述べる。

特に、地図データを空間的に分割し、処理単位を細分化することで、従来の全体処理と比

較して計算時間を最大 1/165 にまで削減することに成功した。

これに加え、複数台の PC による並列実行環境の構築も、処理効率の向上に寄与している。

本節ではまずソフトウェア的な高速化手法を示した後、使用したハードウェア環境について概説する。

これにより、本システムのスケーラビリティと現実的な運用可能性を明らかにする。

4.1.4.1. ソフトウェア最適化による処理時間短縮

第 3.5.2.2 (6) で述べた計算負荷軽減手法に基づき、本章のシミュレーション環境において、実際の経路計算時間のモデル化と短縮効果について定量的に検証した結果を報告する。

(a) 計算時間モデルとデータセット構成

このシミュレーションにおいても、対象エリア内とその周辺エリアとで経路計算を分離する手法を導入し、それを実際の GIS データベースを用いて計測を行った。実行時間には PostGIS 環境におけるクエリ処理や I/O 遅延といったオーバーヘッドの影響も加わるとして、 $T(V,E) = \alpha (V+E) \log V + \beta$ で総実行時間を表現できると仮定する。

keikyu_db データセットは、対象エリアおよび周辺エリアを含む一般的な道路ネットワーク情報を有しており、tomioka_db_f データセットは、対象エリアのみの道路ネットワーク情報を有している。検証では、10,000 件のランダムな出発・到着ノードの組み合わせに対して最短経路計算を実行し、その平均実行時間を測定した。結果の概要を表 4-5 に示す。

表 4-5 データベースのパフォーマンス結果

DB テーブル名	ノード数	経路数	平均測定時間 (秒)
keikyu_db	366, 798	504, 186	1. 1889
tomioka_db_f	999	1, 353	0. 0069

(b) モデル定数の導出と検証

これらの結果に基づき、計算時間モデルの定数として $\alpha = 1.061 \times 10^{-7}$ and $\beta = 0.005254$ を導出した。このモデルの精度をさらに検証するために、次の 3 つの追加データセットに対して、実測値と理論値による経路計算時間を比較した。

このモデルの精度をさらに検証するために、次の 3 つの追加データセットに対して、実測値と理論値による経路計算時間を比較した。

表 4-6 他のデータベースのパフォーマンス結果

DB テーブル名	構成内容	ノード数 (V)	エッジ数 (E)	実測平均時間 (ms)
tomioka_db_d	一般道路＋定時バス路線	28,500	65,300	162.4
tomioka_db_e	上記＋乗合タクシー路線	34,200	78,100	214.6
keikyu_db	京急沿線を含む広域ネットワーク	75,000	152,000	452.8

$\alpha = 1.061 \times 10^{-7}$ と $\beta = 0.005254$ をあてはめて、計算結果を算出した結果を以下の表に示す.

表 4-7 データベースのパフォーマンス結果と計算結果

DB テーブル名	ノード数 (V)	エッジ数 (E)	実測平均時間 (sec.)	計算結果 (sec.)
keikyu_db	366,798	504,186	1.1889	1.1889
tomioka_db_d	1,231	1,607	0.0073	0.0074
tomioka_db_e	1,180	1,715	0.0076	0.0074
tomioka_db_f	999	1,353	0.0069	0.0070

表 4-7 の結果から、実測平均時間と、計算結果が、 10^{-4} レベルの精度で一致しており、4つの異なるデータセットを用いた回帰分析により、本モデルの統計的妥当性が確認された. 決定係数は $R^2 = 1.000$ であり、 α に対する 95%信頼区間は $[1.05999 \times 10^{-7}, 1.06133 \times 10^{-7}]$, β に対する信頼区間は $[0.004879, 0.005629]$ であり、提案モデルがノード数およびエッジ数に基づいて経路計算時間を高い精度で推定できることを示している. 特に、対象エリアと周辺エリアの経路計算を分離することで、シミュレーションの効率が大幅に向上することが明らかとなった.

(c) 1/165 の計算時間削減効果

このモデルにより、地図データ構造の違いが計算時間に及ぼす影響を理論的に予測できるようになった. 特に、対象エリアと周辺エリアの経路計算を分離し、対象エリアには簡略化された地図データセットを用いることで、経路計算時間は劇的に短縮された. 具体的には、keikyu_db (V = 366,798, E = 504,186) における実行時間 1.1889 秒に対し、tomioka_db_f (V

=999, E=1,353) では約 0.0072 秒となり, 約 1/165 の計算時間削減ができていることを確認した (図 4-4)。

対象地域			
手法	ダイクストラ計算 (エリア内は追加ルート+ダイヤ付き)		バイリニア補間計算 (方向補正付き)
計算時間	1.1889 秒/トリップ^o		0.0072 秒/トリップ^o

図 4-4 本モデルによる経路計算時間削減の効果

4.1.4.2. ハードウェア構成と実行環境

本研究で構築した住民接触機会解析システムは, 複数のプログラム群と外部データベースを連携させて構成されており, 現実的な運用に耐えうる処理時間を実現するために, 分散的な実行体制が採用されている。

使用した実行環境は, Windows 10/11 を搭載した計 3 台の PC で構成されており, 主なスペックは以下の通りである:

- **PC1**: Intel Core i5-4670 3.4GHz (4 コア), メモリ 16GB
- **PC2**: AMD Ryzen 9 4900H 3.3GHz (8 コア), メモリ 32GB
- **PC3**: Intel Core i7-4770 3.4GHz (4 コア), メモリ 16GB (補助用途)

これらの PC 上で, 2 つの PostgreSQL データベースを並列稼働させている。

1 つは PT 調査票に基づく属性・行動データを格納する「PT データベース」, もう 1 つは OpenStreetMap (OSM) 由来の GIS データを編集・拡張した「GIS データベース」である。後者には, 交通機関ごとの路線レイヤーやノード接続構造などが含まれ, エージェントの移動経路探索に活用される。

実行される主要なプログラムは以下の 4 種であり, いずれも Go 言語で開発されている。コードサイズは main 部分で数千ステップ程度と軽量である。

- エージェント生成プログラム (約 2kstep)
- エージェントトリップデータ生成プログラム (約 3kstep)
- 共時空間抽出プログラム (約 1kstep)
- RCM 計算プログラム (約 1kstep)

これらを用いて, 約 18,000 人分のエージェントを 30 日間にわたってシミュレーションす

る構成で検証を行った。各プログラムの実行時間の目安は以下の通りである：

表 4-8 各プログラムの実行時間（目安）

プログラム	実行時間（目安）	備考
エージェント生成プログラム	約 20 分	単体で高速処理可能
エージェントトリップデータ生成プログラム	約 12 時間	全処理中で最も重い（GIS・時刻表データとの連携を含む）
共時空間抽出プログラム	約 5 分	DBSCAN による処理
RCM 計算プログラム	約 5 分	時空間セル処理を使用

このように、本研究では、解析規模を現実的な計算時間に収めるために、プログラムの軽量化・処理の分散化・DB 構造の最適化を行っており、実行可能性の高い実装環境が整備されている。

4.2. 住民接触機会解析システムの実行結果と各処理の検証

本節では、第 3 章で設計した住民接触機会解析システムの各プログラムが正常に動作しているかを確認する。対象となるのは、エージェント生成、トリップデータ生成、共時空間抽出、RCM 計算の 4 つのプログラムであり、すべて手動実行を前提としている。

それぞれのプログラムについて、入力データと出力ファイルを照合し、形式的・論理的な整合性が確保されているかを検証する。本節では、人口スケーリングを行わず、実際の PT 調査票（2,093 件）に対応するエージェントを用いた結果を示す。これにより、次章におけるスケーリング適用とシナリオ分析に先立ち、システム全体の信頼性を確認する。

4.2.1. エージェント生成プログラムの構成と稼働確認

本プログラムは、移動実績に基づいて生成されたエージェントの行動情報を拡張し、ダメージデータを含むトリップデータを出力するためのものである。個別のエージェントが実行する移動および滞在に関するシナリオを、現実の PT 調査結果と地理情報データベースを参照しながらシミュレートする構成となっている。本節では、当該プログラムにおける入力、処理内容、および出力の概要を整理する。

(1) 入力データ

本プログラムでは、以下の 2 種類の外部データを参照する。

- 目的地情報ファイル（Destination_XY_v3.csv）

本 CSV ファイルには、エージェントが訪問可能な目的地の座標とカテゴリ情報が格納されており、以下のフィールドを含む：

D_hd (データ識別子), Destination (目的地名), X (経度), Y (緯度), N (補助情報), Result (未使用), Category (目的地カテゴリ).

表 4-9 Destination_XY_v3.csv の内容

D_hd	Destination	X (経度)	Y (緯度)	N (人数)	Result	Category
3	新白河駅周辺	140.188107	37.122914	1	NORTH	4
2	正風会小林病院	139.63391	35.778445	1	NORTH	5
3	赤羽駅周辺	139.720918	35.777658	1	NORTH	4
4	成増	139.631147	35.777568	2	NORTH	24
2	和光市司法研修所	139.602746	35.773754	1	NORTH	20

- PostgreSQL データベース (tomioka_pt2018)
調査票をベースとした移動データが格納されており, 主に, エージェント ID, 出発地・目的地の座標, 出発・到着時間, 交通手段など, 移動に関する基礎情報が記録されている.

(2) 処理構成

本プログラムにおける主な処理の流れは, 以下の通りである.

- データベース接続と読み込み
PostgreSQL データベースに接続し, 移動情報 (出発・目的地, 出発時間, 交通手段など) を取得する.
- 目的地情報の読み込み
Destination_XY_v3.csv を読み込み, 目的地カテゴリごとの候補地点をリスト化する. これをもとに, エージェントの目的地が確率的に選定される.
- 境界判定と時刻調整処理
出発地と目的地が対象エリア内にあるか否かを判定し, 境界をまたぐ移動 (INCOMING/OUTGOING) に対しては, 出発時刻や到着時刻の補正を実施する. これにより, 時系列整合性を保持したまま, 複雑な移動経路を再現する.
- データ拡張と反復生成
実データをベースに, 移動情報を最大 10 倍に拡張し, 各エージェントの行動パターンに変動を与えることで, より多様性のあるトリップデータを生成する.

(3) 出力内容

最終的に出力される CSV ファイル (output.csv) には, 以下の項目が含まれる:

表 4-10 output.csv の内容

フィールド名	内容の概要
id, hh_id, idv_id	エージェント、世帯、個人識別子
act_id, day	行動ID、該当日
ox, oy, dx, dy	元の出発地・目的地座標
m_ox, m_oy, m_dx, m_dy	境界補正後の座標
dep_area, arr_area	移動の境界属性（IN, OUTGOINGなど）
dep_time, arr_time	出発・到着時刻（元の値）
m_dep_time, m_arr_time	境界補正後の時刻
stay_time	滞在時間（分または秒単位）
traffic	移動手段（WALK, BUS, TAXI など）
next_id	次の行動IDへのリンク
category	目的地カテゴリ（例：学校、病院、商業施設など）

(4) 稼働確認

2,093 人分のデータから、往路と復路を作成するのに必要なエージェントの基本データの作成を確認した。

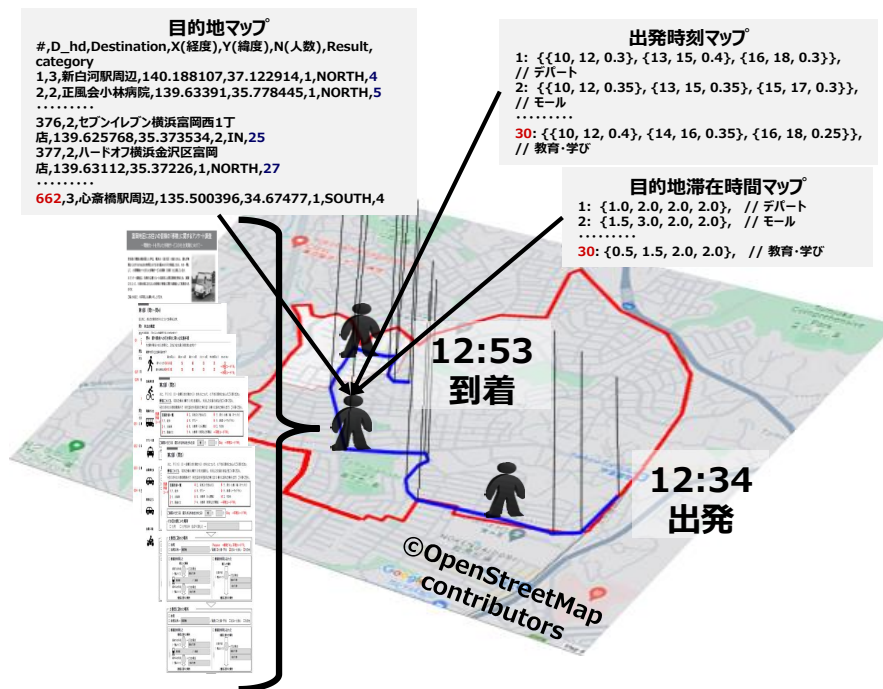


図 4-5 エージェントの基本データのイメージ

4.2.2. エージェントトリップデータ生成プログラムの構成と稼働確認

本プログラムは、エージェント生成プログラムによって作成された属性付きエージェント情報（output.csv）を入力とし、各エージェントの移動行動を 30 秒単位で時系列的に再現する処理を担うものである。具体的には、各エージェントが外出するか否か、どの交通手段を選択するか、どの目的地に向かい、どれだけ滞在するかを、確率的・属性的に決定し、日単位のトリップデータとして出力する。

本プログラムは、PT 調査票から得られた人口 2,093 人分のデータをもとに、実在する住民属性を保持したエージェント群を対象として、1 日あたりの移動履歴を再現する。また、本節ではスケーリングを行わない前提で検証を実施しており、各エージェントはオリジナルの PT 調査票のデータに基づいて行動する。

(1) 入力データ

本プログラムは、以下のファイルおよびデータベース群を参照して処理を行う。

- **output.csv:** エージェント生成プログラムの出力であり、各エージェントの基本属性（性別、年齢、居住地）、出発地・目的地座標、目的地カテゴリ、想定交通手段などが記載されている。
- **Destination_XY_v3.csv:** 目的地の名称、座標 (X,Y)、カテゴリなどをまとめた CSV 形式の地物リスト。
- **PostgreSQL データベース :**
 tomioka_pt2018: エージェントの個別属性およびトリップ情報を格納。
 OSM 改修地図 DB (PostGIS 拡張) : エージェントのルート探索に用いる道路網・鉄道・バス・乗合タクシーなどの交通レイヤーが格納されている。
- **時刻表データベース :** バス・鉄道・乗合タクシー等の公共交通機関のダイヤ情報を提供。

(2) 処理構成

本プログラムは、以下の手順でエージェントの 1 日分の移動行動を構築する。

- **外出判定 :** output.csv に記載された外出確率に従い、エージェントがその日に外出するか否かを乱数で判定する。
- **交通手段選択 :** 属性（免許保有、車両所有、身体条件など）に応じて利用可能な交通手段を抽出し、確率モデル（ロジットモデル）に基づいて移動手段を決定する。図 4.4 に、この選択アルゴリズムのフローを示す。
- **出発時刻生成 :** エージェントの年齢層に応じた確率密度関数（ベータ分布）を用いて、出発時刻を確率的に決定する。
- **目的地の決定 :** 目的地カテゴリに応じて複数の候補からランダムに選定し、到達地点の座標を確定させる。
- **滞在時間の設定 :** 目的地カテゴリに応じたベータ分布に基づいて滞在時間を設定す

る。

- 経路探索：PostGIS を用いたダイクストラ法により，選択された交通手段および地図レイヤーに基づいて，出発地から目的地までの経路を探索する．途中でバスや鉄道に乗り換える複合移動も再現される．
- トリップデータの記録：30 秒ごとに移動または滞在状態を記録し，各エージェントについて 1 日分の行動軌跡を生成する．

(3) 出力内容

生成された行動履歴は，エージェント単位ではなく，1 日ごとの全エージェントの記録として，CSV ファイルに出力される．ファイル名は `agent_track_2018_N.csv`（N はシミュレーション日数）と命名され，以下のようなフィールド構成を持つ．

表 4-11 `agent_track_2018_N.csv` の内容

フィールド名	内容の概要
id	エージェントID（output.csvと対応）
time	時刻（30秒単位）
lng / lat	位置座標（WGS84準拠）
mode	移動手段（WALK, BUS, TRAINなど）
trip_id	トリップ識別子
status	行動状態（移動中 / 滞在中など）

たとえば，以下は `agent_track_2018_1.csv` に出力されるデータの一部である：

```
id,time,lng,lat,mode,trip_id,status
001,2018-09-13T08:00:00,139.6192,35.3421,WALK,1,MOVING
001,2018-09-13T08:00:30,139.6195,35.3425,WALK,1,MOVING
001,2018-09-13T08:01:00,139.6198,35.3430,BUS,1,MOVING
001,2018-09-13T08:30:00,139.6301,35.3501,BUS,1,STAYING
001,2018-09-13T09:00:00,139.6301,35.3501,BUS,1,STAYING
```

このように，各エージェントについて出発から到着・滞在に至る時系列的な履歴が記録される．時間は 30 秒間隔で刻まれ，交通モードの変化や滞在状態も明示的に表示されるようになっている．

これらの出力データは，「共時空間抽出プログラム」および「RCM 計算プログラム」の入力として直接使用され，共時空間クラスタリングや再接触分析の基礎情報となる．

(4) 稼働確認

output.csv のデータから、その日に起動した全エージェントの往路と復路の移動軌跡のファイルが日数分（例:30 日分）作成されることを確認した。

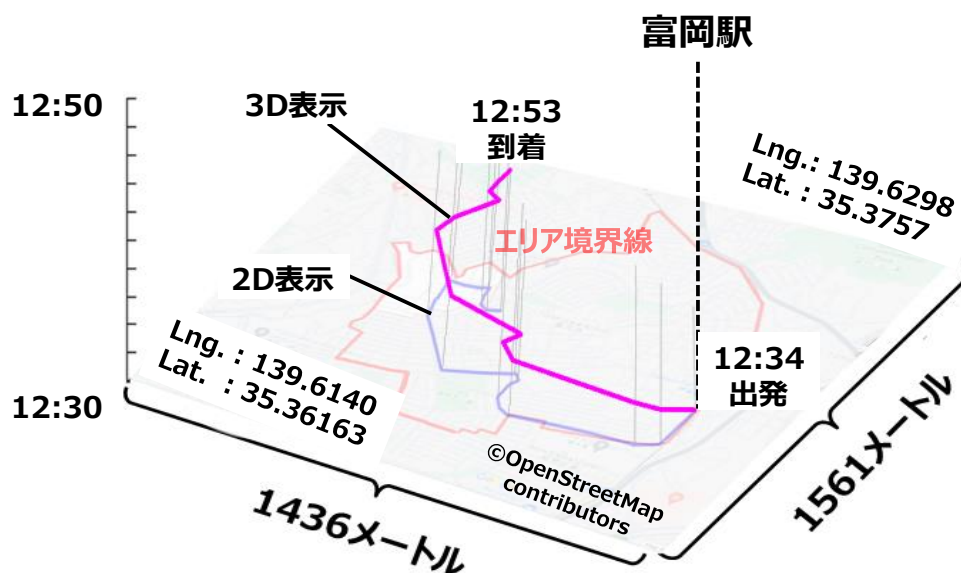


図 4-6 エージェントトリップデータ（一人分）のイメージ図

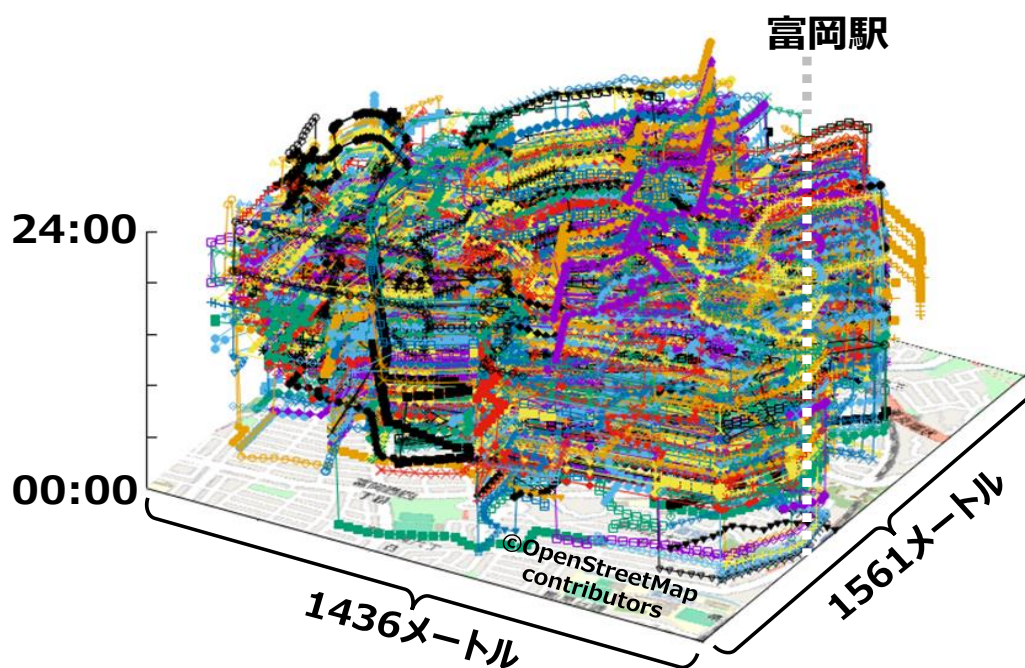


図 4-7 エージェントトリップデータ（一日/全員分）のイメージ図

4.2.3. 共時空間抽出プログラムの構成と稼働確認

本節では、エージェントトリップデータをもとに、特定の時間・空間スケールにおいて複数のエージェントが同時に滞在していた領域、すなわち「共時空間 (Co-Exist)」を抽出するための共時空間抽出プログラムについて説明する。本プログラムは、位置情報と時間情報を正規化したうえで、DBSCAN クラスタリングアルゴリズムを適用することにより、空間的かつ時間的に近接したエージェントの集合を定量的に抽出する。

(1) 入力データ

本プログラムは以下のデータを入力とする

- **agent_track_2018_N.csv** (N 日目のエージェント移動トラッキングデータ)
各エージェントの 30 秒間隔の行動記録 (緯度・経度・時刻・移動手段など) を格納した CSV ファイル (1 日につき 1 ファイルが出力される)。
- 地図正規化設定および時間正規化設定
対象エリアの緯度経度範囲と 1 日の時間スケール (例: 0:00~24:00) に基づき、データを [0,1] の正規化空間に変換する関数が使用される。

(2) 処理構成

共時空間抽出プログラムの処理は、以下のように構成されている：

- 位置・時間情報の正規化
各データ点の緯度・経度・時刻を、京急富岡駅周辺エリアの最小・最大値に基づき [0,1] の範囲にスケールリングする。これにより、異なる物理単位 (時間: 秒, 位置: 緯度・経度) を一元的に扱う三次元空間が定義される
- クラスタリングによる共時空間の抽出
DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) アルゴリズムを用いて、上記三次元空間において近傍関係にある点群を抽出する。使用する主パラメータは以下の通り：
 - ϵ (epsilon) = 0.010 (空間的に約 10m, 時間的に約 14 分に相当)
 - minPts = 100 (約 33 人のエージェントが 1.5 分以上同一空間に存在する条件)本設定は、人間の社会的認知範囲および都市空間における集団行動の空間スケールに基づいており、過去の心理学的実験 (Zajonc の単純接触効果) や移動速度、記録間隔の整合性により妥当性が担保されている。
- クラスターの構造化と保存
抽出されたクラスターごとに、クラスター ID, 所属エージェント ID, 時刻, 位置情報 (緯度・経度), 移動手段などをまとめ、CSV 形式で保存する。

(3) 出力内容

本プログラムの出力は、1 クラスターごとに 1 つの CSV ファイルで出力される。

- 出力ファイル: cluster1.csv, cluster2.csv, .

