

2017 年度 博士論文

時空間行動データ解析の詳密化と拡張  
—GPS データ活用による行動内容推定・類型化手法の提案—

Detailing and Expanding Analysis of Spatio-Temporal Behaviour Data:  
Human Behaviour Estimation and Typology by Using GPS Logs

首都大学東京大学院都市環境科学研究科  
都市環境科学専攻  
都市システム科学域

川瀬 純也  
Junya Kawase



# 目 次

第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 時空間行動データの実社会での活用.....	1
1.1.2 GPS 機器の進歩からみる活用の変遷.....	2
1.1.3 時空間行動データを活用していくうえでの課題点.....	3
1.2 時空間行動分析に共通の視点を定める地理情報科学における概念.....	3
1.3 人々の時空間行動を扱う様々な既存研究とその課題点.....	5
1.3.1 時空間行動を扱う研究をまとめるための視点.....	5
1.3.2 「“空間” 中での変化」に関する研究.....	6
1.3.3 「“属性” 情報の活用」に関する研究.....	7
1.3.4 「“時間” 中での変化」に関する研究.....	9
1.4 本研究の目的と構成.....	11
1.4.1 時空間行動分析の課題点と本研究の目的.....	11
1.4.2 本研究の構成.....	11
第2章 時空間行動データからの人々の具体的な行動内容推定.....	13
2.1 時空間行動データでは明らかにできない人々の具体的な行動内容.....	13
2.1.1 具体的な行動内容の分析を取り巻く現状.....	13
2.1.2 本章の目的.....	13
2.2 GPS ログからの観覧行動推定.....	14
2.2.1 概要.....	14
2.2.2 予備実験調査.....	14
2.2.3 予備実験結果からみえる推定手法の課題点.....	17
2.2.4 本調査の実施.....	18
2.2.5 ロジスティック回帰モデルの推定.....	19
2.3 推定精度の検証と考察.....	22
2.4 本章のまとめ.....	25
第3章 時空間行動データの分類と配列アライメント手法.....	27
3.1 時空間行動を分類する必要性と課題点.....	27
3.2 配列アライメントによる時空間行動類型化手法.....	27
3.2.1 配列アライメント手法の概要.....	27
3.2.2 SAM を用いた時空間行動に関する既存研究.....	30
3.3 SAM を時空間行動分析に活用するうえでの課題点.....	31
3.3.1 各パラメーター設定の課題点.....	31
3.3.2 単位時間の設定と対象空間の分割の仕方から受ける影響.....	32

3.3.3	対象とする時空間行動.....	33
3.4	本章のまとめ .....	33
第4章	実際のGPSデータへのSAMの適用を通じた課題点の整理.....	35
4.1	本章の目的 .....	35
4.2	動物園一般来園者のGPSデータへのSAMの適用.....	35
4.2.1	上野動物園一般来園者のGPSデータ .....	35
4.2.2	文字列の作成と使用するSAMのアプリケーション .....	35
4.3	単位時間の設定と空間の分割方法についての検討.....	38
4.3.1	単位時間の変更による類型化結果の比較.....	38
4.3.2	文字列で再現されていない特徴的な時空間行動.....	40
4.4	アライメントに投入するサンプル群の組み合わせの変更.....	41
4.4.1	アライメントに投入するサンプル群を分けた類型化結果.....	41
4.4.2	アライメントに投入するサンプル群の設計の重要性.....	44
4.5	ギャップペナルティについての検討.....	45
4.5.1	ギャップペナルティを変更した類型化結果の比較.....	45
4.5.2	ギャップペナルティの影響についての考察.....	49
4.6	本章のまとめ .....	49
第5章	SAMを用いた時空間行動類型化の新たな手法提案.....	51
5.1	SAMを用いた新たな時空間行動の類似度算出手法の必要性.....	51
5.2	各提案手法の概要 .....	51
5.2.1	対象者の状態を加味した時空間行動の類似度算出.....	51
5.2.2	文字の一致・不一致スコアによる類似度重み付け手法.....	51
5.3	提案手法の時空間行動データへの適用.....	52
5.3.1	上野動物園来園者のGPSデータを想定した実装 .....	52
5.3.2	観覧者の状態を加味した時空間行動の類似度算出.....	52
5.3.3	文字の一致・不一致スコアによる類似度重み付け手法.....	54
5.4	適用結果と考察 .....	59
5.4.1	適用により得られた各クラスターと考察.....	59
5.4.2	本章での提案手法によるクラスターと既存手法でのクラスターとの比較.....	72
5.5	本章のまとめ .....	75
第6章	都市全体を含む広域的な行動へのSAMの適用の試み.....	77
6.1	都市全体を含む広域的な時空間行動データへのSAMの適用 .....	77
6.2	携帯電話事業者関係会社提供のGPSデータ .....	78
6.3	都市全体を含む一日の活動をとらえた時空間行動データの類型化と分析.....	78
6.3.1	対象とする時空間行動.....	78