各ファイルには、以下の項目が含まれる：

表 4-12 cluster1.csv, の項目

フィールド名	内容の概要
cluster_id	クラスタの識別子
agent_id	所属するエージェントのID
norm_time	正規化された時刻
norm_lat, norm_lng	正規化された緯度・経度
traffic	行動時の交通手段

表 4-13 cluster1.csv, の内容

cluster_id	agent_id	norm_time	norm_lat	norm_lng	traffic
1	000123	0.254	0.623	0.458	WALK
1	000145	0.256	0.625	0.457	BUS
1	000157	0.252	0.621	0.459	WALK

(4) 稼働確認

cluster1.csv, cluster2.csv,...のデータから、共時空間が抽出できていることを 3D ビューア (Gnuplot) を使って確認した。

図 4-8 は、Gnuplot を用いた 3 次元視覚化により、一定の空間的近接 (10 メートル以内) および滞在人数 (36 人以上) を満たす共時空間のクラスタを検出した結果である。左図は、時間 (Z 軸) と空間 (X-Y 軸) を合わせた立体空間上にクラスタを可視化しており、共時空間が発生した位置とその時間帯を同時に確認できる。右上図は地図上に検出されたクラスタを投影したもので、富岡地域ケアプラザ周辺や駅周辺に集中している様子が見られる。右下図は、クラスタの時間帯別の発生傾向を示しており、通勤通学時間帯や夕方に顕著な集中があることが分かる。

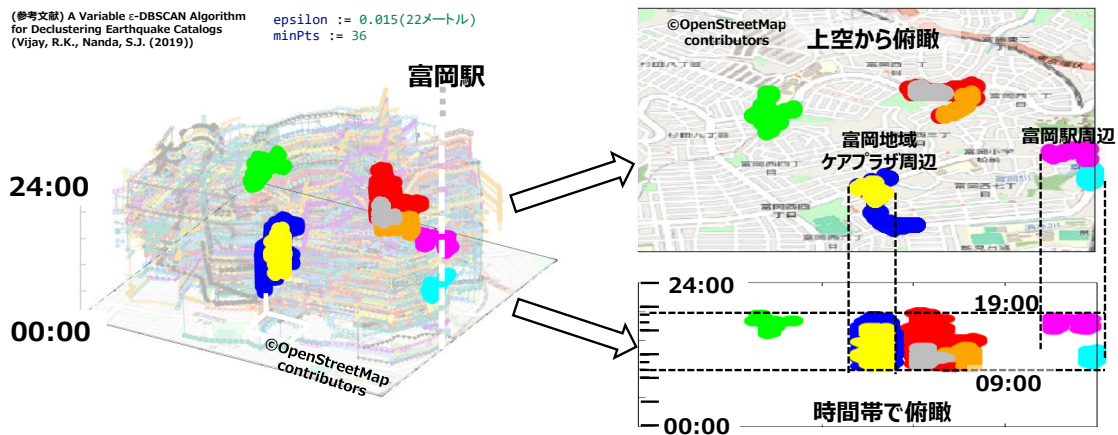


図 4-8 共時空間の発生の検知 ($\epsilon=0.015$, $\text{minPts}=36$) の図

図 4-9 は、図 4-8 の検出結果の中から、特定の場所において長時間にわたり多数のエージェントが滞在していたクラスター（共滞在の傾向が強い）を抽出したものである。左図では、元の 3D クラスター空間から対象領域を囲って切り出しており、右図ではその範囲における密度の高い滞在の様子を立体的に可視化している。エージェントの移動軌跡が少なく、位置がほぼ一定であることから、その場に長時間留まっていたことが読み取れる。

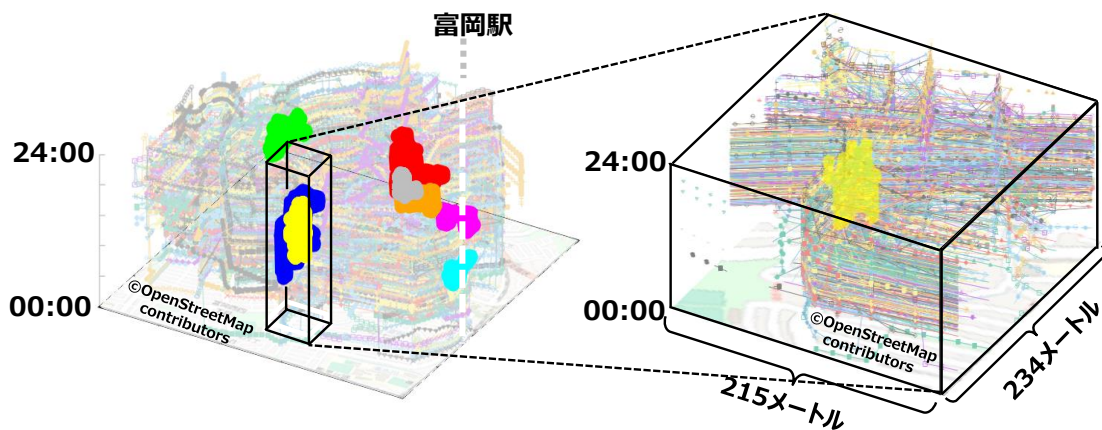


図 4-9 “共滞在” の傾向が強く出ている共時空間の図

図 4-10 は、共時空間の中でも、複数のエージェントがほぼ同じ時間に同じ経路を移動したと推定される領域（共移動の傾向が強い）を示している。図 4-9 と同様に、左図で対象領域を切り出し、右図でその立体構造を表示している。移動軌跡が縦方向に連続して伸びていることから、エージェントが空間的にも時間的にも一体的に移動していたことが視認でき

る。

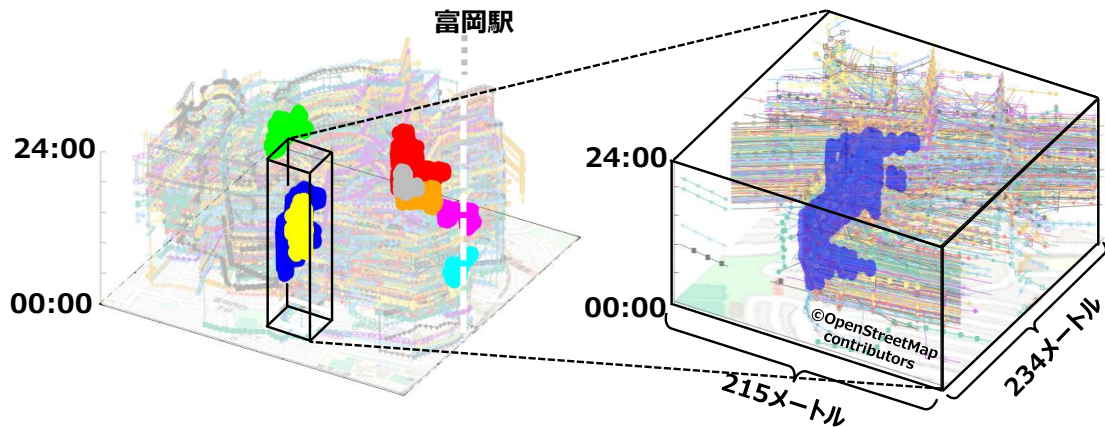


図 4-10 “共移動”の傾向が強く出ている共時空間の図

4.2.2. RCM 計算プログラムの構成と稼働確認

本プログラム群は、エージェント間における「繰り返しの共在」、すなわち RCM を抽出し、その回数および接触時の交通手段構成を定量的に記録するものである。1 日ごとの RCM データが集計・統合される。

(1) 入力データ

- トラッキングデータ (agent_track_2018_0.csv ~ agent_track_2018_29.csv)
各ファイルには 1 日分の全エージェントの行動軌跡 (30 秒間隔で記録された緯度・経度・時刻・交通手段) が含まれる。
対象日数分 (例: 30 日) について個別ファイルで提供される。

(2) 処理構成

RCM 計算プログラムの処理は、以下のように構成されている：

- 各エージェントの 30 秒単位の行動データを、緯度・経度・時間の 3 軸で「1 分×10m×10m」の空間セルにマッピングする。
- 各セル内で同時に滞在していたエージェントの全組合せペアを抽出し、共在カウントを加算する。
- このとき、各ペアの双方が使用していた交通手段 (walk, bus, taxi など) を識別し、それぞれの手段について接触時に出現したか否かを記録する。
- 各日の結果は all_encounter_count_2018_N.csv (N=日番号) として保存される。
- 各日付ファイルを読み込み、ペアごとの RCM カウントを累積する。
- 同一ペアに対しては、交通手段の出現回数を「バイナリ (出現の有無)」として加算

処理することで、手段ごとの「RCMにおける共出現回数」を算出する。

- 結果は all_encounter_count_2018.csv に統合され、count の降順でソートされる。

(3) 出力内容

最終出力ファイル all_encounter_count_2018.csv は、各エージェントペアにおける RCM 回数と、交通手段ごとの共出現頻度を記録するものである。以下はその構成例である：

表 4-14 all_encounter_count_2018.csvの内容

idv_id1	idv_id2	count	walk1	bic1	bus1	walk2	bic2	bus2
30012032820	50008036915	135	0	0	0	135	0	0
40008034374	50007036915	115	0	0	0	115	0	0

(4) 稼働確認

図 4-11 は、2018 年の 10 日間にわたるエージェント間の接触データ (all_encounter_count_2018.csv) をもとに算出された RCM の結果を示すものである。上段左の表は、エージェントのペアごとに会合の回数 (count) とその際の交通手段の内訳を示している。上段右のグラフは、接触回数順に並べた RCM の頻度分布を示し、極端に多い接触を示すペアが一部存在することを可視化している。下段の棒グラフは、交通手段別に見た RCM 回数の合計および頻度分布を示しており、バスと歩行による会合が特に多い傾向にあることが確認される。これらの結果から、本システムが RCM の定量的検出と可視化を適切に実現していることが示されている..

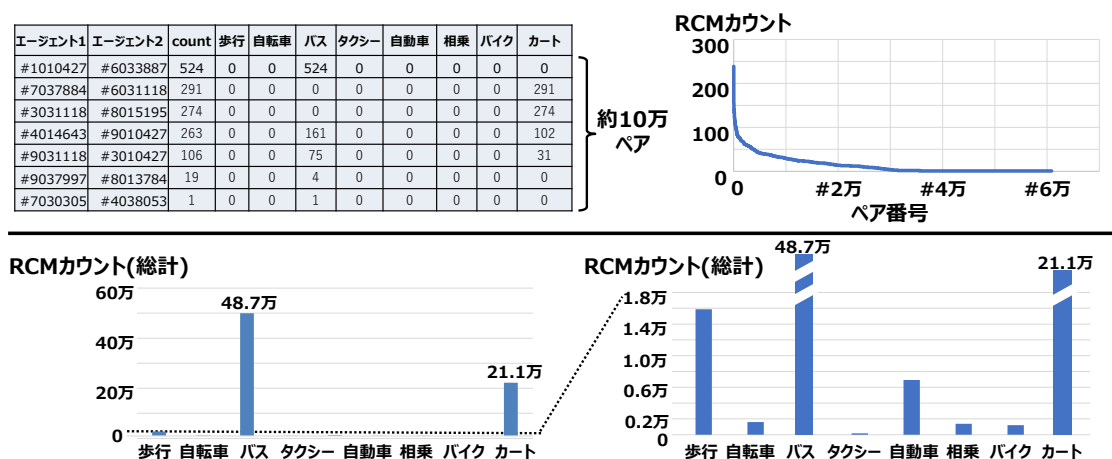


図 4-11 連続 10 日間による RCM の結果

4.3. 携帯電話位置情報データとの比較による本システムの妥当性の検討

本研究では、PT 調査票に基づく全住民のエージェント行動を再現し、対象エリアにおける共時空間および RCM（反復的接触関係）を抽出することによって、住民同士の接触機会構造を時空間的に可視化している。本節では、本システムが生成するこれらの出力が現実的妥当性を持つかどうかについて、携帯電話位置情報ログ（以下、モバイルデータ）を用いて得られた人流構造との比較を通じて検証を行う。

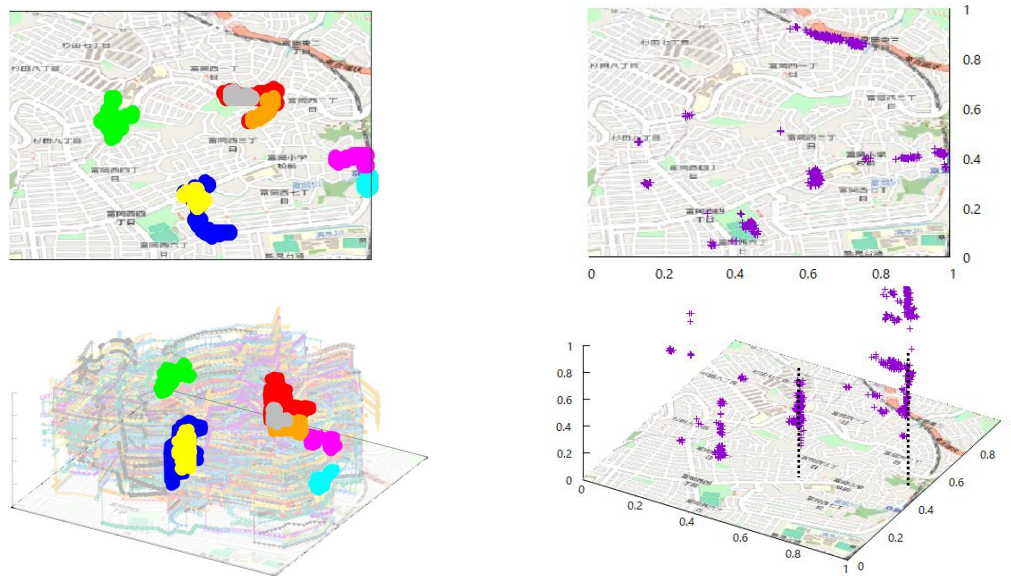
4.3.1. 本研究で用いたモバイルデータの概要と特性

比較対象としたモバイルデータは、横浜市全域におけるユニークユーザ約 12 万 1221 人分の携帯電話位置情報ログであり、本研究の対象エリアを通過したと確認できる 1490 人分を抽出対象とした。これらのデータには年齢属性が一部付与されているが、ユーザ ID は日ごとに更新される仕様となっており、同一個人の繰り返し行動や連続的な接触の追跡は不可能である。また、出発地および到着地の位置情報はダミー処理されているため、生活行動の目的や文脈を復元することは困難である。

さらに、年齢構成についても高齢層の割合が著しく少なく、当該エリアの人口構成と整合していない。以上のように、モバイルデータはあくまで観測可能な範囲に限定された「部分観測」であり、住民全体の接触構造を代表するデータとは位置付けられない。

4.3.2. 共時空間クラスタの比較と一致傾向

図 4-12 の左図に本システムによって抽出された共時空間クラスタの分布を、右図にモバイルデータから抽出された空間的集積の結果を示す。モバイルデータはサンプル密度が限られているため、クラスタ抽出には本システムの 10 倍の空間半径（ ϵ ）を設定して対応している。



(a)本システムによって抽出された共時空間クラスタ

(b)モバイルデータから抽出された共時空間クラスタ

図 4-12 時空間クラスタの比較

両図を比較すると、京急富岡駅周辺、富岡小学校、富岡地域ケアプラザ、富岡西一丁目公園など複数地点において、共通した集積傾向が確認された。これらはいずれも、通勤・通学・日常生活動線上の結節点であり、実際に人の滞在や通過が多い地点であることから、本システムによって得られた共時空間構造が、実データの傾向と一致していることを示唆する。

一方、本システムにおいて共時空間が検出された富岡公園では、モバイルデータ上に明確な集積は確認されなかった。この不一致は、比較に用いたモバイルデータが、乗合タクシーの運行が実施されていなかった期間のものであり、当該地点への訪問頻度が反映されていなかったためと推定される。

また、モバイルデータでは富岡西公園および鳥見塚交差点付近の国道 16 号周辺において共時空間の発生が確認されるが、これらの地点は本システムの対象外エリアであり、本研究の分析および評価には無関係な地点である。

このような一部の差異は、モバイルデータの取得時期や交通施策との非同期性に起因するものであり、全体として本システムは、対象エリアにおける共時空間構造を概ね妥当に再現していると評価できる。

4.3.3. 本システムの妥当性に関する考察

本研究では、モバイルデータのような部分観測の制約を前提としつつも、主要な生活拠点や移動結節点において共時空間の分布傾向が一致していたことから、本システムにより生成された行動再現モデルは、実世界の傾向を構造的に捉えていると評価できる。特に、富岡

駅周辺や地域拠点施設など、属性・時間帯・交通手段の違いが集約される地点において整合性が確認された点は、エージェントの空間行動が現実的であることを裏付けるものである。

加えて、モバイルデータでは把握不可能な個人単位での行動履歴・出発地・到着地・属性情報・繰り返し出現などが、本システムでは明示的に記述されており、RCMのような時間軸を伴った接触構造の抽出も可能である。特に RCM のような現象は、モバイルデータでは技術的に観測不可能であり、本システムによって初めて可視化され得る構造情報である点に本手法の独自性がある。

共時空間の分布傾向において外的整合性が一定程度確認されたことを踏まえれば、その上に構築される RCM についても、構造的妥当性の観点から信頼性を持つと判断することができる。

したがって、本システムは、共時空間および RCM の双方において、現実を補完する解析基盤として概ね信頼に足る妥当性を有していると結論づけられる。

4.4. 本章のまとめと次章への展開

本章では、第3章で設計した住民接触機会解析システムの各プログラムを実装し、PT 調査票 2,093 件分に基づいた約 2,000 体のエージェントを対象として、正常に稼働することを確認した。特に、「エージェント生成プログラム」「トリップデータ生成プログラム」「共時空間抽出プログラム」「RCM 計算プログラム」の一連の処理フローにおいて、それぞれの入出力ファイルが適切に生成され、移動軌跡や接触構造の可視化結果からも、アルゴリズムが設計通りに動作していることを確認した。

また、エージェント個体の行動が、確率的に変化しながら多様な経路をとり、集団としての空間構造を形成していく過程が、3D 時空間プロットやクラスタリング結果を通じて定量的に検証された。これにより、本システムが小規模地域における現実的な移動行動の再現と、それに基づく接触機会の抽出を可能とする基盤を備えていることが示された。

さらに、モバイルデータとの比較により、本システムによって抽出された共時空間が、富岡駅周辺や地域拠点施設など複数地点において実観測と整合する傾向を示したことから、本システムの出力結果の妥当性が確認された。また、RCM のような時間軸を伴う構造はモバイルデータでは観測不能であることから、本システムによる可視化と算出の意義を明らかにすることができた。これにより、本システムは、共時空間および RCM の双方において、現実を補完する信頼性ある解析基盤であると評価できる。

次章では、これまで使用してきた実調査データに基づくエージェント数を、対象エリアの実人口にスケーリングし、より現実的な密度と規模に拡張した上で、各種施策シナリオ（バス・乗合タクシーの減便や廃止）を導入し、その影響を比較分析する。さらに、2045 年の少子高齢化を想定した将来人口構成を反映させた上で、接触構造の変化や RCM 分布の推移を評価し、公共交通サービスが地域社会にもたらす影響の定量的把握を目指す。

5. 提案手法を用いた住民接触機会のユースケース分析

5.1. 分析対象とする8の社会シナリオ

本論文の第4章では、接触機会を定量的に捉えるためのMASの設計と構築について述べ、また、第5章では、その出力である共時空間およびRCMの指標定義と算出手法について説明した。

これらを踏まえ、本節では、前節までで論じた「地域住民の接触機会の定量化手法」が、実際の地域社会において有効に機能するかどうかを検証することを第1の目的とする。

そのうえで本節では、この手法を単なる技術的実現に留めるのではなく、将来の交通環境や人口構成の変化といった社会的条件の違いを反映した複数のシナリオに適用し、それらの条件が接触機会にどのような影響を与えるかを比較・評価することを第2の目的とする。すなわち、地域社会における人と人との出会いや接触の機会が、将来の交通環境や人口構成の変化に伴ってどのように減少・再編されるかを、数値的に把握することである。

5.1.1. 2パターンの人口スケーリングの概要

本節では、MASに投入するエージェント数を変更することで、人口構成の違いが接触機会に与える影響を分析するために設定した、2種類の人口スケーリングパターンについて説明する。

(1) 2018年推計人口にスケーリング（18,040人）

2018年時点における対象エリア（京急富岡駅周辺：富岡西1～7丁目、富岡東3丁目、磯子区杉田9丁目）の実人口は、横浜市統計資料に基づき18,040人と推定される。

この人口規模に合わせるため、6.2.1で述べたように、元データである2,093件のPT調査表を世代別人口比率に基づいて拡張（スケーリング）し、18,040人分のエージェントを作成する。具体的には、表5-1に示すように、世代単位で必要な拡大係数（整数表記）を算出し、図5-1に示されるような世代構成の乖離を補正する形で人口構成を再現する。実際の地域人口に整合させることで、現実に即した接触機会の把握を可能とするためである。

このようにして生成された18,040人のエージェントの行動軌跡から、PT調査表回収時の同規模人口における接触機会の推計を行う。

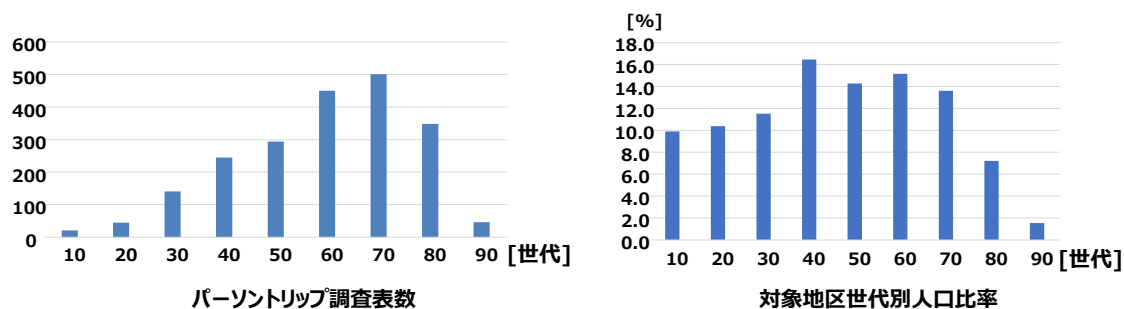


図 5-1 世代別 PT 調査表数と世代別人口比率の乖離

表 5-1 必要なエージェント数と世代単位の拡大係数

年代	必要なエージェント数	拡大係数
10	1783	85
20	1872	42
30	2078	15
40	2966	12
50	2573	9
60	2734	6
70	2454	5
80	1302	4
90	278	6

(2) 2045 年将来推計人口にスケーリング (12,990 人)

将来予測シナリオとして、横浜市政策局「横浜市の将来人口推計（令和 5 年）」⁷²⁾に基づき、2045 年時点での対象エリアの人口を 12,990 人と想定する。この値に基づき、先と同様に PT 調査表を世代別比率に従ってスケーリングし、12,990 人分のエージェントを構成する。詳細は表 5-2 に記載の拡大係数に従い、実人口の将来構成を再現している。将来の人口減少時における接触機会の変化を見積もるために必要である為である。

なお、2045 年時点においては、現代的なバス路線網や乗合タクシーサービス、あるいは本研究のもととなる 2018 年 PT 調査のような詳細な行動データは存在しないため、本項での分析は「2018 年の交通サービスのままで世代構成が変化している社会」を仮定した仮想シナリオとして実施するものである。図 5-2 に、対象エリアにおける 2045 年の推定人口構成を示す。

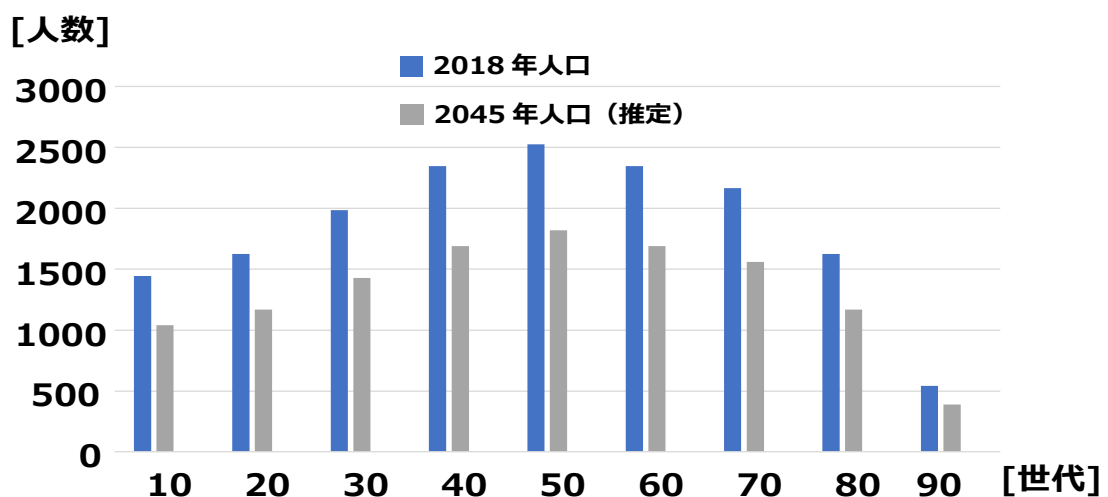


図 5-2 対象エリアの 2018 年/2045 年の推定人口

表 5-2 2045 年の計算に必要なエージェント数と世代単位の拡大係数

年代	必要なエージェント数	拡大係数
10	1029	49
20	1125	25
30	1410	10
40	1470	6
50	1764	6
60	1350	3
70	1503	3
80	1044	3
90	368	8