6.3.2	対象空間の分割と GPS データの文字列化.....	79
6.3.3	類型化の結果と考察.....	82
6.4	都市内での一日の活動をとらえた時空間行動データの類型化と分析.....	84
6.4.1	段階的な類型化.....	84
6.4.2	八王子市内の移動を表現する GPS データの文字列化.....	85
6.4.3	類型化の結果と考察.....	86
6.5	本章のまとめと考察.....	87
第7章	結論.....	89
7.1	本研究の成果のまとめ.....	89
7.2	考察.....	91
7.2.1	時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法についての考察.....	91
7.2.2	配列アライメント手法を活用した時空間行動類型化についての考察.....	92
7.2.3	本研究での成果の意義.....	94
7.3	今後の課題と展望.....	95
7.4	結語.....	96
	参考文献.....	97
	別紙資料.....	101

## 図 表 目 次

図 1.1	本論文における研究の構成.....	12
図 2.1	多摩動物公園内の見取り図.....	15
図 2.2	実際の観覧行動例.....	16
図 2.3	速度 - 観覧割合グラフの例.....	16
図 2.4	②家族連れを対象とした速度 - 割合グラフ.....	22
図 2.5	3 サンプルの速度 - 観覧割合グラフ.....	24
図 2.6	リサンプリング後の速度 - 観覧割合グラフ.....	25
図 3.1	ギャップ挿入操作の例.....	28
図 3.2	ギャップによる文字列長の調整例.....	29
図 3.3	ギャップが挿入されやすい場合の操作例.....	29
図 3.4	複数の文字列の操作を行う場合の例.....	30
図 4.1	30 のエリアに分割した上野動物園 園内図.....	37
図 4.2	時空間行動を表す文字列の作成例.....	37
図 4.3	単位時間 3 分に設定した場合の上野動物園来園者の樹状図.....	39
図 4.4	単位時間 1 分に設定した場合の樹状図.....	39
図 4.5	滞在時間の度数分布図の例 (Ea エリア) .....	40
図 4.6	一つのエリアでの長時間滞在の GPS ログプロット例 (Ej エリアに 1111 秒間滞在) .....	41
図 4.7	一つのエリアでの長時間滞在の GPS ログプロット例 (Wb エリアに 635 秒間滞在) .....	41
図 4.8	グループ (i) の対象としたアライメントにより得られた樹状図.....	43
図 4.9	グループ (ii) を対象としたアライメントにより得られた樹状図.....	44
図 4.10	設定② (GOP:5.00, GEP:0.50) の樹状図.....	46
図 4.11	設定③ (GOP:10.00, GEP:1.00) の樹状図.....	46
図 4.12	設定④ (GOP:15.00, GEP:1.50) の樹状図.....	47
図 5.1	GPS ログの歩行速度と動物展示との距離によるプロット例.....	52
図 5.2	プロットした GPS ログからのカーネル密度推定図の作成例.....	53
図 5.3	状態を表す各文字と 2 変数の基準値.....	54
図 5.4	GPS データから作成したカーネル密度推定図 .....	56
図 5.5	カーネル密度推定図から作成した密度の谷線.....	57
図 5.6	谷線から作成した 46 エリア.....	58
図 5.7	提案手法適用結果の樹状図 (Phylogram) .....	59
図 5.8	提案手法適用結果の無根系統樹.....	60
図 5.9	クラスターA_a の時空間パス .....	61
図 5.10	クラスターA_b の時空間パス.....	61
図 5.11	クラスターA_c の時空間パス .....	62
図 5.12	クラスターA_d の時空間パス.....	62
図 5.13	クラスターB_a の時空間パス .....	63

図 5.14	クラスターB_b の時空間パス .....	63
図 5.15	クラスターC_a の時空間パス .....	64
図 5.16	クラスターD_a の時空間パス .....	65
図 5.17	クラスターD_b の時空間パス .....	65
図 5.18	クラスターD_c の時空間パス .....	66
図 5.19	クラスターE_a の時空間パス .....	66
図 5.20	クラスターE_b の時空間パス .....	67
図 5.21	クラスターE_c の時空間パス .....	67
図 5.22	クラスターE_d の時空間パス .....	68
図 5.23	クラスターF_a の時空間パス .....	68
図 5.24	クラスターF_b の時空間パス .....	69
図 5.25	クラスターF_c の時空間パス .....	69
図 5.26	クラスターF_d の時空間パス .....	70
図 5.27	クラスターG_a の時空間パス .....	70
図 5.28	クラスターG_b の時空間パス .....	71
図 5.29	提案手法によるクラスターと既存手法でのクラスターとの樹状図上での対応.....	74
図 6.1	八王子市発着時空間行動の樹状図 (Phylogram) .....	83
図 6.2	八王子市発着時空間行動の無根系統樹 .....	83
図 6.3	八王子市内の 2km メッシュ .....	85
図 6.4	八王子市内の移動を中心とした移動行動の樹状図 (Phylogram) .....	86
図 6.5	八王子市内を中心とした移動行動の無根系統樹 .....	87
表 2.1	移動速度による回帰モデルの推定結果 .....	17
表 2.2	式 (2.1) による分類表 .....	17
表 2.3	①二十歳代二人組被験者一覧 .....	19
表 2.4	②幼稚園児を含む家族連れ被験者一覧 .....	19
表 2.5	20 歳代二人組を対象とした推定結果 .....	20
表 2.6	式 (2.2) による分類表 .....	20
表 2.7	家族連れを対象とした推定結果 .....	21
表 2.8	式 (2.3) による分類表 .....	21
表 2.9	K-fold 法を用いた予測精度の検証結果.....	23
表 3.1	Levenshtein 距離による各編集操作の例.....	28
表 3.2	既存研究における対象とする時空間行動とデータ収集方法 .....	33
表 4.1	6 つのクラスターの時空間行動のルートと特徴 .....	40
表 4.2	グループ (i) の各クラスターの時空間行動の特徴 .....	43
表 4.3	グループ (ii) の各クラスターの時空間行動の特徴 .....	44
表 4.4	比較する GOP と GEP の組み合わせ.....	45
表 4.5	各サンプルのクラスター 一覧 .....	48

表 5.1	2 変数の IQR と上限・下限値.....	53
表 5.2	文字の一致・不一致に割り当てるスコアの設定.....	55
表 5.3	提案手法によるクラスターと既存手法でのクラスターとの対応.....	73
表 6.1	Agoop 提供 GPS データのログ数の概要 .....	78
表 6.2	記録開始終了地点市町村別のサンプル数.....	79
表 6.3	各エリアとエリア数.....	79
表 6.4	各エリアを表す文字一覧.....	81
表 6.5	各クラスターと時空間行動の特徴と目的地.....	84



## 第1章 序論

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 時空間行動データの実社会での活用

近年、様々な研究分野において GPS (Global Positioning System) や各種センサー類を活用することで人々の行動を時間と空間の両側面で連続的に記録し、分析しようという試みが盛んに行われている (矢部ほか 2010<sup>[1])</sup>。多くの人々の時空間行動を精確に記録して、定量的に解釈・分析を行い、多角的に活用可能な情報を導くことによって、我々の活動と空間・設備・サービスなどとの関係を明らかにすることができ、人々が過ごす都市空間の形成などに資することができると考えられるからである。

実際に、スマートフォンをはじめとする昨今の情報端末の目覚ましい技術的進歩と爆発的な普及を背景に、人々の様々な活動にともなう GPS ログや Wi-Fi 測位記録、携帯基地局の接続情報などを連続的に記録した“時空間行動データ”は様々に収集され、様々に分析・活用がなされている。特に都市部においては、人々の時空間行動と空間・設備・サービスなどが複雑に関係しており、「人々が実際にどのように行動しているのか」、「空間・設備・サービスなどが、どのようにその行動に影響しているのか」を明らかにすることには多くのメリットが考えられる。

たとえば、道路や鉄道などの交通インフラ整備を適切に行うためには、「人々が実際にどのように移動しているか」を把握することが必要不可欠である。各道路の混雑状況を把握することで、新たな道路や交通機関の整備計画へと役立てることができる。また、交通行動に影響を与える要因や移動ニーズを十分に把握することで、限られた交通インフラの効率的な活用につなげることができる (井坪ほか 2005<sup>[2])</sup>。つまり、移動のニーズを精確に把握し、道路や各交通機関のキャパシティ・輸送能力に応じて適切にそのニーズを分配することで、現在の交通インフラでも渋滞や交通機関のパンクを回避することが可能となる。そのような取り組みを行うためには、都市に暮らす人々の移動行動を分析することは重要となる。