5.1.2. 交通施策 4 パターンの構成

接触機会に対する交通サービスの影響を明らかにするため、以下の 4 つの交通施策パターンを設定した。現行の交通サービス水準を基準としつつ、バスおよび乗合タクシーの運行維持・縮小・廃止の各組み合わせを網羅的に検討することにより、交通資源の制約下における代替手段の有効性や、サービス低下が接触機会に与える定量的影響を明らかにすることを目的とする。

「減便」や「廃止」といった施策は、少子高齢化に伴う地域住民の減少および運転手不足による公共交通維持の困難化といった、実現可能性の高い将来リスクを反映したシナリオである。したがって、本節におけるシナリオ設計は、現実的な社会条件のもとで接触機会がどのように変容するかを評価するうえで、重要な基盤を提供するものである。

(1) 現状維持（バス＋乗合タクシー）

第 4.1.1 節に記載した 2018 年当時の公共交通サービス（バスおよび乗合タクシー）を再現するシナリオである。本施策は、現在提供されている交通水準が維持された場合の接触機会を評価するために必要であり、他の施策パターンとの比較基準（ベースライン）として位置づけている。以下、このシナリオを”B:100/T:100”と表記する。

(2) 乗合タクシー廃止

バスサービスは現行の本数を維持しつつ、乗合タクシーのみを廃止するシナリオである。乗合タクシーは、システム設計や運用体制の確保が必要となるほか、予約対応や個別配車などの運用管理に一定の負荷を伴うため、バスと比較して廃止や休止に至りやすい傾向がある。本施策は、こうした背景を踏まえた地域交通の縮小シナリオのひとつとして設定している。以下、このシナリオを”B:50/T:0”と表記する。

(3) バスを 50%減便、乗合タクシー維持

バスの運行本数を 50%に減便し、乗合タクシーは現状通り維持するシナリオである。運

転手不足や採算性の低下などにより、バスの運行が縮小される状況は現実的に想定される。また、その際に乗合タクシーが代替交通手段として補完的に活用されるケースは一般化しつつある。本施策は、そのような条件下において、乗合タクシーが接触機会の維持にどの程度貢献するかを検証するために設定している。以下、このシナリオを”B:50/T:100”と表記する。

(4) バスを 50%減便，乗合タクシーも廃止

バスは 50%に減便され，乗合タクシーも廃止される，最も交通サービスが縮小されたシナリオである。少子高齢化，人口減少，運転手不足といった複合的な要因により，地域の公共交通が大幅に縮小または維持困難となる状況を想定している。本施策は，そのような厳しい条件下で接触機会がどの程度喪失するかを定量的に把握することを目的として設定している。以下，このシナリオを”B:50/T:0”と表記する。

なお，バス運行の全面廃止は現実的ではないと考え，本研究のスコープ外であるため，検討対象から除外している。

交通施策 4 パターンの構成をまとめた表を表 5-3 に示す。

表 5-3 交通施策パターンの分類と設定理由（バス × 乗合タクシーの組み合わせ）

シナリオ番号	シナリオ名	バス運行状況	乗合タクシー運行状況	設定理由の概要
(1)	現状維持（バス+乗合タクシー）	○	○	ベースラインシナリオ。他施策との比較基準とする
(2)	乗合タクシー廃止	○	×	部分的交通縮小の現実的なシナリオ
(3)	バス50%減便+乗合タクシー維持	×（減便）	○	バス便減少時の、乗合タクシーの有効性検証
(4)	バス50%減便+乗合タクシー廃止	×（減便）	×	少子高齢化・人口減少・運転手不足による最も厳しいシナリオ

5.1.3. 分析対象の全体構成（2パターン×4パターン＝8シナリオ）

本節までに述べた人口スケーリング（5.1.1）および交通施策（5.1.2）のそれぞれの設定に基づき，本研究で分析対象とするシナリオの全体構成は，2種類の人口スケーリング × 4種類の交通施策の組合せによる全 8 パターンである。

これらのパターンを通じて，人口規模や構成の変化，および交通サービス提供条件の違いが，地域住民の接触機会にどのような影響を及ぼすかを定量的に比較・評価する（表 5-4）。

表 5-4 分析対象となる 8 シナリオの構成（人口スケーリング × 交通施策）

	(1) バス(100%) + 乗合タクシー (100%)	(2) バス(100%) + 乗合タクシー廃止 (0%)	(3) バス減便(50%) + 乗合タクシー (100%)	(4) バス減便(50%) + 乗合タクシー廃止 (0%)
称呼名	“現状シナリオ”	“軽縮小シナリオ”	“重縮小シナリオ”	“下限シナリオ”
(A)2018年 人口スケール (1万8千人)	2018- B:100/T:100	2018- B:100/T:0	2018- B:50/T:100	2018- B:50/T:0
(B)2045年 人口スケール (1万3千人)	2045- B:100/T:100	2045- B:100/T:0	2045- B:50/T:100	2045- B:50/T:0

上記の表の横軸は交通施策の 4 パターン，縦軸は人口スケーリングの 2 パターン，各セルは，分析に用いる個別シナリオを示す．例えば，“2045-B:50/T:100” は，2045 年人口を前提にバスを 50%減便，乗合タクシーは 100%維持したシナリオを示す．このシナリオ中，頻用する「バス(100%)+乗合タクシー(100%)」を”現状シナリオ”，「バス(50%)+乗合タクシー(0%)」を，“下限シナリオ”ということとする．

図 5-3 は，前節までに設定した 8 の社会シナリオ（3 種類の人口スケーリング × 4 種類の交通施策）に対して，本研究で実施する 4 種類の解析処理を体系的に適用する構成を示したものである．

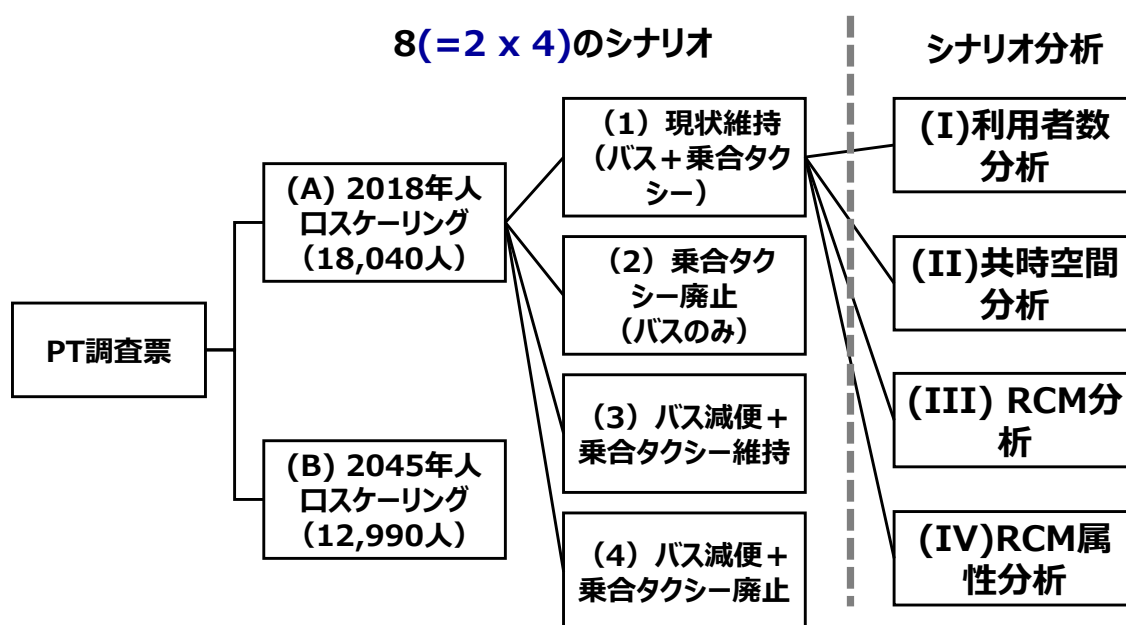


図 5-3 8 の社会シナリオに対する 4 種類の分析の適用構成図

以下にそれぞれの分析の概要とその目的を記載する。

(I) 利用者数分析

各シナリオにおける、公共交通またはそれ以外での手段を用いた人数を分析する。交通の変化や人口構成の違いが、人々の移動手段の選び方にどう影響するかを明らかにするためである。

(II) 共時空間分析

同一空間・同一時間帯に複数エージェントが存在した事象（共時空間）を抽出し、接触機会の分布や傾向を分析する。人がどこに集まりやすいのか、接触の「場」と「時間」の変化が見える化するためである。

(III) RCM 分析

単純接触が発生したエージェントペア（RCM）の発生数と発生した交通手段を分析する。人と人との偶然の出会いが、どの程度・どの交通手段で生まれているのかを把握するためである。

(IV) RCM 属性分析

単純接触が発生したエージェントペア（RCM）の属性（年代、居住地域、性別）の傾向を把握する。どんな人たちの間で出会いが多く生じているのか、その特徴を明らかにするためである。

5.2. 住民接触機会のユースケース分析の妥当性の検証

図 5-4 は、国勢調査の都市交通特性調査(国勢調査 令和2年国勢調査 従業地・通学地による人口・就業状態等集計)の通勤・通学手段の統計データから対象エリアの年齢別の移動手段の比率を図示したものである。

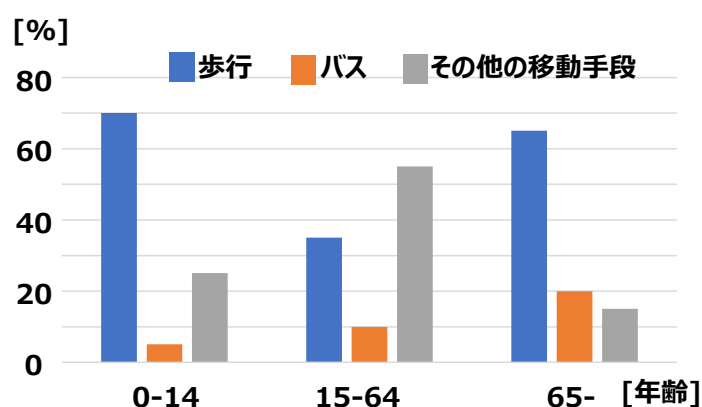


図 5-4 統計データから得られた対象エリアの年齢別の移動手段の比率

図 5-5 は、図 5-2 の 2018 年の年齢別比率に図 5-4 を乗算して得られた移動手段の比率と、

本システムのシナリオで得られた移動手段(図 5-7(後述))の比率を比較したものである。

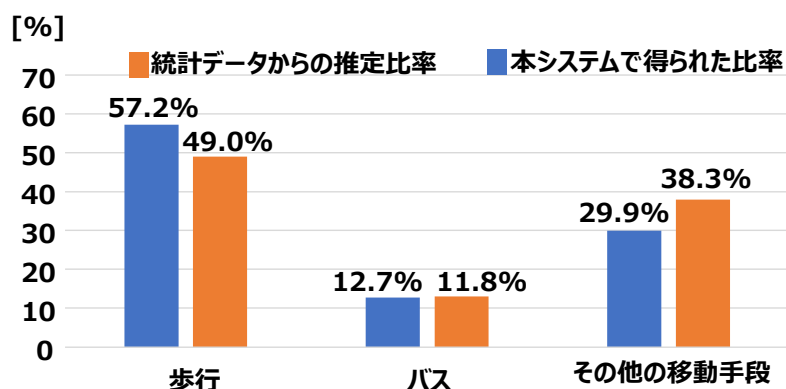


図 5-5 統計データと本システムから得られた移動手段の比率

統計データから推定された比率は、徒歩 49.0%、バス 11.8%、自家用車 38.3%であり、本システムから得られた結果では、徒歩 57.2%、バス 12.7%、自家用車 29.9%となった。両者は概ね同じ傾向を示しているといえるが、その差分について以下に検討を行う。

当該エリアは駅周辺から 70 メートルを超える高低差を有する高台が広がっており、地形的にも勾配が急なエリアが多い。このような環境では、高齢者や身体的な制約を抱える住民にとって、自家用車の利用が必ずしも利便性を担保するとは限らず、むしろ徒歩や公共交通機関の方が安全で確実な移動手段となる場合がある。特に、住宅地が駅から一定距離に分散しており、そのアクセスに制約がある一方、生活圏内に商業施設や公共施設が点在しているため、短距離の移動には徒歩が選好されやすいと考えられる。

また、バスについては、「富 1」～「富 6」といった定期路線がエリア内を網羅しており、特に高台と駅を結ぶ系統が整備されている。これにより、通勤通学など一定の需要に対してバスが有効な手段となっており、歩行では対応しきれない中距離・高低差のある経路を補完する役割を果たしている。本システムでもこの傾向は捉えられていると考えられる。

一方、本システムにおいて、自家用車や自転車などのその他の移動手段の比率が低く出ている点については、高低差を有する高台地域による自転車の使いにくさ、駅周辺の駐車や駐輪の困難さ、公共交通機関や徒歩で完結可能な生活動線の形成など、物理的・社会的要因が複合的に影響していると考えられる。

これらの地域特性を踏まえると、実際の統計における歩行および公共交通への依存度の高さは自然な傾向であり、PT 調査票を基に構築したエージェントを用いた本システムの結果が、統計データと比較した場合でも、十分に妥当な範囲に収まっていると評価できる。

5.3. 利用者数分析

本節では、各交通施策および人口構成シナリオにおける移動手段別の利用者数を比較し、

交通環境や社会構造の変化が地域住民の移動選択に与える影響を評価する。特に、現実的な基準となる 2018 年 PT 調査を用いたシナリオを基軸とし、交通施策の段階的縮小（乗合タクシー廃止，バス減便，両方）による影響を明らかにする。

5.3.1. 利用者数分析における比較シナリオの構成と対応関係

本節では，図 5-1 に示す通り，交通施策と人口構成の違いを軸に 4 つの比較パターンを設定し，移動手段別の利用者数の変化を分析する。

比較の中心には 2018 年の現状シナリオ（2018-B:100/T:100）を据え，交通施策の縮小（黄色矢印），人口構成の違い（緑矢印），および下限シナリオとの比較（赤矢印）を通じて，交通環境と社会構造が住民の移動行動に与える影響を明らかにする。

	(1) バス(100%) + 乗合タクシー (100%)	(2) バス(100%) + 乗合タクシー廃止 (0%)	(3) バス減便(50%) + 乗合タクシー (100%)	(4) バス減便(50%) + 乗合タクシー廃止 (0%)
(A)2018年 人口スケール (1万8千人)	2018- B:100/T:100	2018- B:100/T:0	2018- B:50/T:100	2018- B:50/T:0
(B)2045年 人口スケール (1万3千人)	2045- B:100/T:100	2045- B:100/T:0	2045- B:50/T:100	2045- B:50/T:0

図 5-6 利用者数分析における比較シナリオの構成と対応関係

5.3.2. 現状シナリオにおける移動手段構成（2018-B:100/T:100）

2018 年の PT 調査に基づき，公共交通（バス・乗合タクシー）を 100%運行した場合の移動手段別利用者数を図 5-7 に示す。全体では歩行が過半数を占め，次いで自家用車・バスの利用が多い。乗合タクシーは少数ながら特定の地域・属性層に選択されている。

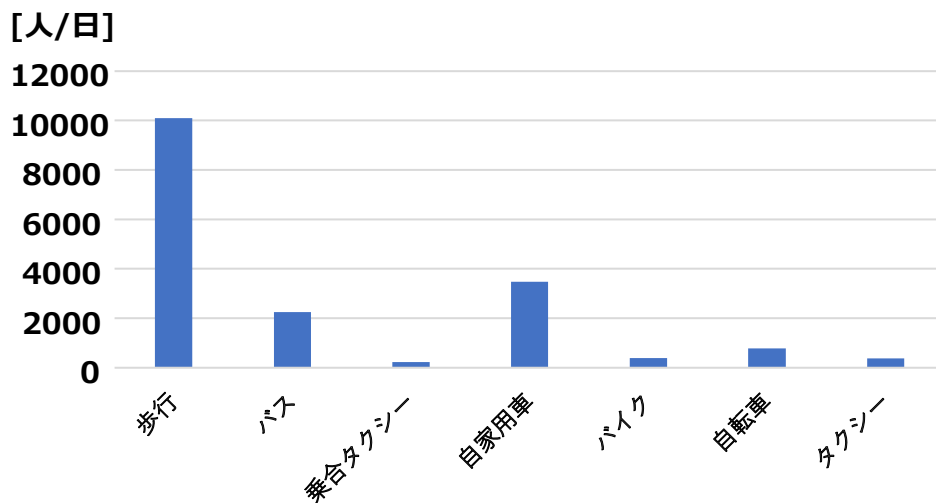


図 5-7 基準となる「2018-B:100/T:100（現状シナリオ）」の利用者構成グラフ

5.3.3. 乗合タクシー廃止による利用構造の変化（2018-B:100/T:100 vs B:100/T:0）

現状維持と比べ、乗合タクシーが廃止された際の歩行依存の高まり、バス集中、または一部移動放棄の傾向を検証する。

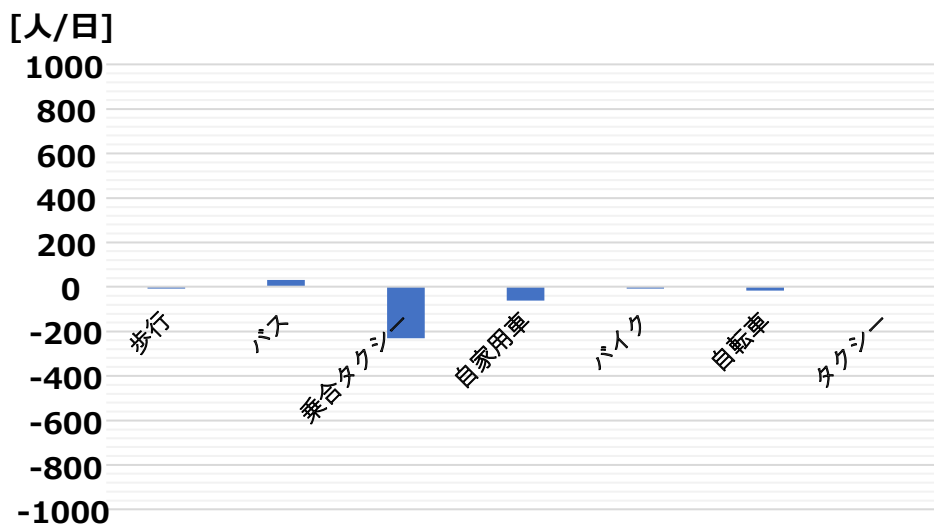


図 5-8 乗合タクシー廃止による利用構造の変化（2018-B:100/T:100 vs B:100/T:0）

5.3.4. バスの縮小による影響（2018-B:100/T:100 vs B:50/T:100）

バスの運行本数を半減させた場合、公共交通ネットワークの機能低下が移動手段の選択にどのような影響を与えるかを分析する。特に、バスの利用機会が減ることによって歩行や乗合タ

クシー、自家用車など他手段への分散が生じるか、それとも移動自体の抑制が見られるかを明らかにする。

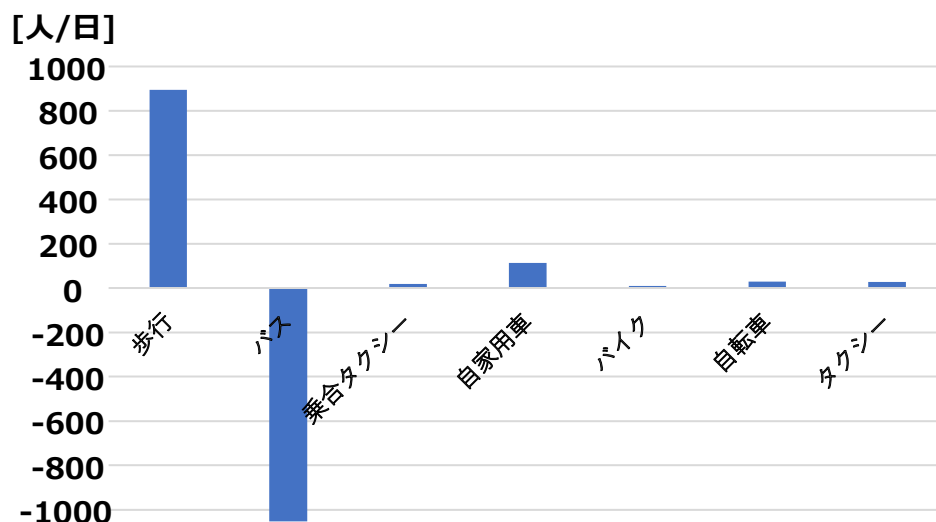


図 5-9 バスの縮小による影響 (2018-B:100/T:100 vs 2018-B:50/T:100)

5.3.5. 将来の高齢化社会における利用傾向 (2018 vs 2045 (B:100/T:100))

交通サービス水準を同じとした場合、高齢社会では利用傾向がどう変わるかを明らかにする。具体的には、歩行・乗合タクシーの相対的比重、バス利用の変化、移動頻度の減退傾向などを検証する。

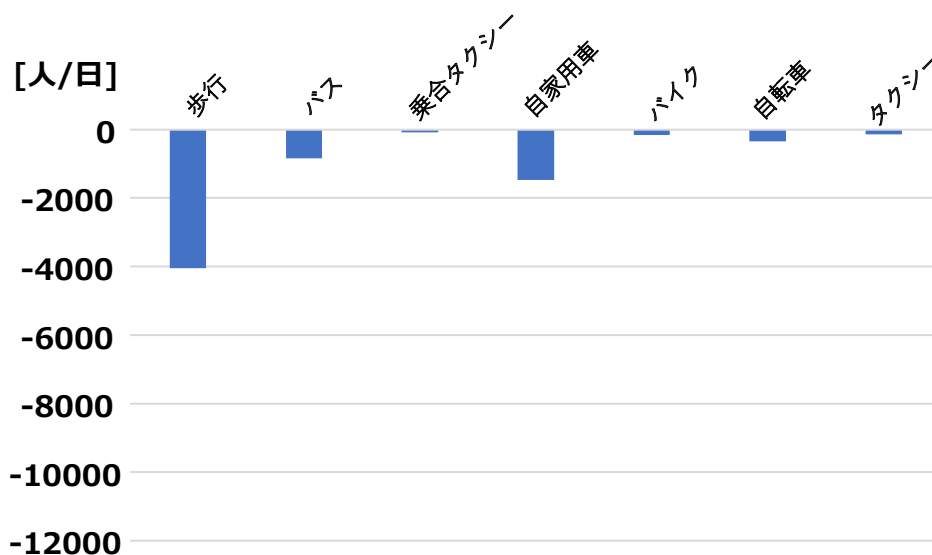


図 5-10 将来の高齢化社会における利用傾向 (2018 vs 2045 (B:100/T:100))

5.3.6. 将来の縮小社会の下限シナリオ（2018-B:100/T:100 vs 2045-B:50/T:0）

高齢社会かつ交通施策の縮小が重なった場合に、住民の移動構造がどれほど変化するかを利用者数で可視化する。

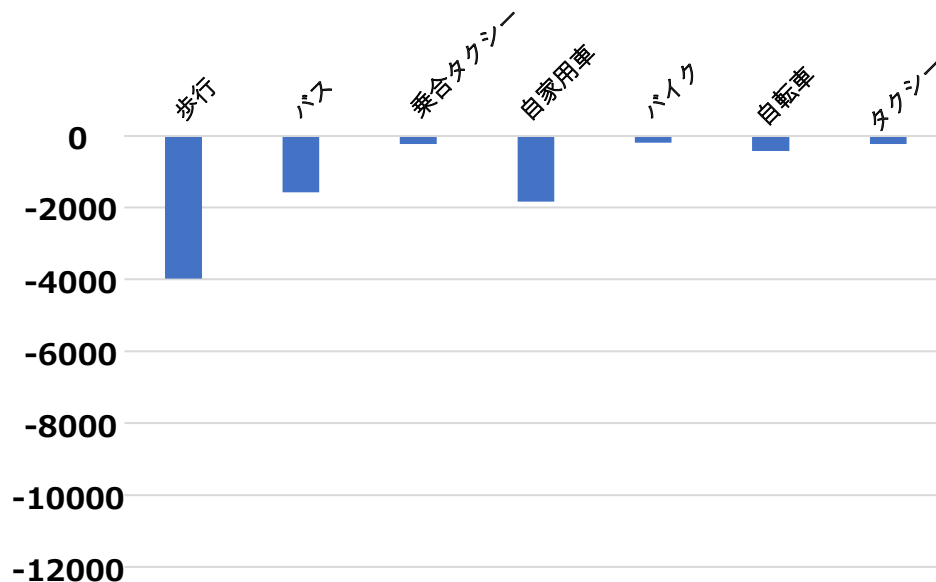


図 5-11 将来の縮小社会の下限シナリオ（2018-B:100/T:100 vs 2045-B:50/T:0）

5.3.7. 利用者数分析の総括

本節では、交通施策および人口構成の違いが移動手段別の利用者数に与える影響を、本研究のシステムを使って定量的に評価した。基準となる 2018 年のシナリオ（バス・乗合タクシーともに 100%運行）を軸に、施策の段階的縮小や人口構成の変化に応じたシナリオとの比較を行い、次のような知見が得られた。