様々な商業施設や公共施設の最適な配置を考えるうえでも、実際の人々の行動を詳細に分析することは有益である。人々の流動に関するデータを扱う多くの企業が、出店計画や商圈調査などを活用例に挙げている<sup>[3][4][5]</sup>。公共施設の例としては、医療施設の配置の評価などに GIS (地理情報システム) を用いた分析が効果的であると指摘されており (中谷ほか 2004<sup>[6])</sup>、人々が日々どのように活動を行っているか、どこでなにをしているのかといった情報を活用することで、実社会での人々の流動に即した評価や分析を行うことができる。

また、街全体をどのように良くしていくか、という課題のアプローチとして人々の行動が調査・分析されることもある。たとえば観光庁は、魅力ある観光地域の形成に資する観光客のニーズを把握するためには、GPSをはじめとする位置の情報に基づいた観光客の行動・動態を分析することが重要であると、大規模な GPS を利用した観光行動の調査分析を行っている (観光庁 2013<sup>[7])</sup>。

以上のように、時空間行動データは、社会の中で様々に活用が考えられ実際に取り組みされている。しかし、近年、目覚ましい速度で発展した分野でもあるため、その活用が始まった 1990 年代から大きく活用の取り組みの様相は変化している。そこで、次項では時空間行動データを記録する機器の代表格で

もある GPS 機器の進歩とともに、その活用の変遷についてまとめる。

### 1.1.2 GPS 機器の進歩からみる活用の変遷

時空間行動データをどのように活用するかという試みの変遷には、GPS をはじめとする人々の位置や行動を記録する機器の技術的な進歩と普及が大きく関わっている。

かつては、人々の行動に関する記録の収集にはアンケート調査が主に用いられていたが、1990 年代から GPS 機器を用いて人々の移動を記録し、学術研究などに活用しようという試みがなされ始めた。2000 年には、それまでアメリカ合衆国により加えられていた精度劣化機能 (Selective Availability) が除去されて測位精度が飛躍的に向上すると、様々な行動の分析への活用が試みられるようになる。特に子ども・高齢者・観光者などの個々人の行動を把握しようとする調査・学術研究が行われるようになった (矢部ほか 2010<sup>[11]</sup>)。これは、当時まだ高価であった GPS 機器を大量に使用して多くの被験者を対象に行動調査を行うことが困難であり、数人の行動記録からでも議論が可能な研究内容での活用が注目されていたためであると考えられる。

2010 年代に入ると、特定の個人ではなく、ある空間や街全体で時々刻々と変化する人々全体の流動をどのようにとらえるかということが、人々の活動を中心とした社会の公益的な側面から必要性が高くなってきていると指摘されており (関本・柴崎 2011<sup>[8]</sup>)、こういった潮流の背景には GPS が搭載された携帯電話の普及がある (関本 2013<sup>[9]</sup>)。広く一般市民が保有する携帯電話から GPS データを収集することが可能となり、GPS 機器を調査対象者に配布して行う行動調査に比べ、多くの被験者を対象とする調査・分析を行うことが可能となった。一方で、携帯電話のバッテリーの制約などにより、測位を行う時間間隔を広く設定せざるをえず、プライバシー保護などの観点も加わり、個々人の行動に着目するのではなく、都市に暮らす人々全体としての流動をとらえた分析が主流となったという側面がある。

ごく近年では、スマートフォンの登場と普及により、時空間行動データの収集に関する環境は大きく変化したと言ってもよい。GPS はもちろん、スマートフォンに搭載された様々なセンサー類により、人々の行動に関する多くの情報を記録することが可能となった。また、様々なアプリケーションを通して GPS データなどを収集することが可能となった点も大きな利点である。たとえば、道案内アプリケーションや観光案内アプリケーション利用者の GPS データを収集することで、移動の目的地や行動の目的などの情報も合わせて収集することができる。

そして、個人が所有する機器の進歩に限らず、様々な社会基盤の整備も進められている。2007 年の地理空間情報活用促進基本法<sup>[10]</sup>の施行を皮切りに、G 空間社会と称する、「いつ」・「どこ」といった情報に、さまざまな情報を組み合わせて利活用することで、便利で安心・安全なサービスなどを誰でも受け取ることができる社会<sup>[11]</sup>の実現に向けて、様々な取り組みが進められている。「いつ」・「どこ」といった時空間行動データそのものに関わる社会基盤としては、準天頂衛星システム「みちびき」<sup>[12]</sup>の配備と全面的な運用開始により、GPS と一体的な利用による測位精度の向上が期待されている。また情報の利活用に向けては、GPS データなどの個人情報特定の信頼できる組織に信託し、活用していく環境の整備として、インフォメーションバンク<sup>[13]</sup>という試みも進められている。このような整備により、今後はこれまでよりも高精度な時空間行動データを、より幅広く様々な人々の活動から収集し、活用し

ていくことが可能になると考えられる。

以上のような技術的進歩と社会基盤の整備を背景に、時空間行動データを活用する調査・研究では、個々人の詳細な行動をふまえたうえで、多くの人々の時空間行動を分析する試みが注目されていくと考えられる。

### 1.1.3 時空間行動データを活用していくうえでの問題点

時空間行動データを活用し、個々人の詳細な行動をふまえ、多くの人々の時空間行動を分析していくためには、以下の2点が問題点として考えられる。

#### ■具体的に何をしていたかを知ることができない

GPS データなどの連続的な位置の情報のみでは、対象者がいつ、どのくらいの時間、どこに滞在していたかといった情報以外を得ることはできないという問題点が考えられる。

たとえばある都市の街路空間を人々がどのように利用しているかを明らかにしようとした場合、通過・停止箇所だけでなく、なぜ停止したのか、そこで何をしていたのかという具体的な行動内容も重要な要素である。時空間行動データを広く収集できるようになった一方で、これらの情報を得る方法は非常に限られている。

#### ■一人一人の時空間行動を比較した場合に、それぞれがどのくらい類似しているかが明らかでない

人々の時空間行動を比較し、その移動軌跡や滞在箇所・滞在時間などの多くの要素を包括的にとらえ、それぞれの時空間行動がどのくらい類似しているのか、あるいはその類似している度合に基づいて分類を行う手法についての議論は十分に進められていない点（井上・塚原 2016<sup>[4]</sup>）も問題点として考えられる。

ある時空間行動について、「その時空間行動が何によって特徴づけられているのか」を明らかにしようとした場合、個々人の時空間行動の一つ一つに着目して論じるだけでなく、たとえば母集団のどれだけの割合の人々がそのような時空間行動を行っていたのかなども、都市空間における人々の行動を特徴づける重要な指標となる。そのためには、人々の時空間行動の移動・滞在などを包括的に定量化して分類する手法が必要となる。

また、大量の時空間行動データを活用してある目的に沿った調査・分析を行うためには、収集されたデータの全てを分析の対象とするわけではなく、その目的に応じて、大量のデータの中から分析の対象となる時空間行動を分類し抽出する手法が必要となる。抽出する手法は様々に考えられるが、時空間行動を包括的にとらえた「類似している度合」に基づいて分類を行う手法の活用も有用であると考えられる。

以上2点の問題点をふまえ、1.3 では時空間行動データを扱う既存研究についてまとめ、本研究で取り組む時空間行動分析の課題点についてまとめていく。

## 1.2 時空間行動分析に共通の視点を定める地理情報科学における概念

既存研究をまとめる前に、どのように“人々の時空間行動”というものを解釈するかという点につい

て示す。

時空間行動データの収集・分析を行う研究分野は多岐にわたり、その研究目的や対象はもとより、学術的背景や時空間行動の定義あるいは解釈も多様に存在する。本研究では、地理情報科学において実世界を抽象化して表現する概念モデルを基本として、これらを以下のように定義・解釈するものとする。このような概念モデルは、コンピューター上に描画するためだけに規定されるものではなく、地理情報科学を通して実世界を理解しようとするための共通認識をもたらす重要な概念である。

### ■ “時空間行動データ” の定義

本研究で扱う“時空間行動データ”とは、「GPS データのような連続的な数値で表現される座標系における座標値」あるいは「メッシュデータのような離散的に設定された各区画での滞在記録」などの位置を示す情報が、時刻とともに連続して記録された集合である。さらに対象者の性別や年齢などのフェイス属性、移動速度、移動方向などの様々な付随する情報も含まれる。

### ■ 人の時空間行動とは

これをふまえ、本研究において、時空間行動データによって表される“人の時空間行動”をどのように解釈していくかについては、地理情報科学における実世界を抽象化して表現した概念モデルを出発点として定める。