5.3.7.1. 想定された傾向の確認

（1）バス縮小の影響（図 5-9）

バスの運行本数を 50%に減らした場合、バス利用者数は約 1,000 人減少し、歩行や自家用車などへの分散が見られ、公共交通の供給水準が住民の手段選択に強く影響することを確認できた。

（2）乗合タクシー廃止（図 5-8）の影響

全体に与える影響は小さいが、乗合タクシーの廃止により 230 人/月が利用手段を失い、代替として一部はバスに吸収されている。乗合タクシーが交通弱者向け施策として補完的に機能していたことを示している。

(3) 2045 年（高齢化社会）の傾向（図 5-10）

高齢化の進行に伴い、歩行やバスへの依存が高まり、自家用車やバイクの利用が減少。移動頻度の低下や運転免許返納の影響が反映された構造変化が見られた。

5.3.7.2. 想定を下回った変化の整理

(1) 2045 年の交通施策縮小（下限シナリオ）との比較（図 5-10 vs 図 5-11）

表面的には構成が大きく崩れていないが、実際にはバス利用者が約 1,500 人減少している。これらの利用者は、歩行や自家用車に吸収されたことで外見上の安定が保たれているが、「移動の選択肢の消失」が進行していることが分かる。これは、交通サービス縮小の影響が『目に見えにくい形で生活行動に現れる』という構造的な課題を示している。

5.3.7.3. 考察

本分析では、すべてのシナリオに 2018 年の行動データを用いたことで、交通施策や人口構成の違いが移動手段の選択に与える影響を定点的に比較できた。結果として、交通施策の変更は利用構造に明確な変化をもたらした一方で、人口構成の違いは、各世代の構成比に応じた利用者数の変化として適切に反映されていた。

一方で、人口スケーリングに際しては、もとの PT 調査票（n=2,093）を世代別人口に合わせて拡大係数（ウェイト係数）をかけて補正しており、とくに実票数が少ない若年層や高齢層については、1 調査票あたりの重みが大きくなっている。そのため、行動パターンの多様性が十分に再現されにくいと思われる傾向が一部に見られた。

こうした条件下においても、交通施策の違いが住民の移動手段構成に与える影響は一貫して大きく、制度設計が住民行動を左右する要因として強く働いていることが明らかとなった。

また、京急富岡駅周辺には専用の駐輪場が整備されておらず、住民が駅を利用する際には徒歩を前提とする動線が支配的となっている。このような地域インフラの条件も、本研究における徒歩移動の比重の高さに影響していた可能性がある。

5.4. 共時空間分析

本節では、住民接触機会解析システムの出力データを用いて、特定の時間帯・空間範囲に複数のエージェントが同時に存在する現象（共時空間）を抽出し、接触機会の分布とその傾向を分析する。共時空間は、「接触の可能性が生じうる時間的・空間的な重なり」として定義し、移動軌跡の交差を通じた日常的な出会い構造を定量的に可視化することを目的とする。

本分析では、「3.5.3 共時空間抽出プログラムの構成と処理」で示したように、DBSCAN（Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise）とそのパラメータ（3.5.3.1）を用いて、一定時間幅内に一定距離以内に存在するエージェントの群を空間クラスタとして抽

出する。なお、本節ではDBSCANにより抽出されたクラスタのうち、サイズが25以上のものを対象とした。minPts=100の設定により各点は高密度領域に属することになるが、近傍点の重なりによりクラスタ全体の一意な点数は圧縮される。 $\epsilon=0.010$ での観測に基づく重複率は約4.0であり、1~2個のコア点から成るクラスタは概ね25点以下となる。このため、サイズ25未満のクラスタを除外することで、偶発的な局所密集を排除し、意味のある接触構造のみを抽出することとした。

5.4.1. 共時空間分析における比較シナリオの構成と対応関係

本節では、共時空間（同一時間・同一空間における複数エージェントの存在）を通じて、住民同士の接触機会の変化を分析する。そのために、図5-12に示すように、交通施策の段階的縮小および人口構成の変化に基づく4つのシナリオ比較を設定している。

	(1) バス(100%) + 乗合タクシー (100%)	(2) バス(100%) + 乗合タクシー廃止 (0%)	(3) バス減便(50%) + 乗合タクシー (100%)	(4) バス減便(50%) + 乗合タクシー廃止 (0%)
(A)2018年 人口スケール (1万8千人)	2018- B:100/T:100	2018- B:100/T:0	2018- B:50/T:100	2018- B:50/T:0
(B)2045年 人口スケール (1万3千人)	2045- B:100/T:100	2045- B:100/T:0	2045- B:50/T:100	2045- B:50/T:0

図 5-12 共時空間分析における比較シナリオの構成と対応関係

比較対象として採用したのは、2018年および2045年の人口スケールに基づく現実的なシナリオであり、各種交通施策（バス・乗合タクシー）の変化を段階的に組み合わせている。

なお、本分析では、共時空間の抽出パラメータとして $\epsilon = 0.010$ / minPts = 100 を採用する。これは、空間的には「他人の顔が見える程度の広さ」、時間的には「14分以上の滞在」を意味し、生活行動や都市空間における自然なにぎわい感を捉える尺度として妥当と判断したものである。

5.4.2. 現状シナリオにおける共時空間の構成（2018-B:100/T:100）

図5-13は、現状（2018年時点・バス100%・乗合タクシー100%）における共時空間の空間的・時間的構成を示している。本シナリオは、本研究におけるベースラインであり、共時空間が最も多様かつ広範に分布している状態を示す（有効クラスタ数38、平均クラスタサ

イズ 499.7).

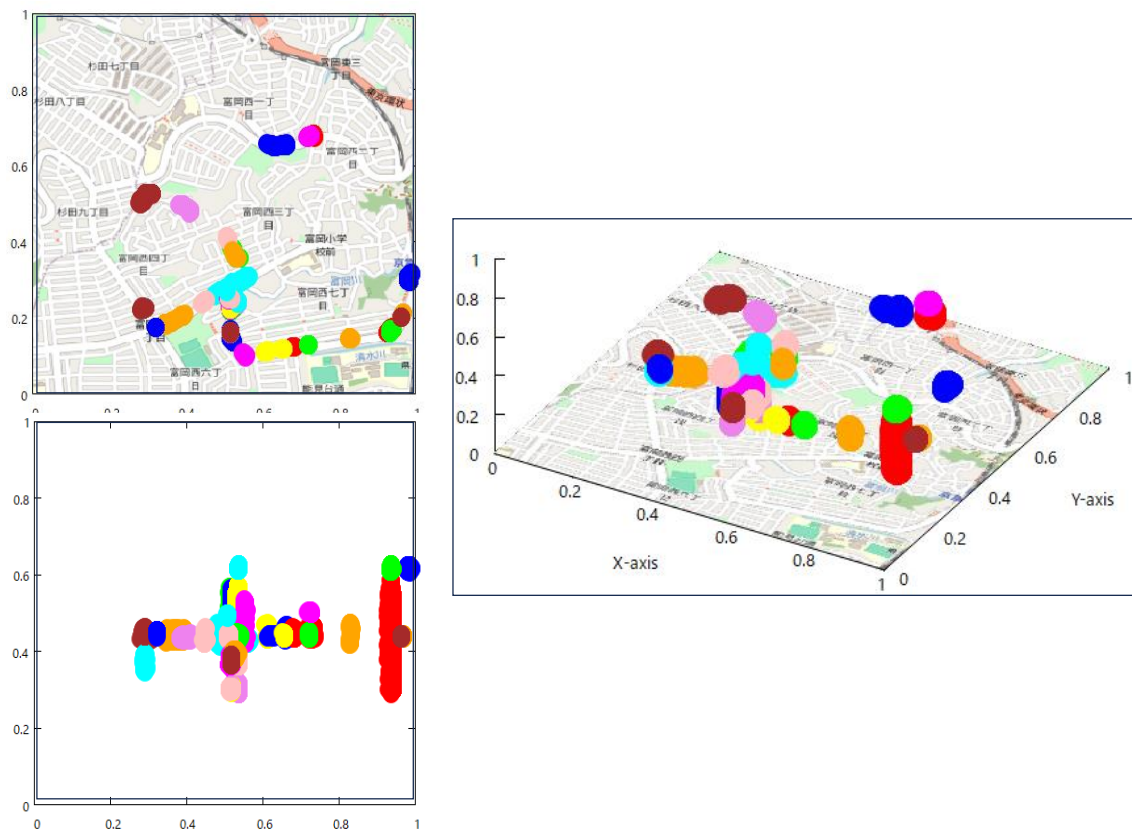


図 5-13 現状シナリオにおける共時空間の構成 (2018-B:100/T:100)

図は 3 つの視点から構成されており、それぞれ以下の意味を持つ：

左上図 (XY 俯瞰図)：

地理的な二次元空間上における共時空間の分布を示す．背景地図には対象エリアの道路や住宅地が描かれており，プロットされた円はクラスタ（＝共時空間）を表している．色はクラスタごとに分類され，同一クラスタに属するエージェントの空間的な接近を示している．住宅地・学校・幹線道路沿いなど，複数の場所で分散的に共時空間が形成されていることがわかる．

左下図 (XZ 断面図)：

横軸に X 座標，縦軸に Z 座標（時刻）を取ることで，共時空間が「いつ・どこで」発生しているかを示している．赤やピンクなどの高密度クラスタが特定の時間帯に集中しており，通学・通勤時間帯における接近のピークが読み取れる．

右図 (3D 表示図)：

XY 空間＋Z 時間軸の 3 次元図であり，クラスタの地理的位置と時間的持続の両方を一度

に把握できる。色の重なりや塊の形状から、特定地点における反復的・断続的な共時空間の発生が視認できる。例えば、駅前や学校周辺の高密度クラスタは、同時多発的な共時空間が日常的に生じていることを示唆する。

本シナリオでは、交通サービス（バスおよび乗合タクシー）がともに十分に機能しており、エージェントの移動自由度が高く、それによって接触の機会も最大化されている。多様な場所で多時点にわたり共時空間が形成されており、特に複数クラスタが交差する地点では、偶発的な出会いや社会的な接点の創出が期待される。後続のシナリオ（交通手段の縮退や人口変動）との比較において、本図は共時空間の「基準点」として重要な役割を果たす。

5.4.3. 乗合タクシー廃止による共時空間の変化（2018-B:100/T:0）

図 5-14 は、乗合タクシーを廃止した場合の共時空間の構成（2018-B:100/T:0）を 3 つの視点から示したものである。図構成は前節と同様に、上段左が XY 平面（俯瞰図）、下段左が XZ 断面（時間軸との関係）、右が 3 次元図となっており、いずれも各クラスタ（共時空間）を色分けして視覚化している（有効クラスタ数 35、平均クラスタサイズ 436.1）。

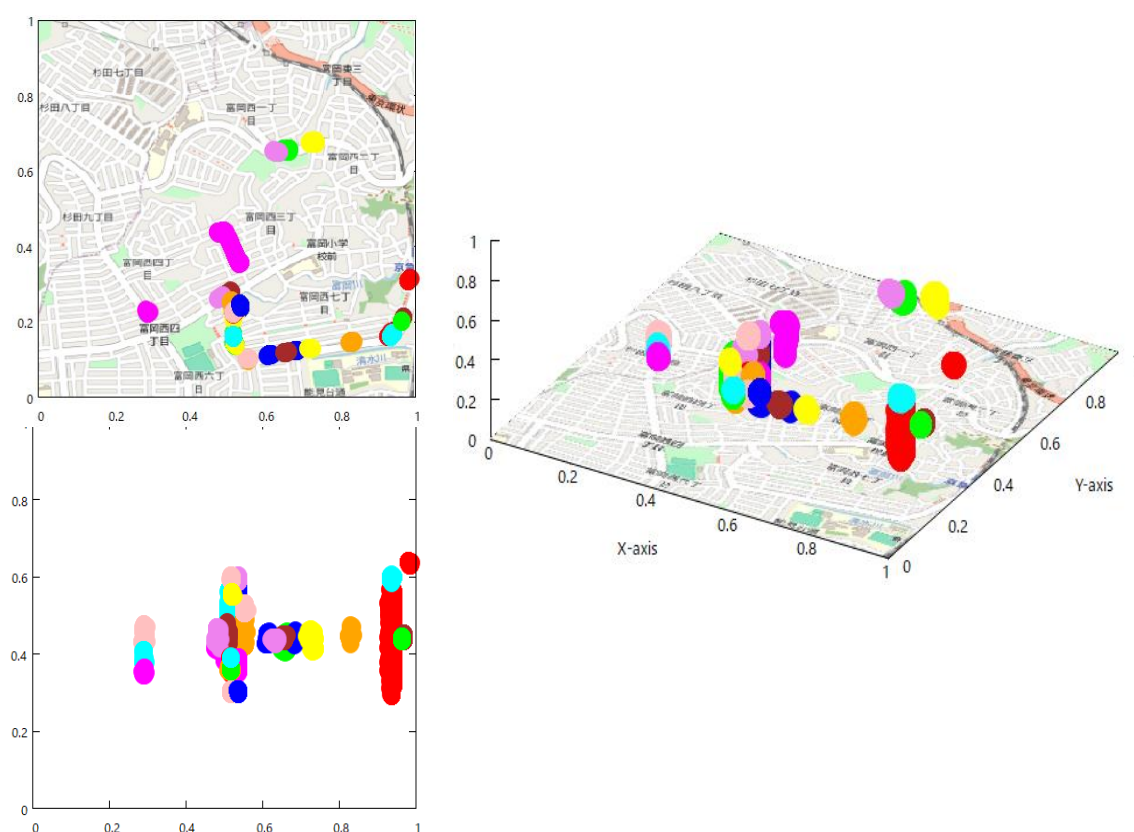


図 5-14 乗合タクシー廃止による共時空間の変化（2018-B:100/T:0）

乗合タクシーの廃止は、エージェントの移動手段をバスに依存させることになるため、交通アクセスの制約が生じ、共時空間の出現パターンに顕著な変化が見られる。以下、主な違いを指摘する。

(1) 空間分布の収縮 (XY 俯瞰図) :

クラスタの分布範囲が全体としてやや収縮しており、特に周辺部や交通空白地域でのクラスタが減少している。現状シナリオで見られた多地点的な共時空間 (図 5-14 の左上図) は、乗合タクシー廃止後には中心部やバス路線沿いに偏在する傾向が顕著になっている。

(2) 時間的重なりの変化 (XZ 断面図)

共時空間の時間的重なり (Z 軸方向) においても、やや短期化・集中化の傾向がみられる。とくに中央領域での多重クラスタの重なりは維持されているが、周縁部では明らかに発生回数が減少しており、移動の自由度の低下がそのまま接触機会の減少に繋がっている。

(3) 3次元分布による視覚的な凝縮感 (右図)

Z 軸方向 (時間軸) と XY 空間の双方において、共時空間が局所的に凝縮している様子が見て取れる。特定の場所に時間帯が集中しており、全体として共時空間の多様性が損なわれていることが視覚的にも明瞭である。

以上のように、乗合タクシーの廃止は、バスのネットワークでカバーしきれない移動需要を切り捨てる結果となり、共時空間の発生箇所・時間・頻度において、構造的な偏りを生じさせている。これは高齢者や交通弱者の行動選択を狭めることにも直結し、地域における偶発的な出会いや社会的接触の機会減少をもたらす可能性がある。

5.4.4. バスの縮小による共時空間の変化 (2018-B:50/T:100)

図 5-15 は、バスの運行頻度が 50%に縮小された場合 (2018-B:50/T:100) の共時空間の分布を、XY 平面 (左上)、XZ 断面 (左下)、および 3次元空間 (右図) において示したものである (有効クラスタ数 27, 平均クラスタサイズ 258.5)。

交通サービスの基盤であるバスの減便は、移動可能範囲およびタイミングに制限をもたらすため、地域内における人々の偶発的な接触機会に明確な変化を与える。本節では、その影響を以下の観点から考察する。

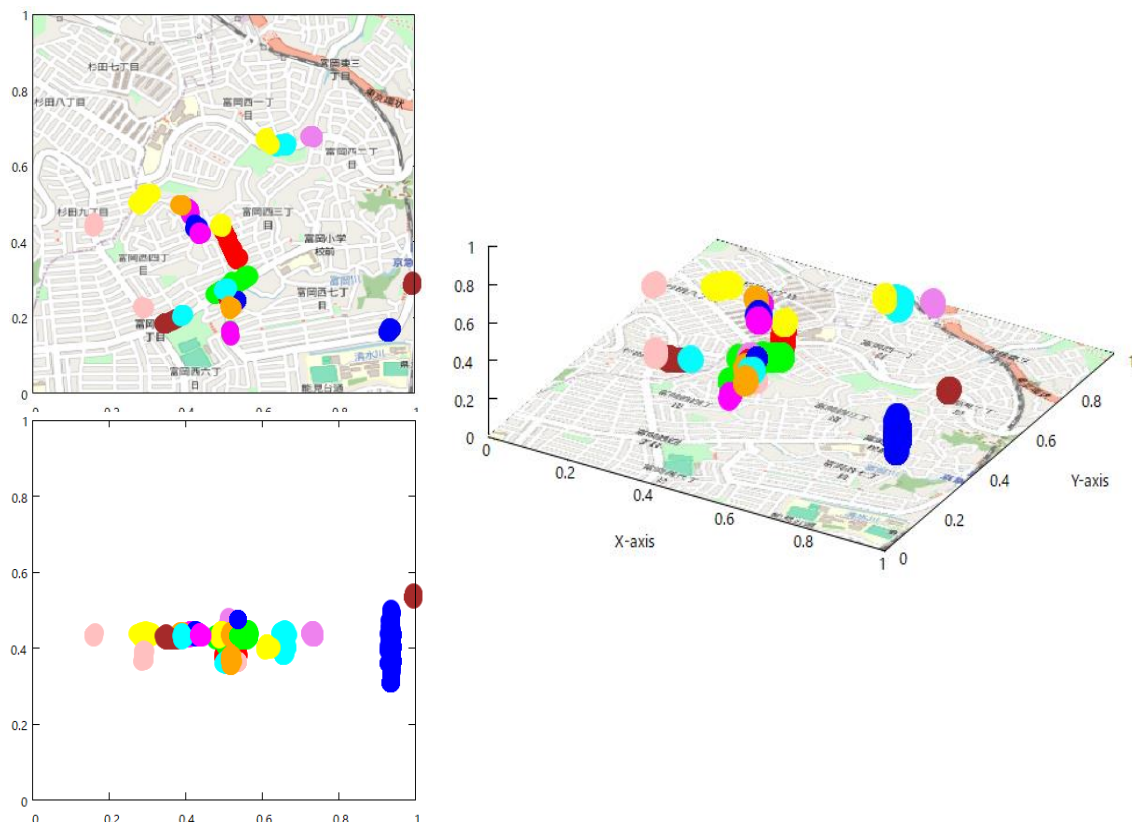


図 5-15 バスの縮小による共時空間の変化 (2018-B:50/T:100)

(1) 接触地点の偏在化 (XY 俯瞰図) :

図 5-15 左上の XY 平面では、共時空間のクラスタが一部に集中し、分散性が減退している。特に公共交通の便が相対的に高い中心部 (三丁目～七丁目) にクラスタが偏っており、周辺部における接触機会の減少が可視化されている。これは、減便により周縁部の利用者が移動を控える、または移動手段を喪失したためと考えられる

(2) 時間分布の均質化 (XZ 断面図) :

XZ 断面を見ると、共時空間の時間的な広がりやや均質化しており、極端な集中や散漫が少ない。これは、バス減便により行動開始時刻や帰宅時間が限られ、一定の時間帯に利用が集中したためと考えられる。Z 軸方向における分布の密度は、中心部では維持されているが、外縁部での時間的多様性は減少傾向にある。

(3) 3 次元的な重なり構造 (右図) :

図 5-15 右図に示される立体的なクラスタ構造は、交通網に制約が生じることで、共時空間がより”分厚く”なっている箇所 (特に青・緑系のクラスタ) を示している。これは、同じ時間・場所に人々が集中して留まる状況を意味し、バス利用者が減少することで残された接触機会がより限られた場所に収束していることを示唆している。

このように、バス減便は単に移動の不便さをもたらすだけでなく、共時空間の質（空間的多様性）と量（発生数）の両面において、地域住民の社会的接触機会を縮減させる効果がある。本研究では、特に交通弱者層（高齢者や免許返納者）にとっての影響が大きい点に注目する必要がある。

5.4.5. 将来の高齢化社会における共時空間の変化（2045-B:100/T:100）

図 5-16 に示されるのは、2045 年の将来人口（高齢化を含む）を前提としつつ、交通サービス水準が現状（2018 年）と同等に維持されているケースにおける、共時空間の地理的分布である（有効クラスタ数 14，平均クラスタサイズ 540.1）。

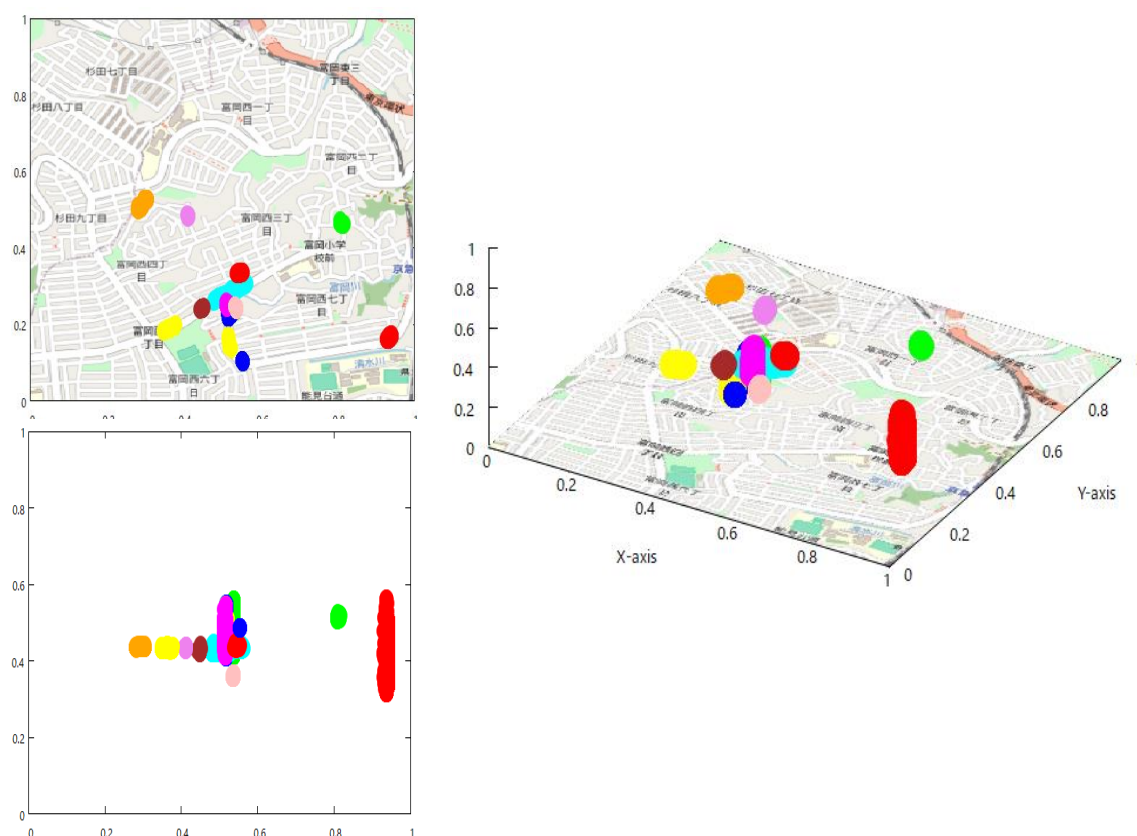


図 5-16 将来の高齢化社会における共時空間の変化（2045-B:100/T:100）

（1）全体的な出現数の減少傾向:

クラスタのサイズは維持されているが、クラスタの総数は明らかに減少している。これは、2045 年の人口構成、すなわち高齢化と人口減少により、移動主体そのものが少なくなること示している。移動の総量が減ることで、偶発的な接触機会＝共時空間の発生頻度が構造的に低下している。

(2) 特定地点への集約化:

クラスタは市街地中心部に集中しており、六丁目から七丁目付近（中段～右下）に密な集積が見られる一方、周縁部では発生が限定的である。この傾向は、移動能力が低下しやすい高齢者が、歩行圏またはサービス圏に依存する行動傾向を反映していると考えられる。

(3) 移動意欲と共時空間の縮退:

クラスタの分布が狭く重なりも少ない点は、複数人の「偶然の交差」よりも、限定された地点での「目的的な滞在」が主となっていることを示唆している。これは、将来社会において、移動そのものが「目的」ではなく「制限付きの必要行動」として変質する可能性を示している。

この結果は、共時空間の量的縮退とともに、社会的接触機会の地理的・構造的偏りの拡大を示すものである。特に交通サービスが維持されていたとしても、それを活用する住民構成・生活様式の変化が、都市内の”出会いの構造”にまで影響を及ぼすことを確認できる。

5.4.6. 将来の下限シナリオにおける共時空間の変化（2045-B:50/T:0）

図 5-17 は、将来の高齢化社会（2045 年）において、バスの運行本数が半減（B:50）、乗合タクシーが廃止（T:0）された”下限シナリオ”における共時空間の分布を可視化したものである（有効クラスタ数 1、平均クラスタサイズ 37.0）。

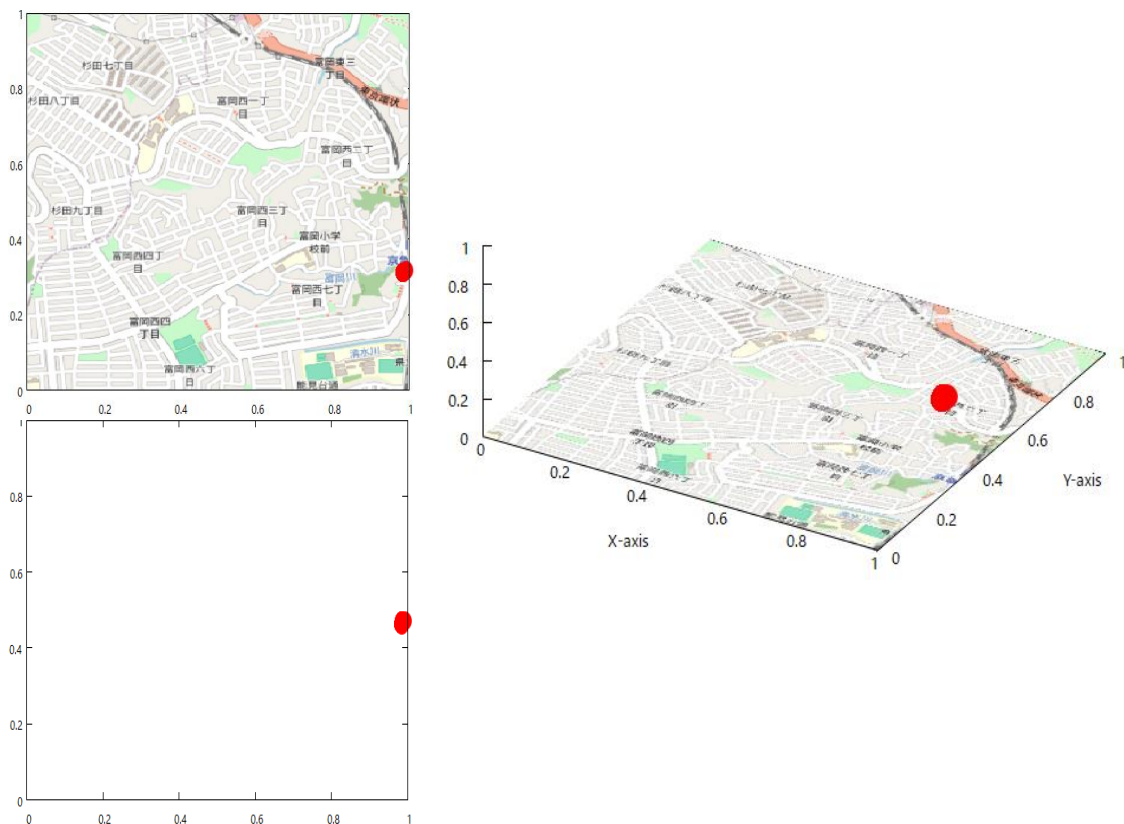


図 5-17 将来の下限シナリオにおける共時空間の変化（2045-B:50/T:0）

(1) 共時空間の極端な縮小:

表示されたクラスタ数はわずかに 1 つであり、これは、日中の偶発的な接触（共時空間）がほとんど発生しない状況を示している。前節（2045-B:100/T:100）ではなお分布が維持されていたが、この下限シナリオでは構造的に”出会い”そのものが成立できなくなっている。

(2) 空間分布の偏りと局所集中:

表示されたクラスタ、駅周辺のみであり、地域全体に広がる共時空間のネットワークは消失している。これは、移動手段の喪失により遠距離移動が困難となり、行動が駅周辺に限定されることを示している。

(3) 社会的孤立の顕在化:

地図を俯瞰しても、市内の中心部に位置する生活・交流拠点にすらクラスタが出現していない点が注目される。これは、「行きたい場所」ではなく「行ける場所」が生活圏を支配していることを示唆しており、高齢化による移動困難と、交通インフラの機能不全が重なった結果、社会的孤立が空間的に固定化されていることを意味する。

(4) 接触機会の”空白域”の拡大:

これまで多くのクラスタが観測されていたエリア（中央部、南西部、学校周辺など）がすべて空白になっている。これは、接触機会を創出する交通の支援が失われた地域では、生活空間そのものが分断・孤立化することを端的に示している。

この下限シナリオにおける共時空間の崩壊は、単なる「移動不便性」の問題を超えて、住民の社会的接触の構造的断絶を意味する。本結果は、公共交通の”量的な維持”が、高齢化社会におけるコミュニティ接続性の担保に不可欠であることを示している。今後の施策設計においては、単なる便数維持ではなく、「接触機会創出」を意識した空間配慮型のサービス設計が求められる。

5.4.7. 共時空間分析の総括

交通施策の縮小が共時空間に与える影響は明確であり、乗合タクシー廃止やバスの減便によって、住宅街でのクラスタが消失する傾向が確認された。特にバスネットワークの縮小は、日常的な接触機会の構造そのものを弱体化させ、地域社会の空間的つながりに強い影響を与えることが示された。

また、高齢化が進行する 2045 年のシナリオであっても、交通施策を 2018 年レベルで維持していれば、共時空間の数は減るもののサイズは一定程度確保されていた。これは、公共交通が高齢者にとって社会的接触を支える重要な手段であり、地域的な孤立を防ぐ機能を果たすことを示唆している。

逆に、交通施策を 2018 年レベルで維持できなくなれば、共時空間のクラスタがほぼ完全に消滅し、住宅街はもちろん、交通結節点での形成も見られなくなる。この現象は、交通施策の有無が接触機会の「存在条件」となっていることを強く示唆している。

なお、共時空間は DBSCAN のパラメータの値 (ϵ , minPts) によって検出感度が大きく左

右される。現在の設定は 2018 年の状況を基準としており、その結果、2045 年では共時空間の出現が著しく減少しているように見える。しかし、パラメータを緩和することで、コミュニティセンターなど他の生活拠点においても共時空間が出現することは確認されている。このように、共時空間の検出はパラメータの値に依存するため、交通施策や人口減少の影響と連動させて、適切に設定値を調整する必要がある。

5.5. RCM 分析

第 5.4 節の共時空間分析では、エージェント同士が同一の空間・時間を共有する「接触機会」の分布と傾向を扱った。本節では、そうした接触の中でも、同じ相手と複数回・偶然に接近する現象に着目し、RCM の構造を分析する。

RCM とは、「日常生活における移動や滞在の中で、同一人物と複数回にわたり偶然に出会う時間または機会」であり、都市生活における計画的な関係に依存しない、“繰り返し居合わせる”ことで生じる接触機会である。

共時空間が、地域内で人が集まりやすい時間帯や空間（場）を抽出する分析手法であるのに対し、RCM は、特定された個人ペアが、視認可能な距離まで接近する接触を複数回記録したものであり、より個別的・関係性志向の接触構造を定量化する指標である。

本研究では、RCM を定量的に捉えるために、同一のエージェントペアが、一定時間（例：1 分）・一定距離（例：10m）内で同居した回数や頻度、間隔を指標化する。検出には第 4 章で示した時空間キューブを構成する時空間セル（10m×10m×1 分）を用い、30 日間にわたるデータから、各ペアの同居回数（count）および使用した交通手段数を抽出する。

本節では、RCM 回数の多いペア上位から、接触頻度と交通手段数の関係を可視化するとともに、30 日間に出現した RCM ペアの総数を示すことで、都市内における偶発的な人間関係の萌芽や交通施策による構造変化を明らかにする。

なお、RCM の対象交通手段は、「バス」「乗合タクシー」「歩行」に限定する。これらは公共空間での非意図的接触が生じやすい手段であるためであり、自家用車・タクシー・バイク・自転車など、他者との共滞在を前提としない手段は分析対象外とする。

5.5.1. 指標の定義と意義

本節では、RCM の分析に先立ち、RCM を構成する 3 つの指標を定義し、それぞれの意味と分析上の役割を明確にする。RCM は、あるエージェントペアが非計画的に複数回接近する事象であり、その出現頻度や持続性、広がりをも角的に捉える必要がある。したがって本研究では、以下の 3 指標を用いる：

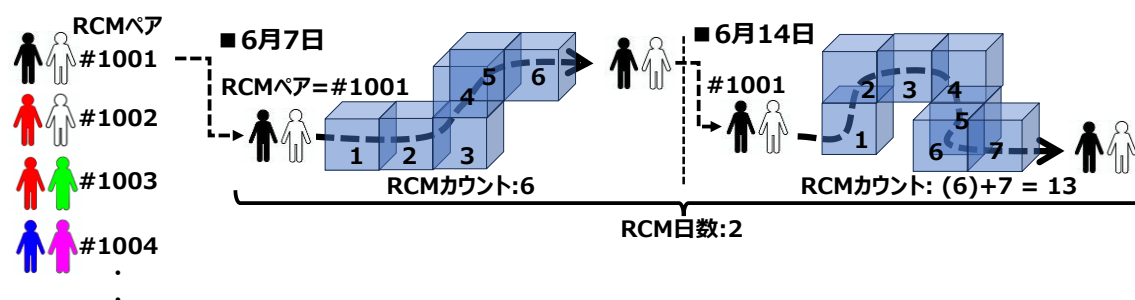


図 5-18 RCM 指標のイメージ図

表 5-5 RCM 指標の定義と意義

指標名	定義	意味・解釈	具体例
RCMペア数	分析期間中（例:1ヶ月間）に、時空間キューブの時空間セル（10m×10m×1分）内に、1回以上共在したペアの総数	接触機会を得たペアが、（例えば1ヶ月の間に）どれだけ作り出されたか	『対象エリア内で、1ヶ月の間に、総計700万のペアが発生した』
RCMカウント	各RCMペアについて、共在が記録された時空間キューブの時空間セルの総数	接触機会を得たペアが、どれだけ長く／頻繁に接触し続けたか	『あるペアは、同じバスで20分間一緒に乗っていた → 1分単位のキューブ20個分 → RCMカウント=20』
RCM日数	上記RCMペアについて、RCMカウントが記録された日を1日単位でカウントした数	接触機会を得たペアが、（例えば1ヶ月の間に）何日接触したか	『上記のAさんBさんが、1ヶ月の間に7日バスで一緒になっていた → RCM日数=7』

なお、時空間キューブとは、多数の 10m×10m×1 分の時空間セルで構成される三次元の直方体であり、接触機会の検出単位として本研究で用いる分析フレームである。RCM は、このセル内にエージェントが同時に存在したかどうかにより算出される。

これらの指標は、RCM という現象の多層的な側面である「出会った人数の多さ（ペア数）」「1 ペアごとの接触の深さ（カウント）」「期間の広がり（日数）」をそれぞれ捉えるものである。特に、RCM カウントや RCM 日数は、単なる接触回数だけでなく、都市空間における人間関係の潜在的な形成プロセスの兆候を定量化するものと位置づけられる。

5.5.2. 各シナリオにおける RCM カウントの比較

表 5-6 および図 5-19 は、各交通施策および人口スケーリングの組合せシナリオにおいて、RCM カウントの総量を比較したものである。ここでの RCM カウントとは、同一ペアのエージェントが、時空間キューブ（10m×10m×1 分のセル）内で複数回共在した回数の合計を意味する。

表 5-6 各シナリオにおける RCM カウントの比較表

	(1) バス+ 乗合タクシー	(2) バス+ 乗合タクシー廃止	(3) バス減便+ 乗合タクシー	(4) バス減便+ 乗合タクシー廃止
(A)2018年 人口スケーリング (1万8千人)	7,679,855 (770万ペア)	7,368,185 (736万ペア)	6,788,091 (679万ペア)	8,274,396 (827万ペア)
(B) 2045年 人口スケーリング (1万3千人)	2,750,761 (275万ペア)	2,466,178 (247万ペア)	2,606,606 (261万ペア)	2,694,818 (269万ペア)

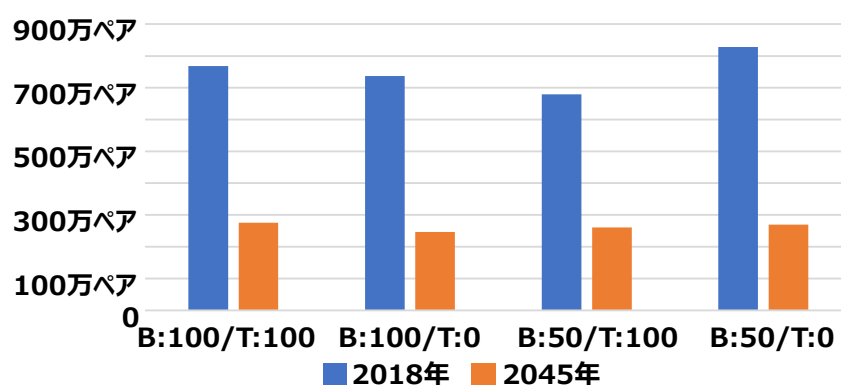


図 5-19 各シナリオにおける RCM カウント比較グラフ

まず、人口スケーリングによる影響として、(B) 2045 年スケーリングではすべての交通シナリオにおいて RCM カウントが減少しており、これは単純な人口減少により RCM の機会総数が縮小したためと解釈できる。

次に、交通施策の影響をみると、全体として交通サービスの縮小が RCM カウントの減少に寄与している。一方で、2018 年スケーリングにおける「バス減便+乗合タクシー廃止」

(A-4) では RCM カウントが最大となっており、これは交通手段を失ったエージェントが歩行移動に転換した結果、空間的なすれ違いが拡散し、RCM カウントの増加をもたらしたと考えられる。

興味深いのは、(A-2)「バスのみ維持」と (A-3)「バス減便+乗合タクシー維持」の間で RCM カウントが逆転している点である。これは、乗合タクシーの性質上、同じ乗客が固定的に利用しやすく、RCM のペアは維持されやすいものの、新たな接触機会の拡張は起きにくく、結果的に RCM カウントの総量としては抑制的に働いた可能性がある。

このように、RCM カウントは単にペア数の多寡だけでなく、個々のペアにおける繰り返し接触の強さと交通手段の制約が相互に関係しながら決定されていることが示唆される。

5.5.3. 共時空間分析における比較シナリオの構成と対応関係

本節では、RCM の接触構造を明らかにするため、図 5-12 に示す 4 つのシナリオに基づく比較を行う。横軸には 4 つの交通施策（(1) 現状維持、(2) 乗合タクシー廃止、(3) バス減便、(4) 両方廃止）を、縦軸には人口スケーリング（(A) 2018 年水準、(B) 2045 年推計）をそれぞれ配置し、各交点に対応するシミュレーション結果を対応付けている。

	(1) バス+ 乗合タクシー	(2) バス+ 乗合タクシー廃止	(3) バス減便+ 乗合タクシー	(4) バス減便+ 乗合タクシー廃止
(A)2018年 人口スケーリング (1万8千人)	2018-B:100/T:100	2018-B:100/T:0	2018-B:50/T:100	2018-B:50/T:0
(B) 2045年 人口スケーリング (1万3千人)	2045-B:100/T:100	2045-B:100/T:0	2045-B:50/T:100	2045-B:50/T:0

図 5-20 RCM 分析における比較シナリオの構成と対応関係

ここでの分析の目的は、RCM の構造が将来の人口構成の変化によりどのように変容するかを把握することである。すでに RCM ペア数や RCM カウントの総量については第 5.5.1～0 節で示しており、単純な数値比較や交通施策間の差異は本節の主眼ではない。むしろ、同一施策において 2018 年と 2045 年を比較することで、人口構成と居住分布の変化が RCM 構造に与える影響を定性的に把握することを目的とする。

また、図示にあたっては RCM の発生ペア数が 200 万を超えるため、可視性の確保とロングテール構造の把握のため、横軸（ペア番号）を対数スケールで表現している。これにより、RCM が一部の特定ペアに集中している傾向と、全体の分布状況の両方を一枚の図上で俯瞰的に捉えることが可能となる。

5.5.4. 2018/2045 年における現状シナリオの RCM 構造 (B:100/T:100)

図 5-21 は、2018 年と 2045 年における、バス、乗合タクシー、歩行による RCM 日数を、その日数の多いペアの順番に並べて表示したものである。2045 年は 2018 年より RCM 日数が下回っているが、これは人口減少による影響と考えられる。また、いずれの手段においても全体的に左側に偏っているが、乗合タクシーはその傾向が顕著である。乗合タクシーでは、限られた住民同士の接触が繰り返されている構造が明らかになっている。

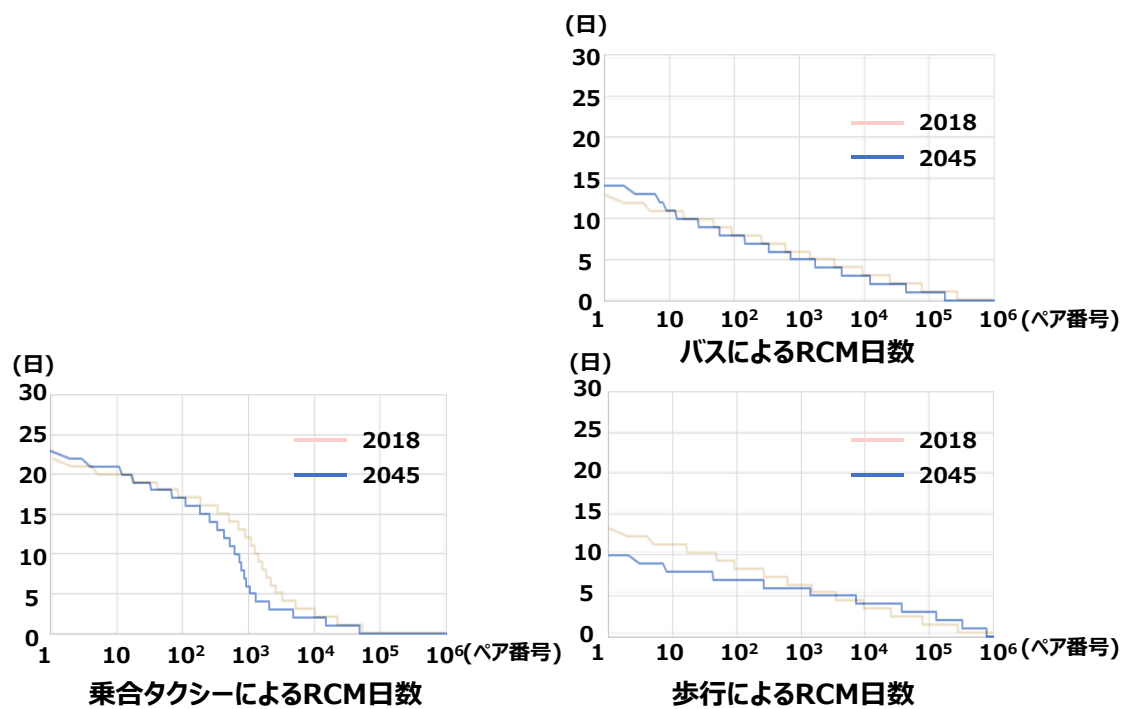


図 5-21 2018/2045 年の現状シナリオにおける各移動手段による RCM 日数 (2018-B:100/T:100)

図 5-22 は、移動手段を問わず RCM カウントの多い順にペアを並べて、そのペアの並びに応じて 2018 年/2045 年におけるバス、乗合タクシー、歩行による RCM 日数を表示したものである。

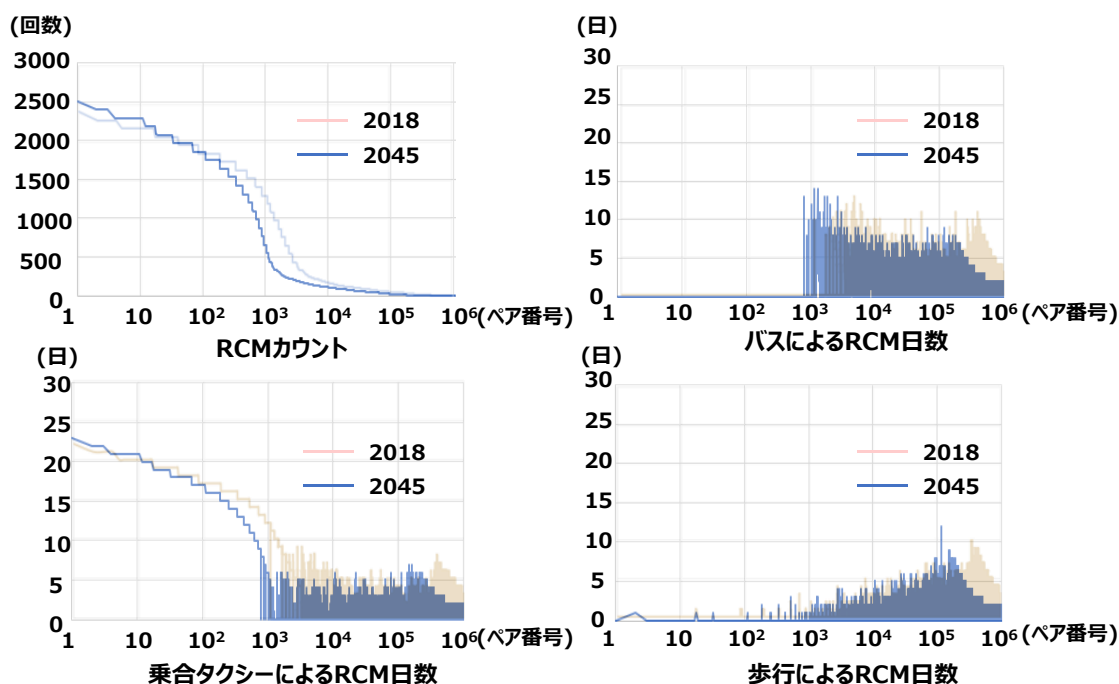


図 5-22 2018/2045 年現状シナリオにおける RCM 構造の詳細 (2018-B:100/T:100)

まず RCM カウント（左上）において、2045 年のカーブは 2018 年に比べて全体に滑らかに低下しており、特にカウント上位の集中が弱まっている。この変化は、人口減少による接触機会の希薄化に加え、高齢者中心の行動特性（移動範囲の縮小・行動時間帯の集中）がペアの分散を抑制し、特定ペアによる高頻度接触の形成を妨げていることが原因と考えられる。

RCM カウントは、上位ペアに集中し、その後急激に減少する典型的なロングテール型分布を示しており、これは他のシナリオでも同じ傾向となっている。このように RCM カウント順に各移動手段の RCM 日数を表示してみると、バスと乗合タクシーにおいては、多くの RCM 日数が特定の上位ペアに集中しており、これは両交通手段が計画的なルートと時刻に基づく運行であるため、同一エージェント間で繰り返し接触が生じやすいことを示している。特に乗合タクシーにおいては、接触機会が少数のペアに集中しており、利用者の固定化傾向が見て取れる。

一方、歩行による RCM 日数は分布がより広範に及び、順位が下がるにつれて緩やかに増加する傾向が確認される。これは、歩行移動により多様なエージェント間で偶発的な接触が発生していることを反映しており、RCM 構造の分散性を生む重要な要素となっている。

2045 年に着目してみると、バス RCM 日数（右上）では、ピーク位置は 2018 年と類似しているものの、全体の分布幅が縮小しており、日常的なバス接触機会が限定的となっていることを示唆する。これは、人口減少により同じバスに乗るエージェントの総数が減少し、自