地理情報科学の概念モデルでは、実世界を認識するためのある目的などの視点を定め、実世界はその視点に関わる“モノ”で構成されていると定めることができる。さらに、これらのモノの集合を数理的に表現するための概念モデルであるオブジェクトモデル (object-based model) では、モノを離散的で、区別ができ、境界が明瞭な要素の集合で表現し、その抽象化された要素をオブジェクト (object) と呼ぶ。オブジェクトは形 (form) と特色 (characteristics) を持っているとし、形については点・線・面・立体の幾何学的要素、特色については属性 (attributes) あるいはその値である属性値 (attribute values) によって表現される。幾何学的要素は、幾何学的空間 (たとえば平面) と参照系 (たとえば直角座標系などの座標系) によって空間に配置される。また属性は、空間的属性と非空間的属性に分けることができる (岡部 2015<sup>[15]</sup>)。

“人の時空間行動”をオブジェクトとして解釈すれば、“人がある箇所に位置する”ということが点で表現され、またその空間的な変異である“移動”は、点の連続あるいは線で表現される。座標系に基づいた座標値や線の長さである移動距離は空間的属性であり、その人のフェイス情報、移動速度、移動の目的などは非空間的属性である。これらの集合により“人の時空間行動”を表現することができる。また、相ほか (2008) <sup>[16]</sup>は、地物の時空間解析における幾何学的表現には「点」「線」「面」が用いられ、同一の地物であってもその研究の目的やスケールによって異なる表現が用いられていることを指摘しているが、これは人々の時空間行動を扱う場合でも同様である。たとえば、対象者がある建物の中に一定時間滞在していたとして、その対象者の移動の広がりや、建物の位置する座標としての「点」で表すのか、建物の中を移動した軌跡である「線」で表すのかということである。

この様に、“多様で複雑な現象や問題を「空間」という視点から統一的にとらえる (岡部 2001<sup>[17]</sup>)”ことができる点に優れた地理情報科学の概念は、煩雑に情報を含む時空間行動データを分析するうえで、

実世界での事物に根差した堅実な観点を提供し得ると言える。

一方で、この概念モデルに基づいた表現には、“時間”という視点の一部が既に含まれている。線で表現された移動は、“人の位置の時間的な変化”であるとも解釈できる。つまり、人の時空間行動を表現するオブジェクトは、“時間”という座標系とそれに基づいた座標値を暗に有していることになる。この解釈に基づけば、“時間”は“空間”のように広がりをもった次元の一つであるにとらえることができる。

以上をまとめると、時空間行動データによって表される“人の時空間行動”とは、“時間”と“空間”の広がりの中で、位置やその変化が点や線により表現され、座標値・フェイス情報・移動の目的などの“属性”が付随するものであると解釈することができる。

次節以降は、この解釈に基づいて、人々の活動のうち、「滞在や移動」と、それ以外の「行動」とを区別して論じていく。また、“時空間行動”とは、ある活動における「一連の行動の全体」を指すものとし、この場合は「滞在や移動」、それ以外の「行動」の全てを含むものとする。

### 1.3 人々の時空間行動を扱う様々な既存研究とその課題点

#### 1.3.1 時空間行動を扱う研究をまとめるための視点

人々の時空間行動を扱う研究は様々な分野で行われており、その目的・取り扱うデータ・手法は多岐にわたる。しかし、同時に“人々の時空間行動”をどのように定義するかは、それぞれの学問分野で扱う課題・目的・研究の学術的背景などに基づいて様々な存在する。それらを網羅し、整理することは非常に困難であり、かつそれぞれの研究の本来の主旨にそぐわないものであるとも考えられる。

そこで、1.2 で示した地理情報科学における概念モデルに基づいた時空間行動の解釈を基本として、「空間」の中での変化」「属性」情報の活用」「時間」の中での変化の明示」という3点について順に着目し、既存研究とその課題点についてまとめていく。3点の詳細を以下に示す。

#### ■ “空間”の中での変化

時空間行動データをもとに、ある地点での滞在を点、移動の場合は線などの幾何学的な表現を用いて地図上に描画し、これを中心としてどのように人々の時空間行動の特徴の可視化や分析を行っているかについて着目する。また、点や線での表現を基本とし、これらを活用して“ラスタデータ”と呼ばれる、平面上の全ての地点に関数として値を与えるフィールドモデル (field-based model, 岡部 2015<sup>[15]</sup>) を推定する手法などもこれに含まれるものとする。点の密度の推定図などの活用がこれにあたる。

#### ■ “属性”情報の活用

「空間」中での変化」の描画と合わせて、フェイス情報やアンケート情報、移動速度や各種センサー類の値などの“属性”あるいは“属性値”として扱われる情報を、どのように活用しているかという点に着目する。「空間」の中での変化」の描画と合わせた活用とは、単にフェイス情報などで対象者を分けて幾何学的表現を描画して見比べるということではなく、たとえば、点や線に“属性値”を付加し、その値に基づいて表現を変化させたり数量的な分析を行ったりすることを指すものとする。

## ■ “時間”の中での変化

時空間行動の「“空間”の中での変化」の描画と合わせて、「“時間”の中での変化」を明確に示した可視化や、定量的に分析手法に組み込む試みに着目する。1.2 で示したように、移動を線で表現することは“人の位置の時間的な変化”の可視化でもあるため、地理情報科学において“時間”の広がりをもどくように扱うかは大きな課題点の一つであると言える。

### 1.3.2 「“空間”の中での変化」に関する研究

「“空間”の中での変化」つまり時空間行動データを地図上に点や線などで描画し、人々の移動や滞在を明らかにする研究は、近年の GIS・地理情報科学の代表的な課題のひとつであると言える。

#### ■点と線による可視化

まず、GPS ログを地図上にプロットして滞在箇所を可視化する手法や、プロットした GPS ログを順に線で結ぶことで対象者の移動を可視化する手法は、人の時空間行動を可視化する最も基本的な手法である。GPS 機器が活用して人々の時空間行動の分析する試みが開始された当初の代表的な研究例として、Nagao et al. (2004) <sup>[18]</sup>は、北海道内において観光で利用されるレンタカーに GPS 機器を搭載して収集したデータを活用して、都市間移動レベルでの観光者の滞在・移動を判別する手法を提案し、滞在地点間を線で結び、観光ルートの可視化を行っている。

#### ■点の密度を用いた人の行動の可視化

2000 年代に入り、GPS 機器の利用可能性が広く探られるようになるにつれ、子ども、高齢者、観光者などの歩行移動者を対象とした調査が多く行われるようになり、特に観光者の滞在箇所や通過箇所については、その可視化やパターン化などが積極的に議論されてきた（矢部ほか 2010<sup>[11]</sup>）。対象者がどのように空間を利用しているのか、その特徴を論じるために GPS ログなどの滞在箇所を表す点の密度を可視化する手法が広く活用されている。

代表的な例としては、有馬 (2010) <sup>[19]</sup>は、上野動物園と多摩動物公園来園者の GPS データを取得し、アンケート調査の結果から複数の来園者タイプを設定し、それぞれ地図上にプロットした GPS ログからカーネル密度推定図を作成して、両動物園の来園者タイプごとの空間利用特性の違いについて論じている。佐藤・円山 (2015) <sup>[20]</sup>は、スマートフォンアプリユーザーの GPS ログからカーネル密度推定を行い、野生生物などの分析に用いる行動圏という概念を用いて、密度推定図から推定した行動圏の面積と年齢・性別といったフェイス情報との関係性を分析している。

これらの手法・研究の特徴は、全ての時点での時空間行動データを、収集した時刻やその連続性は考慮せずに取り扱う点にある。調査対象者の滞在や移動を包括的に可視化することで、その特徴を明瞭に示すことができるという利点がある一方、対象者の行動の時系列的な変化や、対象空間の環境の変化による影響などを議論できない点に制約がある。

「“空間”の中での変化」を描画・可視化する手法は、時空間行動データを扱う様々な研究の中でも最も基本的なアプローチである。しかし、点や線、それから算出される密度などの表現のみを用いた議論には発展性に限界がある。そこで、時空間行動データと合わせて収集される様々な“属性”情報を活用した研究がなされている。

### 1.3.3 「“属性”情報の活用」に関する研究

#### ■ “属性”情報を活用した「“空間”の中での変化」の描画

「“空間”の中での変化」の描画に加えて、様々な“属性”情報を活用する研究も様々に行われている。GPS ログを地図上にプロットする基本的なアプローチでも、“属性”情報を活用することで、対象者の時空間行動の特徴をより鮮明に表現することができる。たとえば、野村・岸本（2006）<sup>[21]</sup>は神奈川県鎌倉市の複数の観光者のGPS ログを速度によって塗り分けて地図上にプロットし、観光地での歩行流動性の可視化を試みている。杉本ほか（2013）<sup>[22]</sup>は、長野県安曇野市のレンタサイクル利用者のGPS データから、移動速度を用いて徒歩利用時と自転車利用時を推定し、デュアルカーネル密度推定図を用いてそれぞれの利用時の密度を一つの図で表し、交通手段別の空間利用の差を可視化して分析している。このような可視化手法の発展により、対象者の滞在箇所に基づいた議論から、移動・移動速度を加味した議論へと発展させることができる。