然接触が発生する確率が低下したためである。

また、乗合タクシーRCM 日数（左下）では、接触頻度の高いペアが減少傾向にあり、接触の「濃さ」が薄れている。これは、2045 年においては高齢者の利用割合が相対的に増え、目的や時間帯が画一化されやすく、接触構造の多様性が失われたことを反映している可能性がある。

一方、歩行 RCM 日数（右下）は、比較的分布が広がる傾向を示しており、移動手段の中では比較的安定した接触機会を提供している。これは、高齢者が歩行による近距離移動を主体とする傾向があるため、住宅周辺における偶発的な RCM が持続して発生していることを表していると考えられる。

以上のように、2018 年と比較して、2045 年の RCM の「量」は施策の維持によって保たれたものの、構造的な接触の集中性と多様性は、人口減少と高齢化により変質している。これは、将来的に施策水準を維持したとしても、RCM による社会的な結びつきの構造は変化する可能性を示唆しており、量だけでなく質的な観点からの RCM 評価の重要性を浮き彫りにしている。

5.5.5. 2018/2045 年における下限シナリオの RCM 構造 (B:50/T:0)

図 5-23 は、2018/2045 年の人口スケーリングを前提とし、バスの運行本数を半減し、乗合タクシーを廃止した下限シナリオ (2018/2045-B:50/T:0) における RCM 構造を示している。本図では、RCM カウント、RCM 日数（バス・乗合タクシー・歩行）をそれぞれ RCM カウントのペア順位に基づきプロットしたものである。

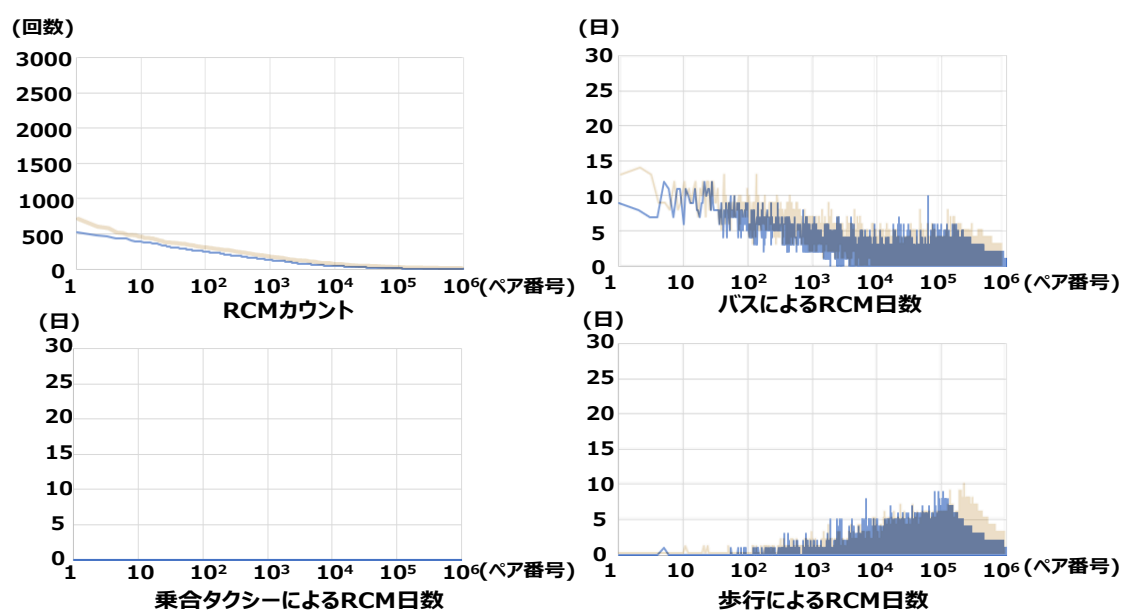


図 5-23 2018/2045 年の下限シナリオ (2018-B:50/T:0) における RCM 構造の変化

RCM カウント（左上）を見ると、現状シナリオ（2018/2045-B:100/T:100）と比較して、カウント上位の減少が顕著であり、曲線全体が平坦化している。これは、バス減便とタクシー廃止により、エージェント同士が同一車両や空間で長時間共在する機会が減り、高頻度接触が生じにくくなったことを意味する。

バス RCM 日数（右上）においても、全体の接触日数が減少し、分布のピークが後方に移動している。これは運行本数の減少により、偶然同乗する機会が少なくなったことに起因する。また、グラフ全体のばらつきが小さく、接触構造の均質化が進んだことも読み取れる。

乗合タクシーRCM 日数（左下）はゼロであり、図上も表示がない。これは施策によって乗合タクシーが廃止され、対応する交通空間が完全に失われたためである。

一方、歩行 RCM 日数（右下）は、現状シナリオと比較して全体として増加傾向がみられる。これは、バスやタクシーが利用できなくなったことで、歩行による移動が増え、同一歩行経路を通過するエージェント間での偶発的な接触が増えた結果と考えられる。ただし、ピーク値や密度は分散しており、接触の一貫性は弱い。

これらの結果から、RCM 構造は交通手段の削減に大きく依存し、特に長時間の接触機会を持つペアが形成されにくくなることが明らかとなった。また、歩行による RCM が代替的に生まれるものの、その性質は分散的であり、日常的な接触の継続性という観点では弱い関係にとどまる可能性が高い。

特に、2045 年に着目してみると、RCM カウント（左上）は、2018 年と比較して全体的に低下し、特に上位ペアのカウントが大幅に減少している。これは、RCM の成立に寄与する交通空間（特にバスやタクシー）が大幅に減ったことで、エージェント同士の継続的接触が困難になったためである。また、高頻度接触のペアが形成されにくくなり、曲線が平坦化している点が特徴的である。

2045 年のバス RCM 日数（右上）では、接触日数の全体的な減少に加え、分布のピークが後方へ移動しており、接触頻度の高いペアが消失している。これは、バス減便によって同一便に乗り合わせる機会が減少し、再接触の確率が著しく低下したことを示している。

2045 年の乗合タクシーRCM 日数（左下）は、施策上の廃止により完全に消滅しており、RCM の発生空間が一部失われている。このことは RCM 構造の「縮退」を意味し、特に高齢者など交通手段への依存度の高い層にとって接触機会の喪失を示唆している。

2045 年の歩行 RCM 日数（右下）についても、現状シナリオと比較して接触日数・接触の継続性が全体的に低下している。特に、高日数帯のペア群が消失し、分布が低日数側に偏っていることから、歩行による RCM は断続的かつ偶発的なものにとどまり、持続的な接触機会の形成には至っていないと考えられる。

全体として、本シナリオでは RCM 構造の持続性と密度がともに低下し、都市内の偶発的な人間関係の形成機会が著しく減少したことが示される。特に、交通手段の削減と高齢化を伴う人口構成の変化が、RCM の頻度・継続性・分布に対して強い影響を及ぼしている点は注目に値する。

5.5.6. バスと乗合タクシーの RCM カウント発生と比較

上記の結果から、バスと乗合タクシーが RCM カウントを発生させる媒体として機能していることが判明した。本節では、バスと乗合タクシーの RCM カウントを発生させるポテンシャルの比較を試みた。表 5-7 にバスと乗合タクシーの RCM カウント発生と比較表を示す。

表 5-7 バスと乗合タクシーの RCM カウント発生と比較表

	2018-B:100/T:100		2045-B:100/T:100	
	バス	乗合タクシー	バス	乗合タクシー
運行便数(1日)	184便	26便	184便	26便
RCMカウント 合計(30日間)	14,399,045	5,266,214	5,721,286	2,149,320
RCMカウント (1日・1便)	2608.5	6751.5	1036.4	2755.5

この表から明らかなように、バスが生成する RCM カウントは乗合タクシーを圧倒しているが、これを運行便数単位で比較してみた場合、乗合タクシーはバスより約 2.6 倍高い RCM カウント生成ポテンシャルを有していることが分かる。住民接触機会を生成する媒体として、乗合タクシーは費用対効果の高い手段として位置づけることができる。

5.5.7. RCM 分析の総括

本節では、RCM 構造の変化を、4 つの主要シナリオ (1) 2018 年・現状シナリオ (2018-B:100/T:100)、(2) 2018 年・下限シナリオ (2018-B:50/T:0)、(3) 2045 年・現状シナリオ (2045-B:100/T:100)、(4) 2045 年・下限シナリオ (2045-B:50/T:0) を比較することで明らかにした。

まず、RCM カウント上位ペアの構造においては、2018 年の 2 シナリオ間 ((1) と (2)) では、交通施策の違いによる RCM カウントの明確な差異が見られ、特にバス・乗合タクシーの減便・廃止する (2) では、高頻度で接触するペアが著しく減少していた。これは、交通手段の減少により移動範囲や機会が限定され、特定の人物と繰り返し出会う確率が下がったことを示す。

次に、2045 年の 2 シナリオ ((3) と (4)) でも同様の傾向が認められたが、2018 年に比して、RCM カウントの絶対値自体が減少しており、現状シナリオであっても RCM の蓄積性が相対的に弱まっていた。これは、人口総数の減少に加え、年齢構成比の高齢化により、エージェントの活動量や移動頻度が低下し、結果として接触機会の回数が減少したこと

起因すると考えられる。

また、歩行 RCM 日数に注目すると、交通施策が制限された場合（(2) および (4)）では、バスや乗合タクシーによる再接触が困難となる一方で、歩行による接触頻度の分布が拡散し、局所的な RCM が一定程度発生する傾向も見られた。しかしながら、これはランダム性の高い断続的接触にとどまっており、RCM が本来想定するような「繰り返し発生する接触機会」としての定常性は弱いと評価できる。

さらに、バスと乗合タクシーの RCM カウント発生能力の比較からは、バスが全体として多くの RCM を生成している一方で、運行便数あたりで見た場合、乗合タクシーの方が高い RCM 生成効率を示すことが明らかとなった。すなわち、限られた運行資源のもとでより多くの住民接触機会を創出する手段として、乗合タクシーは公共交通政策上の有力な選択肢となり得る。

総じて、RCM 構造は「人口スケーリングによる接触母数の減少」と「交通施策による行動自由度の制限」という 2 要因によって大きく左右される。特に、2045 年のような将来人口減少社会では、施策的に公共移動手段を確保・維持することが、日常生活における繰り返し発生する接触機会（=RCM）の保持に不可欠であることが定量的に示された。

5.6. RCM 属性分析

前 5.5 節では、RCM を「接触回数」によって定量化し、社会的接触機会の全体像を把握した。しかし、RCM の価値は単なる回数の多寡にとどまらず、むしろその背後にある“人間関係”を見据えることで、より質的に意味のある指標として捉えられる可能性がある。

このような観点から、本節では「RCM が発展しやすい属性的な条件」に着目する。具体的には、以下のような属性を共有するペア間で RCM が発生した場合、接触後の社会的関係性が深化する可能性が高いとする仮説のもと、RCM 構造における属性の構成比を分析する。

(i) 同じ地区に居住しているペア（富岡西 1 丁目～東 3 丁目、磯子区杉田 9 丁目の全 9 地区）

(ii) 同じ世代（年齢層）に属するペア（10,20....90 歳台）

(iii) 同じ性別のペア（男/女）

これらの属性は、偶発的な接触においても、行動範囲・生活リズム・時間帯の共通性を生みやすく、RCM の発生を促進する要因となる可能性が高いという研究がある^{73) 74)}。また、接触後の関係性の発展においても一定の素地となることが期待され、RCM の「質的解釈」における重要な手がかりとなりうるかを探る。

5.6.1. RCM 属性における比較シナリオの構成

本節では、RCM の質的構造を把握するために、RCM が発生したペアの属性的特徴に着目し、分析を行う。比較対象とするのは、第 5.4 節で扱った 4 つの代表的なシナリオ、すなわち「2018-B:100/T:100」「2018-B:50/T:0」「2045-B:100/T:100」「2045-B:50/T:0」である（図 5.5.1

参照)。これらは、交通施策（バス・乗合タクシーの有無）および人口スケーリング（2018年・2045年）の両側面から、RCMの発生構造に最も顕著な差異を示す組み合わせとして選定された。

	(1) バス+ 乗合タクシー	(2) バス+ 乗合タクシー廃止	(3) バス減便+ 乗合タクシー	(4) バス減便+ 乗合タクシー廃止
(A)2018年 人口スケーリング (1万8千人)	2018-B:100/T:100	2018-B:100/T:0	2018-B:50/T:100	2018-B:50/T:0
(B) 2045年 人口スケーリング (1万3千人)	2045-B:100/T:100	2045-B:100/T:0	2045-B:50/T:100	2045-B:50/T:0

図 5-24 RCM 属性分析に用いる 4 シナリオの構成

RCM 属性分析においては、各シナリオにおいて RCM が発生した全ペアを、RCM カウントの高い順に並べ、その順位に基づいて各ペアの属性一致率（性別・年齢層・住所）を累積的に計測する。RCM ペア総数はシナリオによって異なるが、概ね 200 万～800 万ペアに達する。そのため、本分析では上位 100 万ペアまでを対象に測定を行った。

また、横軸には対数スケールを採用している。これは、RCM カウントの上位に少数の極端な値（例：通学・通勤による長時間接触のペア）が集中する一方、中位から下位にかけては長いテールを形成するという分布特性に基づく。対数軸の導入により、全体構造の中での相対的な変化を一貫して可視化でき、上位ペアにおける属性偏在の傾向と、下位ペアにおける多様性の広がりを読み取ることが可能となる。

本構成により、RCM の量的な規模にとどまらず、その背後にある属性的な接触構造を浮かび上がらせ、交通施策や人口変化が住民の出会いの「質」にどのような影響を及ぼすかを検証できる。

5.6.2. 同属性率の構造的変化とシナリオ間比較

以下に、全体傾向と差分の要因とその分析結果に分けて記載する。

5.6.2.1. 全体傾向の把握

今回の 4 シナリオの RCM 属性分析の結果を、図 5-25 に示す。

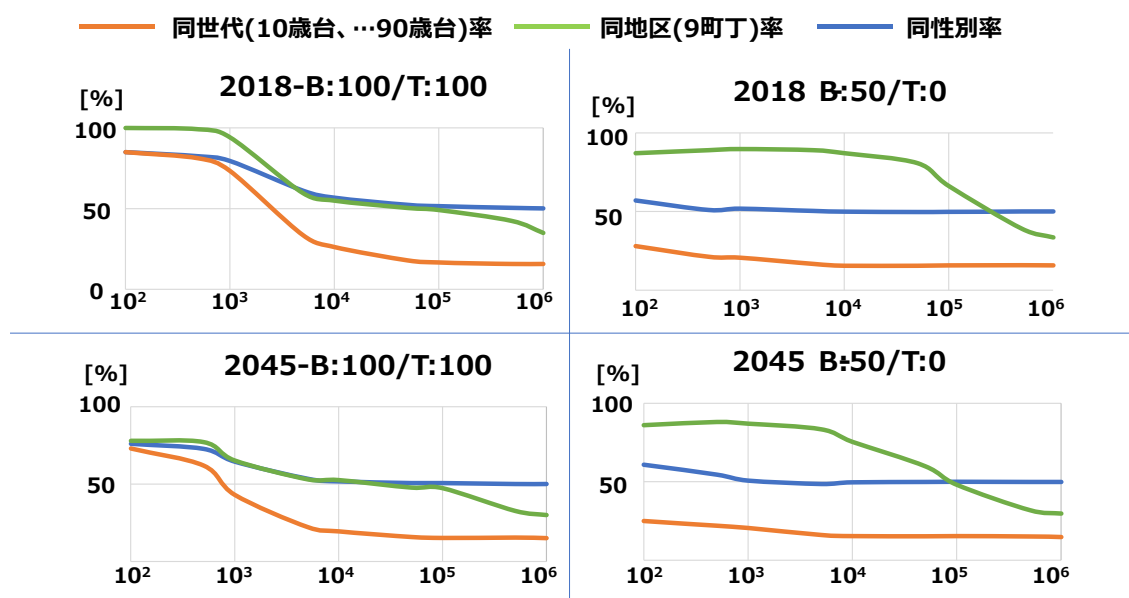


図 5-25 RCM 上位ペアにおける属性一致率のシナリオ別推移（同住所・同世代・同性）

RCM 属性における構造的傾向として、上位ペア（RCM カウントの高い順）においては、同地区・同世代・同性といった属性の一致率が高くなる傾向が各シナリオに共通して見られた。これは、頻繁な偶然接触が、生活圈や生活リズムの共通性に強く依存していることを示している。

具体的には、RCM 上位では同地区率が最大 70～80%，同世代率・同性率も 60～70%に達する場合があります。偶発的接触が「空間的近接」および「生活習慣の共通性」によって規定される構造を持つことが示唆される。一方、対象ペア数が増えるにつれて各一致率は母集団の平均に収束し、特に同性率は 50%付近に安定する傾向を見せた。これは、RCM が特定の条件下で濃密な関係性を持ち得る一方で、全体的には偏りなく発生していることも併せて示している。

5.6.2.2. 差分要因の分析

一方で、交通施策や人口構成の違いにより、同一属性率に顕著な差異が観察された。以下にその要因を整理する。

(1) 同地区率が交通施策の異なるシナリオ間で大きく異なる理由

RCM における同地区率は、交通施策の縮小により顕著に上昇する傾向を示した。特に「B:50/T:0」（バス半減・乗合タクシー廃止）シナリオにおいては、歩行主体の移動が行動の中心となり、結果として接触が同一地区内で発生しやすくなっている。

この傾向の背景には、以下の構造的要因が考えられる。

① 歩行主体化による行動半径の極小化：移動手段が失われたことで、エージェントの行動範囲が狭まり、近隣での活動に限定される。

② 地区内機能集中による接触ポイントの偏在：歩行によるアクセス可能範囲に生活機能が集中しているため、接触機会が地区内に偏在しやすい。

なお、同地区率の傾向は、2018 年と 2045 年で比率は異なるものの、施策ごとの傾向は類似しており、交通施策の影響が人口構成を超えて支配的であることが示唆される。

(2) 同世代率も交通施策の異なるシナリオ間で大きく異なる理由

同世代率は、交通施策の違いにより大きく変化しており、特に「B:50/T:0」シナリオでは顕著に低下した。この背景には以下の複合的な要因がある。

① 人口構成の高齢化と単独高齢者の増加：2045 年モデルでは高齢者単身世帯が増加し、同世代との共同移動・滞在の機会が相対的に減少する。

② 歩行による「日常行動の分散」と年齢差の拡大：交通制限により歩行移動が主流となるが、移動能力の差によって世代間の行動圏がずれやすくなる。

③ RCM 上位においても”同世代”の偏りが起きにくい構造：接触頻度の高いペアであっても、必ずしも同世代で構成されるとは限らず、生活時間帯や空間利用が偶然に重なった異世代間のペアが RCM 上位に現れる場合がある

これらの結果、同世代率は一様に高くなるのではなく、施策に応じて顕著に変化する動的な構造を持つことが明らかとなった。

5.6.3. RCM 属性分析の総括

RCM 属性分析により、同住所・同世代・同性の属性一致率には、RCM の発生頻度および交通施策・人口構成の違いに応じた明確な傾向が確認された。特に、RCM カウント上位ではいずれの属性も一致率が高く、接触の質的な蓄積が一部の属性的に類似したペアに集中している構造が示唆された。

一方、バス減便や乗合タクシー廃止など移動手段が限定されたシナリオでは、歩行主体化により同住所率が上昇し、地区内の接触に偏る傾向が強まった。加えて、人口構成の高齢化や行動の分散化により、同世代率は低下する構造も観察された。これらの結果から、RCM の属性構造は交通条件と人口特性の複合的な影響を強く受けており、単なる接触回数の指標だけでは捉えきれない、接触機会の質的変容が浮き彫りとなった。

6. 結論

6.1. 本研究の総括

本論文は、人口減少・高齢化が進行する小規模地域において、公共交通サービスの縮小が住民間の偶発的接触機会に与える影響を定量的に評価することを目的とし、MAS を活用した新たな指標と手法を構築したものである。特に、「共時空間」および「RCM」という二つの接触機会指標を導出し、8通りの人口・交通施策シナリオに基づいてその変動を解析した。本章では、各章における内容と成果を詳細に振り返りながら、本研究の独自性と意義を総括する。

第1章では、研究の背景と動機について述べた。

地方都市において、公共交通の維持が困難となる中で、単なる「移動手段」以上の役割、すなわち人と人との偶発的接触機会の創出という視点から交通の価値を捉え直す必要があると指摘した。従来の研究や施策は、主に所要時間や費用、利便性といった効率性の指標に偏っており、住民の接触機会や社会的つながりに関する定量的な評価は極めて限定的であった。また、バス路線や交通手段の縮小によってどのような社会的損失が生じるのかについて、体系的に検証された事例が乏しい。本章では、これらの従来手法の限界を指摘し、MAS を活用した新たな定量的アプローチの必要性を強調した。

第2章では、関連研究のレビューを通じて本研究の位置づけを明確にした。

SC や SWB に対する公共交通の正の影響については、数多くの先行研究で示唆されている。しかし、それらの研究の多くは、定性的インタビューや大規模調査による汎用的傾向の抽出にとどまり、個別地域の状況に即した定量的分析、特に接触機会を構造的に捉えた研究は見当たらない。また、MAS を用いた研究も交通流や需給モデルに偏重し、住民間の偶発的接触を扱ったものは極めて少ない。本章では、共移動、共滞在、共時空間、RCM といった本研究の主要概念が、既存の理論的枠組みにどう位置づけられるかを整理し、かつ客観的定性分析を補完するための新たな視点として本研究の価値を提示した。

本研究では、鉄道が存在せず公共交通の選択肢が限られた小規模地域を対象とし、当該地域で実施された PT 調査票を用いて、地域全住民を模したエージェントを生成した。これにより、1日単位の移動・滞在の行動が実世界の人間と整合するように設定されている。また、将来の人口構成変化を見据え、国勢調査および将来人口推計に基づいて2018年・2045年の二つのスケーリングケースを加えた。本章での最大の成果は、現実世界と同数の住民をMASに実装することが可能であるという技術的実証を示した点にあり、これは以後の分析において精緻な空間・時間分解能を確保する基盤となった。

第3章では、住民接触機会解析システムの構築と解析手法の設計について詳述した。

住民同士の社会的接触機会（共時空間およびRCM）を定量的に可視化・分析するための

解析システムの構築過程と設計方針を詳述した。まず、小規模地域における MAS 適用の限界として、移動手段の再現精度、行動多様性の表現、接触構造の未対応、計算負荷の課題を整理し、それらを克服するために本システムを構築した。PT 調査票に基づく 1 人 1 体のエージェント生成、OpenStreetMap の加工による多層的な経路構築、確率モデルによる行動決定、空間分離による計算最適化などにより、PT 調査票の挙動再現と多様な交通手段への対応を実現した。さらに、DBSCAN による共時空間の抽出と、時空間キューブを構成する時空間セルを使った RCM の記録方式を導入し、都市内における接触構造の質的・量的把握が可能となる基盤を確立した点について述べた。

第 4 章では、住民接触機会解析システムの構築と解析手法の設計について記載した。

住民接触機会解析システムの各プログラムが実際に正常稼働するかを、2018 年の PT 調査票 2,093 件を用いた環境で検証した。まず、対象エリアである横浜市金沢区・京急富岡駅周辺を選定した理由と地理的・交通的特性を明示した上で、調査票から抽出された PT 調査票のデータをもとに、約 2,000 体のエージェントを生成・拡張し、行動決定・経路探索・滞在設定を経て、1 日単位のトリップデータを出力した。

続く共時空間抽出プログラムでは、30 秒単位の行動履歴を正規化し、DBSCAN アルゴリズムを用いて特定時間帯・場所における集団的な接近状態を抽出し、さらに RCM 計算プログラムによって、同一エージェントペアの繰返し接触回数や接触時の交通手段構成を記録・可視化した。

検証結果として、各プログラムの入出力整合性が確認されたほか、共時空間の発地点や RCM の構造分布においても、駅周辺や商業施設付近などで想定通りの傾向が見られ、接触構造抽出の基本的精度と妥当性が実証された。また、地図データの空間分離によるソフトウェア最適化により、経路計算時間を従来の約 1/165 まで削減し、実行環境として 3 台の PC による分散処理体制でも、全プログラムの円滑な連携が確認された。

以上より、本章は、提案システムの基本機能が現実的に実装可能であること、また、都市の社会的接触構造を定量的に把握するための有効な技術基盤となり得ることを実証した。

第 5 章では、本研究における提案手法を用いた住民接触機会のユースケース分析の結果を記載した。

構築した住民接触機会解析システムを用い、人口構成と交通施策の違いが接触機会に与える影響を 8 の社会シナリオに適用し、利用者数、共時空間、RCM（繰返しの偶発接触）、RCM 属性の 4 観点から比較分析を行った。結果として、歩行や乗合タクシーの果たす役割、交通施策による影響の偏在性、人口スケーリングによる出会いの密度変化などが定量的に示された。特に、RCM は、交通設計によって支えられる社会関係資本の基盤としての性質を持つことが明らかとなり、高齢化・交通縮小下ではその“質”も顕著に劣化することが示された。本章を通じ、提案手法が社会構造の変化を接触機会の“量”と“質”の両面から捉える分

析基盤として有効であることが実証された。

最後に、本研究の総括を以下に述べる。

本研究は、地方都市における公共交通の縮小が、単なる移動手段の損失にとどまらず、住民間の偶発的接触機会の喪失をも意味し得るという視点から出発している。これまでの交通施策においては、輸送効率や利用者数といった経済性・機能性の指標が主軸を占め、交通がもたらす社会的機能、すなわち「住民同士の出会いを創出する媒介装置としての価値」は、定量的に評価されてこなかった。とくに、日常的な空間共有や偶発的な再会が、地域社会の関係性維持や社会関係資本の形成に寄与するという観点は、政策立案の場において十分に検討されているとはいえない。

このような背景のもと、本研究が取り組んだ課題は、「公共交通によって生じる住民間の接触機会を、定量的かつ空間的・時間的に明示可能な指標として抽出し、それを交通施策の効果測定や意思決定の根拠とする手法を構築すること」である。すなわち、単なる移動の分析ではなく、交通が地域の社会構造に与える波及効果を可視化する仕組みを確立することが、研究上の主眼であった。

この課題に対しては、従来から交通流シミュレーションや PT データによる動態分析といった技術が存在しており、一定の行動予測や移動量の推定は可能であった。また、エージェントベースの MAS は、個別行動のモデリングに有効であることも確認されている。しかしながら、従来のこれらの手法は、個体間の接触や、時間を越えた繰り返しの接触（再接触）の定量化には対応しておらず、エージェント間の動的関係性を抽出する設計がなされていなかった。

本研究ではこの点を克服するために、実在する交通網と PT 調査票に基づいて、現実人口と同数のエージェントを生成・配置し、それらの軌跡と接触履歴を高解像度で追跡可能な MAS 基盤を含む「住民接触機会解析システム」を構築した。これにより、空間的に交差する住民の集積（共時空間）や、特定のペアによる偶然の繰り返しの出会い（Repeated Chance Meetings : RCM）を、高精度に検出し定量化する技術を実現した。接触の検出には、空間距離に基づくクラスタリングおよび履歴比較を用い、任意の人口規模と時間解像度において、接触機会の空間分布および時間的頻度を抽出可能とした点に、本方式の革新性がある。

さらに、構築した MAS および接触抽出手法を、異なる人口スケールと交通施策を組み合わせた複数シナリオに適用することで、その有効性を実証した。その結果、公共交通の減便や撤廃が、単に移動の不便を招くだけでなく、住民間の共時的接触や RCM の頻度を著しく減少させることが定量的に示された。また、接触機会の偏在や属性別の変化も捉えられ、交通施策が地域の社会構造に及ぼす影響の可視化を可能とした。これらの成果は、定量的な「出会いの価値」の評価を通じて、交通インフラの新たな価値を提示し、今後の政策設計における社会的視点の導入に貢献するものである。

以上より、本研究は、従来評価されてこなかった「偶発的な接触機会」の定量化を可能と

する技術的枠組みを提示し、公共交通の社会的価値を再定義する新たな方法論を確立した点において、都市計画および交通政策分野における意義深い学術的貢献を成すものである。

6.2. 今後の展望

本節では、本研究で得られた成果をもとに今後の発展的研究の方向性を 8 つの視点から整理し、より高度かつ汎用的な住民接触機会解析システムの構築に向けた展望を示す。

(1) アクティビティエージェントの導入

本研究で扱ったエージェントは、固定された行動属性と行動意図を保持していたが、今後は個人の行動予定（活動場所・時刻・目的）に基づいて移動や滞在を再現する「アクティビティエージェント」モデルの導入を検討する。これにより、日常生活のスケジュールを反映し、都市空間内での人のふるまいや接触機会をシミュレートすることが再現可能となる。

(2) 接触機会と SC・SWB の連関分析

抽出された接触機会を SC や SWB と関連付け、心理・社会的側面からの効果分析を行う。これにより、都市政策や交通施策が人々の幸福や社会的つながりにどのような貢献を果たすのかを定量的に検証できる枠組みが整う。

(3) 交通政策シミュレーションツール化

本研究で構築した「共時空間」および「RCM」指標を、汎用の大規模交通シミュレーションツール（例：MATSim）に組み込むことで、交通政策と社会的接触の統合的な評価を可能とするシミュレーション環境の構築を目指す（本検討の詳細は付録に記載）。

(4) 都市スケールへの拡張

本研究では小規模地域に限定していたが、今後は中・大規模都市圏に対しても本手法を適用可能とするため、クラスタ抽出・RCM 算出アルゴリズムの高効率化と分散処理化を進め、都市全体での接触構造の解析を可能とする。

(5) 異なる地域間の比較研究

対象エリアを拡張し、都市・郊外・地方といった多様な空間特性を持つ地域での接触機会メカニズムを比較分析することで、地域特性に応じた交通政策や社会基盤整備の方針提案へと展開可能である。

(6) 別目的への応用可能性

本手法は接触促進だけでなく、接触回避にも応用可能である。たとえば新型コロナウイルス感染症の拡大時には、「密」の回避が重要視された。本システムにより、特定の時間帯・空間における人の集中を予測し、都市設計や行動誘導による回避策の検討が可能となる。感染症対策や防災計画など、接触抑制を目的とした活用にも展開が期待される。

(7) 混雑状況に応じた経路変更モデルの導入

本研究では、混雑や交通状況に応じたエージェントの経路変更機能は導入していない。しかし実際の行動においては、混雑を回避する形で経路を変動させるケースも多く、シミュレーションにおける現実性を高める上で重要な要素となりうる。今後、混雑反応型の動的経路

変更モデルの導入を検討したい。

(8) 自動運転を含む将来モビリティビジョンへの対応

本研究では、2045 年における将来シナリオの構築に際し、人口構成の変化と交通施策（バス・乗合タクシーの維持・縮小）を主軸に分析を行った。これは、評価構造を簡潔に保ち、シナリオ間の比較可能性を確保するためである。しかし、2045 年の交通環境には、自動運転車両や MaaS をはじめとする新たな移動サービスの普及が想定されることから、今後は、こうした将来モビリティのビジョンも踏まえたシナリオ設計の導入を検討していきたい。

これらの方向性により、本研究で開発した接触機会解析手法は、都市における社会的つながりの可視化から、実装可能な政策提言手段へと進化していくことが期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省 近畿運輸局：『地域公共交通 赤字=廃止でいいの?』, 平成 30 年 3 月, https://www.tb.mlit.go.jp/kinki/content/cross_sector_leaflet.pdf (アクセス日: 2025 年 2 月 17 日)
- 2) 松中亮治, 大庭哲治：『公共交通が人とまちを元気にする』, 学芸出版社, 2021.
- 3) R. D. Putnam, *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*, New York, NY: Simon & Schuster, 2000.
- 4) Gehl, J. *Life Between Buildings: Using Public Space*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- 5) 梶山大輔 and 力石真, “共滞在情報に基づく社会ネットワーク構造の推定,” in 第 76 回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2024.
- 6) Axhausen, K. W., “Social networks and travel: Some hypotheses,” in *Social Dimensions of Sustainable Transport: Trans-Atlantic Perspectives*, 2005.
- 7) R. B. Zajonc, “Attitudinal effects of mere exposure,” *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 9, no. 2, pp. 1-27, 1968.
- 8) Wilhelms, E. A., and Reyna, V. F., *Neuroeconomics, Judgment, and Decision Making*, Psychology Press, New York, NY, USA, 2014.
- 9) E. T. Hall, *The Hidden Dimension*, Garden City, NY: Doubleday, 1966.
- 10) 東京都市圏交通計画協議会：『新たなライフスタイルを実現する 人中心のモビリティネットワークと生活圏』, https://www.tokyo-pt.jp/static/hp/file/publicity/toshikoutsu_2.pdf (2025 年 3 月 30 日アクセス)
- 11) 国土交通省, 『スマートモビリティチャレンジ推進調査』, <https://www.mlit.go.jp/common/001598633.pdf> (2025 年 3 月 30 日アクセス)
- 12) V. R. Vuchic, *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*, Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005.
- 13) S-Analysis, 『DBSCAN クラスタリングの解説と実験』, <https://data-analysis-stats.jp/python/dbscan> クラスタの解説と実験/ (アクセス日:2024.06.02)
- 14) 松田憲, 佐々木翔子, 楠見孝：「単純接触効果に及ぼす刺激呈示の回数と時間の影響」, 日本認知科学会第 29 回大会発表論文集, 日本認知科学会, pp. 400–404, 2012 年.
- 15) R. L. Moreland and S. R. Beach, “Exposure effects in the classroom: The development of affinity among students,” *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 28, no. 3, pp. 255–276, 1992.
- 16) F. Fukusima, J. M. Loomis, and J. Da Silva, “Visual perception of egocentric distance as assessed by triangulation,” *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 23, no. 1, pp. 86–100, 1997.
- 17) J. N. Bailenson, A. C. Beall, and J. Blascovich, “Interpersonal distance in immersive virtual environments,” *Personality and Social Psychology Bulletin*, vol. 29, no. 7, pp. 819–833, 2003.

- 18) Goodchild, M. “Geographic information systems and science: today and tomorrow,” *Proc. IEEE*, vol. 100, Special Centennial Issue, pp. 1781–1790, May 2012. doi:10.1109/JPROC.2012.2187290.
- 19) OSM の公式ウェブサイト, <https://www.openstreetmap.org/> (アクセス日:2024.02.09)
- 20) A. M. Uhrmacher and D. Weyns, *Multi-Agent Systems: Simulation and Applications*, 1st ed., Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2009.
- 21) 江端智一, 有吉亮, “A Study of Social Impact Simulation Based on the History and Current Status of Multi-Agent Simulation,” in *Proc. of the 14th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI AAI 2023)*, Koriyama, Japan, Jul. 2023, pp. 123–130.
- 22) 江端智一, 有吉亮, 田中伸治, “Social Impact Simulation Including Social Capital, Based on Current Status of Multi-Agent Simulation,” *International Journal of Service and Knowledge Management*, vol. 4, no. 2, pp. 45–52, Jun. 2024.
- 23) Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), *The Well-being of Nations: The Role of Human and Social Capital*, Paris, France: OECD Publishing, 2001.
- 24) E. Diener, “Subjective well-being,” *Psychological Bulletin*, vol. 95, no. 3, pp. 542–575, 1984.
- 25) OECD, *OECD Guidelines on Measuring Subjective Well-being*, Paris, France: OECD Publishing, 2013.
- 26) 厚生労働省, “地域共生社会の実現に向けた包括的支援体制の構築について,” 政策報告, 2016. [Online]. Available: <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000184346.html> (2025 年 4 月 30 日アクセス)
- 27) M. Granovetter, “The strength of weak ties,” *American Journal of Sociology*, vol. 78, no. 6, pp. 1360–1380, 1973.
- 28) L. Lofland, *The Public Realm: Exploring the City's Quintessential Social Territory*, New York, NY: Aldine de Gruyter, 1998.
- 29) Y. Ahas, S. Silm, O. Jarv, E. Saluveer, and M. Tiru, “Using Mobile Positioning Data to Model Locations Meaningful to Users of Mobile Phones,” *Journal of Urban Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 3–27, 2010.
- 30) S. Isaacman, R. Becker, R. Caceres, S. Kobourov, M. Martonosi, J. Rowland, and A. Varshavsky, “A Tale of Two Cities: Using Mobile Phone Data to Understand Urban Transition,” in *Proc. of the 11th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (HotMobile 2010)*, Annapolis, MD, USA, pp. 19–24.
- 31) R. Oldenburg, *The Great Good Place*, Cambridge, MA: Da Capo Press, 1997.
- 32) S. Saegert, W. Swap, and R. B. Zajonc, “Exposure, context, and interpersonal attraction,” *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 25, no. 2, pp. 234–242, 1973.
- 33) 鈴木宣也 (2007) 「グループの構成人数による対話と分析の検討」, 情報科学芸術大学院大学, FIT2007.

- 34) Shun Cao et al. (2008), "Group Size and Group Performance in Small Collaborative Team Settings: An Agent-Based Simulation Model of Collaborative Decision-Making Dynamics," University of Houston.
- 35) E. G. Ettema et al., "Subjective well-being related to satisfaction with daily travel," *Transportation*, vol. 38, no. 1, pp. 1–15, Jan. 2011, doi: 10.1007/s11116-010-9283-6.
- 36) J. Stanley, D. Hensher, J. Stanley, and D. Vella-Brodrick, "Mobility, social exclusion and well-being: Exploring the links," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 45, pp. 789–801, 2011.
- 37) M. Friman and T. Gärling, "Frequency of negative critical incidents and satisfaction with public transport services," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 21, no. 1, pp. 17–26, Mar. 2001. doi:10.1006/jevp.2000.0183.
- 38) M. Friman, "Implementing quality improvements in public transport," *Journal of Public Transportation*, vol. 7, no. 4, pp. 49–65, 2004. doi: 10.5038/2375-0901.7.4.3
- 39) P. L. Mokhtarian and I. Salomon, "How derived is the demand for travel? Some conceptual and measurement considerations," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 35, no. 8, pp. 695–719, Oct. 2001. doi:10.1016/S0965-8564(00)00013-6.
- 40) J. Jakobsson Bergstad, M. Gamble, T. Gärling, E. Hagman, D. Polk, L. Ettema, and M. Friman, "Subjective well-being related to satisfaction with daily travel," *Transportation*, vol. 38, no. 1, pp. 1–15, Jan. 2011. doi:10.1007/s11116-010-9283-z.
- 41) L. Steg, "Car use: lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 39, no. 2–3, pp. 147–162, Feb.–Mar. 2005. doi:10.1016/j.tr.2004.07.001.
- 42) M. Cao, P. L. Mokhtarian, and S. L. Handy, "Do changes in neighborhood characteristics lead to changes in travel behavior? A structural equations modeling approach," *Transportation*, vol. 47, no. 6, pp. 3051–3087, Dec. 2020, doi: 10.1007/s11116-020-10100-8.
- 43) D. Kahneman and A. B. Krueger, "Would You Be Happier If You Were Richer? A Focusing Illusion," *Science*, vol. 312, no. 5782, pp. 1908–1910, 2006.
- 44) G. M. Sandstrom and E. W. Dunn, "Social Interactions and Well-Being: The Surprising Power of Weak Ties," *Personality and Social Psychology Bulletin*, vol. 40, no. 7, pp. 910–922, 2014.
- 45) N. Epley and J. A. Schroeder, "Mistakenly Seeking Solitude," *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 143, no. 5, pp. 1980–1999, 2014.
- 46) J. P. Bergstad et al., "Subjective well-being related to satisfaction with daily travel," *Transportation*, vol. 38, no. 1, pp. 1–15, Jan. 2011.
- 47) J. K. Stanley et al., "Mobility, social exclusion and well-being: Exploring the links," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 45, no. 8, pp. 789–801, Oct. 2011.
- 48) M. De Vos, T. Schwanen, V. Van Acker, and F. Witlox, "Travel and subjective well-being: A focus

- on findings, methods and future research needs,” *Transport Reviews*, vol. 33, no. 4, pp. 421–442, Jul. 2013.
- 49) J. F. Helliwell and R. D. Putnam, “The social context of well-being,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 359, no. 1449, pp. 1435–1446, Sep. 2004.
 - 50) H. Li and C. Cheng, “Study on Urban Transportation Network Design,” *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 141, no. 3, pp. 1–10, Sep. 2015.
 - 51) G. O. Collantes, “Incorporating Life Cycle Analysis into Environmental Policy: Strategies for the Transportation Sector,” Ph.D. dissertation, University of California, Davis, CA, USA, 2007.
 - 52) Robert D. Putnam, “Social Capital and Public Affairs,” *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 47, pp. 5–19, 1994.
 - 53) D. DiPasquale and E. L. Glaeser, “Incentives and Social Capital: Are Homeowners Better Citizens?” *Journal of Urban Economics*, vol. 45, no. 2, pp. 354–384, 1999.
 - 54) R. S. Burt, *Structural Holes: The Social Structure of Competition*, Harvard University Press, 1992.
 - 55) N. Lin, “Building a Network Theory of Social Capital,” *Connections*, vol. 22, no. 1, pp. 28–51, 1999.
 - 56) E. M. Daly and D. Gruhl, “Sociometric Badges: Using Sensor Technology to Capture New Forms of Collaboration,” *Journal of Organizational Behavior*, vol. 31, no. 2–3, pp. 134–153, 2010.
 - 57) 内閣府, 『令和5年版高齢社会白書(全体版)』, https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/05pdf_index.html (2025年3月30日アクセス)
 - 58) 川井真, 「人口減少社会の未来予想図」, 日本建築学会『総合都市研究』, no. 66, pp. 77–86, 2012.
 - 59) 鬼塚英明, 清野隆, 北詰恵美, 「情報化社会における新たなむらづくりに関する研究動向と今後の展望」, *農村計画学会誌*, vol. 35, no. 2, pp. 111–116, 2019.
 - 60) 横浜市ほか, 「8市の未来予測等に関する報告書」, https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/seisaku/torikumi/renkei/8shi.files/0057_20221226.pdf (2025年3月30日アクセス)
 - 61) Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, “People Flow Project,” <https://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp/> (2025年3月8日アクセス)
 - 62) NTT DOCOMO, “Datawise Area Marketer: Visualization of People Flow Using GPS Statistical Data,” <https://www.datawise.co.jp> (2025年3月30日アクセス)
 - 63) A. Horni, K. Nagel, and K. W. Axhausen, Eds., *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*, London: Ubiquity Press, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.5334/baw>. [Accessed: Oct. 30, 2023].
 - 64) M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, “SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview,” in *Proc. of the Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, Barcelona, Spain, Oct. 2011, pp. 63–68.

- 65) P. A. Burke and D. P. Boyce, "TRANSIMS: Transportation Analysis and Simulation System," Los Alamos National Laboratory, LA-UR-98-4389, 1998.
- 66) PTV Group, *PTV Vissim 2023 - User Manual*, Karlsruhe, Germany: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2023. [Online]. Available: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>
- 67) U. Wilensky, *NetLogo*, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1999. [Online]. Available: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- 68) The AnyLogic Company, *AnyLogic Software (Version 8)*, AnyLogic North America LLC. [Online]. Available: <https://www.anylogic.com/>
- 69) 竹村彰通, 『ベイズ統計の基礎』, 東京: 朝倉書店, 2002.
- 70) 総務省統計局, 「令和 3 年社会生活基本調査」, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/database?page=1&toukei=00200533&tstat=000001158160> (2025 年 4 月 19 日アクセス)
- 71) O. Hershler and S. Hochstein, "At first sight: a high-level pop out effect for faces," *Vision Research*, vol. 45, no. 13, pp. 1707–1724, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.visres.2004.12.021.
- 72) "2021 City of Yokohama Statistics," 2021. [Online]. Available: https://businessyokohama.com/wp-content/uploads/2022/02/2021CityofYokohama_Statistics.pdf (2025 年 5 月 1 日アクセス)
- 73) M. McPherson, L. Smith-Lovin, and J. M. Cook, "Birds of a feather: Homophily in social networks," *Annual Review of Sociology*, vol. 27, pp. 415–444, 2001.
- 74) M. Foth and K. W. Axhausen, "Social networks and public transport usage," *Research in Transportation Economics*, vol. 17, pp. 39–58, 2006.

「OpenStreetMap」は、OpenStreetMap Foundation の登録商標である。

「Google Maps」は、Google LLC の登録商標である。

「VISSIM」は PTV Planung Transport Verkehr GmbH の登録商標である。

「AnyLogic」は、The AnyLogic Company の登録商標である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、主指導教員である田中先生には、研究全体を通して多大なるご指導とご助言を賜り、心より感謝申し上げます。

また、研究の構想段階から方向性の明確化、分析手法の選定・検証に至るまで、中心のご指導を賜った有吉先生には、深甚なる謝意を表する。

加えて、住民の協働や制度設計の視点から貴重なご示唆を頂いた松行先生、マルチエージェントシミュレーションの技術的検討においてご助言を頂いた安部先生、ならびに、富岡地区の状況についてご教示頂いた早野先生にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

社会人大学生として限られた時間の中で研究に取り組む私を、常に支え、励ましてくれた家族に、心より感謝の意を表する。

江端智一

付録

Appendix A: 汎用 MAS による本研究の方式の実現方法についての調査結果

(1) 背景と目的

本研究では、対象地域の住民接触機会を定量的に算出するために、独自開発のマルチエージェントシミュレーション (MAS) を構築している。一方で、既存の汎用 MAS プラットフォームを活用することにより、開発効率の向上や将来的な拡張性確保が可能となる可能性がある。そこで、汎用 MAS が本研究で必要とされる機能要件を満たすか否か、また実装負担の削減やシミュレーション精度への影響を検討するため、複数の汎用 MAS に関する調査を実施した。本付録では、その調査結果と検討過程を整理し、汎用 MAS の適用可能性について検証することを目的とする。

(2) 検討対象とした汎用 MAS

本調査では、本研究で求められる住民エージェントの多様な行動表現や接触機会算出機能を実装可能かどうかを評価するため、主要な汎用マルチエージェントシミュレーション (MAS) ツールを検討対象とした。

シミュレータ	一言で言うと	向いていること
MATSim	都市計画屋の道具箱	大規模都市全体のモビリティ政策、行動変化の評価など
SUMO	クルマの動きの研究屋	交差点での車両挙動、ルート選択、自動運転アルゴリズムの検証
VISSIM	交通工学コンサルの相棒	信号制御、交通安全、詳細な現場シミュレーション
TRANSIMS	アメリカ的交通政策屋	基本的に事実上のレガシー(旧式) #2000年前半から減数 国レベルの政策試算や人口動態と連動した長期需要予測 ((i)政府主導で巨大インフラと統合設計され、(ii)旅行者の生成から道路挙動、健康影響までワンパッケージで扱おうとして、(iii)多くの機能がMATSimやSUMOなどに分散・継承された

その結果、MATSim は都市スケールでのエージェント移動経路生成、時間帯別行動変化の表現、GIS 連携による空間配置など、本研究で求められる「住民の接触機会を定量化する」という目的に対して最も高い親和性を示した。他ツールは限定されたスケールや目的特化型の機能が中心であり、研究対象である対象地域全体のエージェント行動データ投入や接触機会算出において追加開発負担が大きいと判断された。

(3) MATSim における本研究の MAS 機能の実現性の検討

本研究では、対象地域住民約 2 万人をエージェントとして、30 日以上連続で日々異なる振る舞いを与え、接触機会を定量化するシミュレーションを構築している。この特徴的な要件に対して、MATSim 上での実現可能性を検討するため、以下の 8 つの機能項目を設定し、それぞれについて評価を行った。

番号	特徴	内容（概要）	MATSimでの実現方法	実現の困難性
A-1	スケーラビリティ	全住民（約2万人）をエージェントとして再現し、毎日のパーソントリップを記録	population.xml に2万人分のplanを定義し、反復実行で軌跡・履歴データを蓄積	やや困難（長期間・大量出力に耐える設計と記録処理が必要）
A-2	入力データ	PT調査票とOSMを用いたネットワーク・人口スケーリング	OSM→MATSimネット変換ツール+PT調査からのpopulation生成スクリプトを使用	容易（豊富なツールあり／事前整備が鍵）
A-3	エージェント行動	属性別に確率的に目的地・交通手段を選択	行動パターンをplan.xmlに記述し、属性別weight設定で選択確率に反映	やや困難（日替わり変化には自動生成スクリプトが必須）
A-4	シナリオ切替	交通施策×人口構成の組合せによる12ケース切替	不同ネット／不同交通サービス条件をconfig.xmlで切替し、各シナリオ別にバッチ実行	容易（スクリプト管理で制御可能）
A-5	拡張性・性能	他地域データへの対応やGo実装による高速処理	マルチスレッド処理+QSim最適化により数万エージェントの並列実行が可能	容易（QSim(*)は高スケーラビリティ）
A-6	マルチモーダル	異なる交通機関を連携させてエージェントを移動させる	各モード（walk, car, 公共交通(pt)等）をtransportModesで定義し、intermodal routingに対応	困難（ptとの連携が複雑、GTFS等の整備が必要）
A-7	マルチスレッド化	エージェントをスレッド化してリアルタイムで相互干渉させる	QSimが内部でマルチスレッド対応済。並列エージェント移動+干渉処理が可能	容易（MATSimはもともと並列処理に強い設計）
A-8	エージェントトリップ計算の高速化	対象エリアと非対象エリアでルート計算方法を切り分け、計算負荷を削減	network.xmlを2層構造に設計し、対象地域のみ詳細ネットワーク+計算最適化を実装	困難（ネット分割やカスタムルーティングの設定が必要）

Qsim: MATSimに内蔵された、道路ネットワーク上でのエージェントの移動と相互作用を模擬する“マイクロシミュレータ”
→道路上の混雑を再現しつつ、何万人もの人がどこをどう通って、どれだけ遅れたか」をリアルに描くMATSimの心臓部

（４）MATSim の QSim の機能

MATSim における QSim は、都市交通シミュレーションの中核を担うイベント駆動型エージェントベースシミュレーションエンジンである。

（1）道路を「キュー（待ち行列）」として扱う

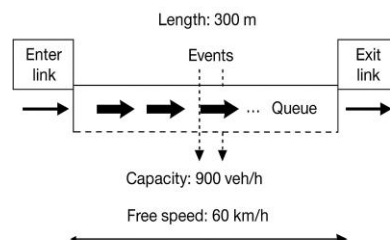
- ・各リンク（道路区間）は、FIFOの待ち行列(Queue)で管理される。
- ・車両（エージェント）はこのキューに**順番に入って、順番に出る**。
- ・**車間距離・速度・容量制限**があるため、キューが詰まる＝渋滞発生。

（2）処理はイベントベース（軽量かつ高速）

- ・シミュレーションは「イベント駆動型」：
「リンクに入った」「リンクを出た」「信号で止まった」などの**イベント**が逐次処理される。
- ・状態は**必要な瞬間だけ更新**されるため、**数万人規模でも高速に処理可能**。

（3）ネットワーク構造・交通制約を反映

- ・各リンクに**長さ・容量・フリー速度・遅延関数**などが設定されている。
- ・信号・優先関係・交差点制約もオプションで組み込み可能。
- ・結果として、**混雑→遅延→再ルート選択**といった動的反応が再現できる。



第 1 に、道路ネットワークを各リンクごとの FIFO 待ち行列（Queue）として扱い、車両（エージェント）はリンクへの進入順に並び、容量制約や速度制約により渋滞が発生する挙動を再現可能である。第 2 に、処理方式はイベントベースであり、「リンクへの進入」「リンクからの退出」「信号停止」などのイベント発生時のみ状態更新が行われるため、数万人規模のエージェントを高速かつ軽量に処理できる。第 3 に、各リンクには長さ・容量・フリー速度・遅延関数などが設定でき、信号制御や交差点優先関係の組み込みも可能である。この結果、交通ネットワーク上で混雑→遅延→再ルート選択といった動的反応が表現可能となり、都市交通システムの時空間変動を効率的に再現することができる。

(5) MATSim によるマルチモーダル移動の実現方法

本研究において、マルチモーダル移動の移動経路を算出する方法として、3.5.2.1 で述べたように、交通モード単位の GIS 情報を別々のレイヤ構造にした上で、そのレイヤを統合する GIS データベースとする方法を用いた。

MATSim におけるマルチモーダル移動の実現の一態様として、GTFS データを利用した公共交通ネットワークと、通常道路ネットワークとの統合が考えられる。以下に、MATSim の GTFS による連携方法の概要を記載する。

(A) GTFS とは

GTFS (General Transit Feed Specification) とは、公共交通機関の運行情報を標準化して提供するためのオープンデータ仕様であり、Google Transit をはじめとする各種交通サービスで利用されている。GTFS は CSV 形式の複数ファイル群から構成され、停留所位置 (stops.txt)、路線構造 (routes.txt)、運行系統 (trips.txt)、停留所通過時刻 (stop_times.txt)、運行スケジュール (calendar.txt)、運賃情報 (fare_attributes.txt) などの情報を包含する。これらのファイルは相互参照によって公共交通の運行体系を記述し、利用者が経路検索や運行情報取得を行う際の基盤データとなる。

(B) GTFS を用いた MATSim における公共交通連携の仕組み

MATSim では、GTFS データを取り込むことで公共交通ネットワークをシミュレーション環境に統合することが可能である。具体的には、GTFS で提供される停留所位置、路線構造、運行系統、停留所通過時刻、運行スケジュール等の情報を基に、MATSim が要求する XML 形式の transitSchedule.xml (停留所、路線、運行スケジュールを記述) および transitVehicles.xml (車両タイプや容量を記述) を生成することにより、エージェントによる公共交通利用行動を再現できる。この変換処理により、公共交通ノード (例：バス停) とリンクが MATSim の道路ネットワーク内に構築され、徒歩、自転車、乗用車、公共交通といった複数モード間を組み合わせた移動 (マルチモーダル移動) が可能となり、現実的な移動経路選択の再現が実現される。

(C) GTFS データの MATSim 実装における課題

GTFS を MATSim で活用する際には、いくつかの課題が存在する。第 1 に、GTFS は routes.txt, trips.txt, stop_times.txt, calendar.txt など複数ファイルに分かれて記述されるため、これらを突合・統合する前処理が必要となる。第 2 に、複数の運行事業者が存在する場合や路線ごとに運行スケジュール体系が異なる場合には、データ仕様の統一と変換処理の負荷が大きくなる。第 3 に、乗換、遅延、間引き運行といった特殊ケースにも対応する必要があり、GTFS から transitSchedule.xml および transitVehicles.xml への変換プロセスには高度なデータ整備とシステム実装が求められる。このように、GTFS は仕様としては標準化されているもの

の、MATSim への実装プロセスは多段階かつ煩雑であり、運用上複雑であると評価される。

Appendix B: 別目的への応用可能性についての検討

(1) 背景と目的

本研究では、特定地域における住民接触機会の定量化を目的としてシステムを構築してきたが、パラメータ設定や投入シナリオを変更することで、混雑緩和、ピーク分散、避難誘導といった本来の目的以外の応用も可能であると考えられる。そこで本付録では、構築したシミュレーションを別目的に応用する可能性について検討し、将来的な展開や社会実装への適用範囲を明らかにすることを目的とする。

(2) 検討結果

以下の表に、検討結果の概要を示す。

目的	具体例	PT調査票を使った投入シナリオ例	評価内容	期待される社会的効果
(A)混雑緩和	特定施設の受入能力(改札機数・歩道幅員など)の変更	出発・到着時刻、経路を基に、 特定施設の受入能力(改札機数・歩道幅員など)のパラメータを変更	施設容量変更による 混雑度変化・滞留人数とピーク時間帯変化	・都市快適性向上 ・感染症リスク低減 ・イベント運営安全化
(B)利用分散	・買い物ピーク分散アプリ ・出勤時間シフト	現行調査票時刻に ±15分の時間シフトを部分適用	・時間帯別来訪者数分布の 平準化度 ・RCM接触回数変化	・感染拡大防止 ・経済活動維持
(C)避難安全確保	・避難所到着分散誘導 ・避難経路混雑回避	公共施設到達データを避難所到着に準用し、 避難誘導で到着時刻を±10分分散	・ 避難経路上 の滞留人数変化 ・避難所 到着人数分散効果	・避難時安全性向上 ・二次災害防止

(A) 混雑緩和

具体例としては、駅改札機の増設、歩行者デッキの拡張、商業施設レイアウトの変更、イベント会場動線の再設計が挙げられる。投入シナリオ例としては、特定施設の受入能力（改札機数や歩道幅員など）のパラメータを変更し、混雑度の変化を評価するものである。評価内容は、施設容量変更による混雑度の変化、滞留人数、およびピーク時間帯の変化である。期待される社会的効果として、都市の快適性向上、感染症リスクの低減、イベント運営の安全化が挙げられる。

(B) 利用分散

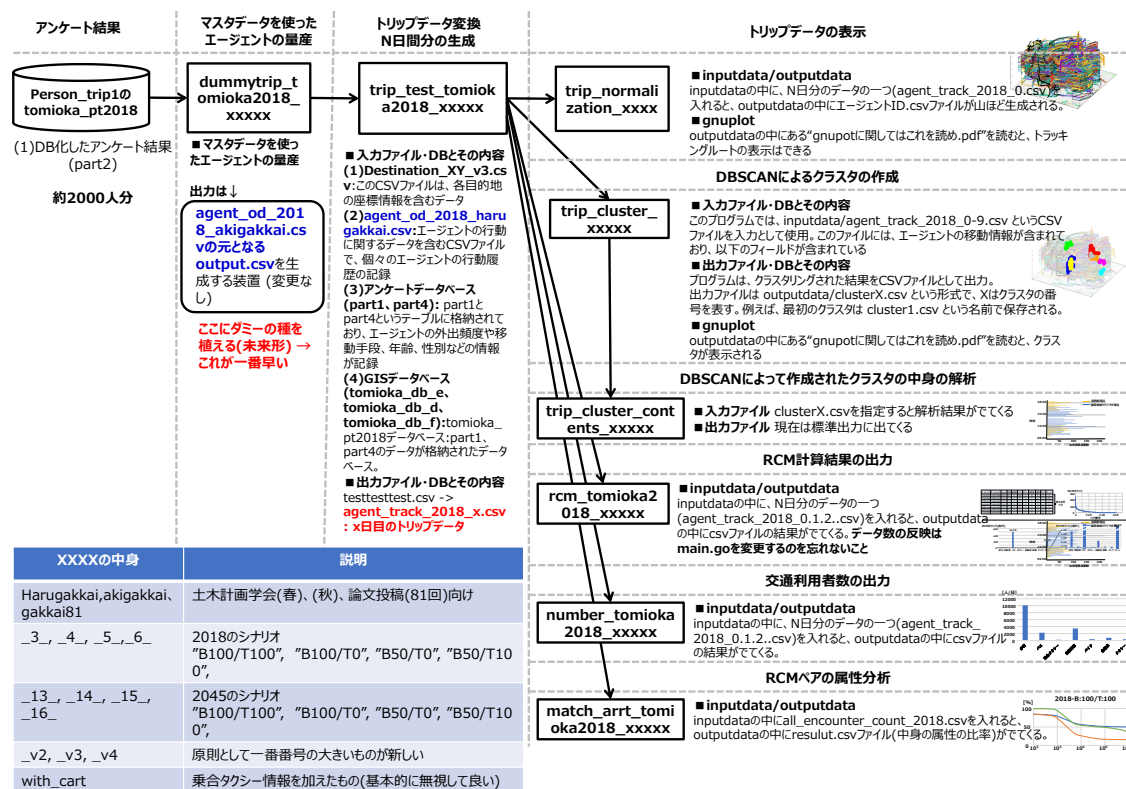
具体例としては、買い物ピーク分散アプリの活用や出勤時間のシフトが挙げられる。投入シナリオ例としては、現行調査票に記録された来訪時刻に±15分の時間シフトを部分的に適用し、ピーク時の来訪人数や RCM 接触回数の変化を評価するものである。評価内容は、時間帯別来訪者数分布の平準化度および RCM 接触回数の変化である。期待される社会的効果として、感染拡大防止や経済活動の維持が挙げられる。

(C) 避難安全確保

具体例としては、避難所への到着分散誘導や避難経路における混雑回避が挙げられる。投入シナリオ例としては、調査票内の公共施設到達データを避難所到着データとして準用し、避難誘導によって到着時刻を±10 分分散させた場合の滞留人数分布を評価するものである。評価内容は、避難経路上の滞留人数の変化および避難所到着人数の分散効果である。期待される社会的効果として、避難時の安全性向上や二次災害の防止が挙げられる。

Appendix C: 作成プログラムの命名則とファイル入出関係

以下の図は、本研究で作成したプログラムを格納したディレクトリの命名則と、各プログラムの入力ファイルと出力の関係を示す図である。本プログラム群のトップディレクトリは、”tomioka3B”である。



(1) dummytrip_tomioka2018_ xxxxx に関する

このプログラムは、エージェントの移動データを元にして、ダミーデータを生成し、CSVファイルに書き出すシミュレーションプログラムである。主に、複数のエージェントが行う移動と滞在に関するシナリオをシミュレートしてする。以下に、プログラムの主な入力、処理、出力内容を説明する。

■入力

プログラムは以下のデータやファイルを入力として使用する：

① CSV ファイル (Destination_XY_v3.csv)：

- エージェントが訪れる可能性のある目的地の情報を含むファイルである。
- ファイルには以下のフィールドがあります：
 - D_hd: データ識別子
 - Destination: 目的地名
 - X: 目的地の経度
 - Y: 目的地の緯度
 - N: 補助情報 (カテゴリなど)
 - Result: 結果 (使用されていない)
 - Category: 目的地のカテゴリ (病院や学校などの種類)

② PostgreSQL データベース (tomioka_pt2018)：

- データベースには移動データが保存されている。エージェントがどこからどこへ移動したのか、出発地や目的地の座標、移動手段、出発時間などが格納されている。

■プログラムの処理

プログラムの流れを簡単に説明する：

① データベース接続とデータの読み込み：

- PostgreSQL データベースから、part2 テーブルのデータを読み込みます。
このデータには、エージェントの移動情報 (エージェント ID, 出発地, 目的地, 座標, 移動手段など) が含まれる。

② CSV ファイルの読み込み：

- Destination_XY_v3.csv から目的地の情報を読み込み、エージェントが訪問可能な場所を取得する。これに基づき、ランダムな目的地や座標が生成される。

③ エージェントデータの処理：

- データベースから取得したエージェントデータをもとに、エリア外にいるエージェントを除外したり、目的地をランダムに変更したりして、ダミーデータを生成する。
- 自宅出発の場合は新しい自宅座標をランダムに設定し、目的地の座標をランダムに再設定する。
- 各移動経路について、ポリゴン境界内での調整や移動時間、滞在時間などを計算する。

④ 境界補正と時間計算:

- 移動経路がポリゴン（地域）の境界を越えるかどうかを判定し，境界に合わせて出発時間や到着時間を調整する．たとえば，境界内から外に出る移動（OUTGOING）や外から境界内に入る移動（INCOMING）を考慮して時間が計算される．

⑤ ダミーデータの生成:

- 元データを 10 倍に増やし，それぞれのエージェントのデータをランダムなパラメータで置き換えたダミーデータを生成する．

■出力

最終的に，以下の内容を含むダミーデータが output.csv に出力される：

- id: エージェント ID
- hh_id: 世帯 ID
- idv_id: 個人 ID
- act_id: 行動 ID
- day: 日
- ox, oy, dx, dy: 出発地と目的地の座標（元の値）
- m_ox, m_oy, m_dx, m_dy: ポリゴン境界に合わせた補正後の出発地と目的地の座標
- dep_area, arr_area: 出発地・目的地がエリア内(IN)か，エリア外(NORTH, SOUTH)か
- dep_time, arr_time: 出発時間と到着時間
- m_dep_time, m_arr_time: 境界補正後の出発時間と到着時間
- stay_time: 滞在時間
- traffic: 移動手段（WALK, BUS, TAXI など）
- next_id: 次の移動データの ID
- category: 目的地のカテゴリ（病院，学校，スーパーなど）

■目的

このプログラムは，交通・移動データに基づいてエージェントの行動をシミュレートし，将来の交通需要予測や都市設計などのシミュレーションの一部として利用されることを目的としている．

(2) trip_test_tomioka2018_XXXXX に関する

このプログラムは，富岡地区に住むエージェントが 1 日 10 日間にわたってシミュレートされ，各エージェントが行動を起こす確率や移動先を計算して，その結果を出力ファイルに保存するものである．プログラムは以下の 3 つの主要な入力ファイルやデータベ

ース, そして1つの出力ファイルを扱う.

■入力ファイル/DB

① エージェント情報 (agent_od_2018_harugakkai.csv):

- この CSV ファイルには, 各エージェントの行動履歴 (出発地, 到着地, 移動時間など) が記録されている.
- 各エージェントの hh_id と idv_id を基に, エージェントの属性 (年齢, 性別, 外出頻度, 富岡駅の利用頻度など) を DB から取得する.
- エージェントの属性を決定する際に, このファイルを解析し, エージェントの1回の移動 (Trip) の詳細を取得します.

② 行き先情報 (Destination_XY_v3.csv):

- この CSV ファイルには, 各カテゴリに対応する目的地の座標が記録されています. 目的地カテゴリ (例: スーパーや病院など) に基づき, エージェントの行き先がランダムに決定されます.
- ファイルの構造は以下の通り:
 - D_hd: データヘッダ
 - Destination: 目的地名
 - X: 経度 (longitude)
 - Y: 緯度 (latitude)
 - N: 何らかの識別情報 (ユニーク ID)
 - Result: エリア内外の判定結果
 - Category: 目的地カテゴリ (スーパーマーケットや学校など)

③ エージェントの属性データベース (tomioaka_pt2018):

- PostgreSQL データベースに接続し, 各エージェントのアンケート結果を基に属性を取得する. たとえば, q1 (外出頻度) や q2t (富岡駅の利用頻度) などの情報が格納されている.
- アンケート結果をもとに外出するか, 駅を利用するか, 交通手段は何を使うかなどを決定する.

■出力ファイル

① 出力ファイル (agent_track_2018_x.csv):

- 1日分のシミュレーションが完了するごとに, このファイルが作成される. ファイル名の x には日数が入り, 例えば1日目の結果は agent_track_2018_0.csv として保存される.
- 各エージェントの移動履歴 (何時に出発し, どの交通手段を使い, どこに到着したかなど) が出力される.

■プログラムの概要と動作

① エージェントの属性取得:

- agent_od_2018_harugakkai.csv を読み込み、エージェントごとの行動履歴を取得します。
- PostgreSQL データベース tomioka_pt2018 に接続して、各エージェントのアンケート情報（年齢、性別、外出頻度など）を取得し、エージェントの属性を確定します。

② 行動シミュレーション:

- まず、エージェントがその日に外出するかを SurveyProbability1To5() で計算する。
- 外出する場合は、次に富岡駅を利用するかを SurveyProbability1To6() で判定しする。さらに、駅を利用する場合の目的（送迎、買い物など）も確定する。
- 交通手段は、アンケート結果に基づいてランダムに選択される（例：歩行、自転車、バス、タクシーなど）。

③ 目的地と移動ルートの決定:

- 行き先情報（Destination_XY_v3.csv）からランダムに目的地を選ぶ。
- エージェントが移動するための出発時間や滞在時間もカテゴリに基づいてランダムに決定され、移動経路が決定される。
- 例えば、あるエージェントが「買い物」の目的でスーパーに行く場合、その目的地は Destination_XY_v3.csv からカテゴリ 3 に対応する座標をランダムに選択する。

④ 移動ルートの出力:

- 移動経路や時間の詳細（出発地、目的地、移動手段、出発・到着時刻、滞在時間など）が出力され、agent_track_2018_x.csv として保存される。

プログラム全体としては、エージェントの 1 日 10 日間の行動をシミュレートし、各エージェントの移動パターンを分析するために使用するデータを出力する目的で動作する。

(c) trip_cluster_tomioka2018_xxxxx に関する

このプログラムは、指定された CSV ファイルからエージェントの移動データを読み込み、DBSCAN アルゴリズムを使用してクラスタリングを行い、その結果を複数のクラスタファイルに出力するものである。具体的な入力と出力のファイル名およびその内容は以下の通りである。

■入力ファイル

agent_track_2018.csv

- **ファイル名:** agent_track_2018.csv
- **内容の概要:** この CSV ファイルには、各エージェントの位置情報（経度，緯度），時間，およびエージェント ID が記録されている．これを元に DBSCAN アルゴリズムでクラスタリングを行う．
- **各列の内容:**
 - AgentID: エージェントの ID（識別子）
 - Longitude: エージェントの経度
 - Latitude: エージェントの緯度
 - Timestamp: エージェントの位置が記録された日時

■出力ファイル

cluster1.csv, cluster2.csv, cluster3.csv, ...

- **ファイル名:** cluster1.csv, cluster2.csv, cluster3.csv, ...
- **内容の概要:** DBSCAN アルゴリズムに基づいてクラスタリングされたエージェントの位置情報がクラスタごとに保存される．クラスタごとに異なる CSV ファイルが作成され，各ファイルにはそのクラスタに属するエージェントの位置データが記録されている．
- **各列の内容:**
 - X: 正規化されたエージェントの経度
 - Y: 正規化されたエージェントの緯度
 - T: 正規化されたタイムスタンプ（時間情報）

■プログラムの動作概要

- ① **入力データの読み込み:**
 - agent_track_2018.csv からエージェントの移動データ（ID，経度，緯度，タイムスタンプ）を読み込む．
- ② **データの正規化:**
 - 富岡駅（京急富岡駅）の経度・緯度を基準にして，読み込んだエージェントの位置データを正規化（NormalizeCoordinates 関数）する．また，タイムスタンプも正規化（NormalizeTime 関数）する．
- ③ **クラスタリング処理:**
 - DBSCAN アルゴリズムを使用して，指定したパラメータ（epsilon と minPts）に基づき，正規化されたエージェントのデータをクラスタリングする．
- ④ **クラスタリング結果の保存:**

- クラスタリングの結果を、クラスタごとに異なる CSV ファイル (cluster1.csv, cluster2.csv, cluster3.csv など) に保存する。

(d) trip_normalization_tomioka2018_xxxxx に関する

このプログラムは、PostgreSQL データベースからエージェントの位置情報を取得し、それを正規化して各エージェントごとに個別の CSV ファイルに保存します。具体的な入力と出力は以下の通りである。

■入力データ

PostgreSQL データベーステーブル agent_track_2018

- **ファイル名:** PostgreSQL データベースの agent_track_2018 テーブル
- **内容の概要:** エージェントの移動データが含まれており、エージェント ID、経度 (longitude)、緯度 (latitude)、タイムスタンプ (timestamp)、交通手段 (transport) が記録されている。
 - agent_id: エージェントを識別するための ID
 - longitude: エージェントの経度
 - latitude: エージェントの緯度
 - timestamp: 位置が記録された時間
 - transport: エージェントが使用している交通手段 (例: 歩行, 自転車, バス等)

■出力データ

各エージェントごとの CSV ファイル

- **ファイル名:** 各エージェントの ID に基づいた名前の CSV ファイルが生成される。たとえば、エージェント ID が agent123 であれば、出力ファイル名は agent123.csv となる。
- **内容の概要:** 各エージェントが移動した地点の経度、緯度、正規化されたタイムスタンプが記録される。データは次の形式で保存される。
 - X: 正規化された経度
 - Y: 正規化された緯度
 - T: 正規化されたタイムスタンプ

例:

```
139.62 35.36 12.45
139.63 35.37 12.50
139.64 35.38 12.55
```

■プログラムの流れ

① データベース接続:

- PostgreSQL データベースに接続し, agent_track_2018 テーブルからエージェントの位置情報を取得する.

② データの正規化:

- 富岡駅 (京急富岡駅) を基準にして, エージェントの位置情報 (緯度, 経度) を正規化する (NormalizeCoordinates 関数).
- タイムスタンプも正規化されます (NormalizeTime 関数).

③ エージェントごとのデータ分類:

- 各エージェントの ID を基にしてデータを分類し, 各エージェントごとに CSV ファイルを作成する.

④ ファイルへの書き出し:

- 各エージェントごとに CSV ファイルを作成し, 正規化された位置情報とタイムスタンプをファイルに書き込む.

このプログラムの主な目的は, エージェントごとの移動経路を管理・分析しやすくするために, 個別の CSV ファイルを作成することである. 特に, Gnuplot を使用して移動経路を視覚的に確認するための準備として活用できる.

Appendix D: PostGIS による GIS データベースの詳細

■**tomioka_db_c**: とみおかーと (乗合タクシー) およびバスの全経路を含むデータベース. ID は 1 から 413 まで (とみおかーとが 1-181, バスが 182-413). tomioka_db_c_cost は, 現時点における tomioka_db_c のクローン (未変更).

■**tomioka_db_d**: バスのみを含むデータベース (tomioka_db_c からとみおかーとの情報を全削除). ID は 182-413.

■**tomioka_db_e**: とみおかーとのみを含むデータベース (tomioka_db_c からバス情報を全削除). ID は 1-181.

■**tomioka_db_f**: バスもとみおかーとも含まれないデータベース (tomioka_db_c からバスおよびとみおかーとの情報を全削除). ID は 1-413.

現時点で, いずれの GIS データベースも孤立ノード対策済み (delete_isolated_nodes.go 適用済み).

コマンドプロンプト - psql -U postgres -h 192.168.0.23 -p 15432

List of databases								
Name	Owner	Encoding	Locale Provider	Collate	Ctype	ICU Locale	ICU Rules	Access privileges
agent_db	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
linestring	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
moove	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
my_database	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
postgres	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
template0	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			=c/postgres postgres=CTc/postgres +
template1	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			=c/postgres postgres=CTc/postgres +
tomioka_db	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db2	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db4	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_a	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_b	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_c	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_c_cost	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_c_trial	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_d	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_d_org	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_e	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_e_org	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_f	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			
tomioka_db_f_org	postgres	UTF8	libc	en_US.utf8	en_US.utf8			

(21 rows)

postgres=#