#### ■ GPS データとアンケート情報を活用した分析

古谷（2006）<sup>[23]</sup>は、箱根地域の観光行動調査の結果を活用し、GPS データを用いたカーネル密度推定とアンケート調査の情報（年齢・性別・宿泊の有無・来訪頻度・支出金額など）を用いてハイブリッド階層クラスタリングによる観光行動動態分類手法を提案し、観光者動向の実態を明らかにする試みを行っている。アンケート調査によって得られるフェイス情報も、単に被験者像を示すだけでなく、その他の“属性”情報と合わせて分析の中に組み込むことが可能であることを示す研究例である。

しかし、アンケート調査から得られる“属性”情報には、いくつかの問題点が考えられる。性別や年齢・居住地といったフェイス情報を収集できる点、移動の目的やその活動の結果得られた満足度などの主観的な情報を収集できる点は、アンケート調査の最も優れた長所の一つであると言える。一方で、それぞれの場所で具体的に何をしていたか、という情報をアンケート調査で収集しようとした場合、対象者の記憶と記入の精確性に左右されてしまうという問題がある。

#### ■ 「具体的に何をしていたか」という情報の収集

「“空間”の中での変化」に加え、その箇所で具体的に何をしていたのかという情報は、空間や施設などがどのように使用されているのか、人々がどのように活用しているのかを明らかにするためには重要な要素の一つであり、“属性”情報として様々な時空間行動分析に活用することができる。たとえば前述した手法のようにGPS ログやカーネル密度推定図を描画する際にも、具体的に何をしていたのかという情報によってその描画を変化させ特徴づけることで、詳細に時空間行動の特徴を分析することができる。しかし、そのような情報を精確に収集する手法は非常に限られている。1.1.3 でふれたように、GPS データなどの連続した位置の情報のみでは、対象者がいつ、どのくらいの時間、どこに滞在していたかといった情報以外を得ることはできない。

訪れた場所と時刻、活動内容を対象者自らが逐次記録を行う日記調査と呼ばれる手法があるが（たとえば Thornton et al. 1997<sup>[24]</sup>）、一定時間ごとあるいは移動や活動内容が変わるごとに記録を行う必要があるため、対象者の活動に大きく影響を及ぼしかねず、負担となる可能性もある。また、対象者ごとに記録の精確性、記述の具体性が異なるという問題が生じることも考えられる。対象者の活動に調査員が同行し、日記調査と同様に調査員が逐次記録を行う行動観察調査と呼ばれる手法もある（たとえば松波

2013<sup>[25]</sup>). しかし、日記調査と同様に、調査員の動向が対象者の活動に影響を及ぼしかねず、また心理的な負荷になることも考えられることから、複数人が同行することが前提となる団体観光などの調査に適用が限られてしまう。また、多くの対象者の活動を調査するためには、それと同等数の調査員を必要とし、非常に高い人的コストがかかることになる。

#### ■「具体的に何をしていたか」の推定

対象者がそれぞれの場所で具体的に何をしていたのか、つまり「具体的な行動内容」については、しばしば滞在箇所をもとに、その周囲の地物との関係性から推定できるものとして扱われることがある。たとえば、どの施設・建物に滞在していたのかというスケールの推定であれば、GPS データの屋内外判別手法（たとえば勝田ほか 2011<sup>[26]</sup>）を用いることで十分に判別が可能である。

より詳細なスケールでの具体的な行動内容の推定の例として、矢部ほか（2009）<sup>[27]</sup>は、動物園来園者の GPS データを用いて、動物展示から 3m 以内に位置した場合にその対象者が展示を観覧したものとして分析を行っている。また、川瀬ほか（2011）<sup>[28]</sup>は、同様に動物展示から 3m 以内に対象者が位置した場合に展示を観覧しているとみなし、観覧時間の計測を行っている。しかし、いずれの研究においても、対象者が展示から 3m 以内に位置していたとしても必ずしも観覧行動を行っていたとは言い切れず、その推定には慎重になる必要がある。

このように、対象者の滞在地点からその目的・具体的な行動内容を知識的に推定する調査・研究がしばしば見受けられる。行動推定の具体性に違いこそあるが、観光者の GPS ログを地図上にプロットして可視化し、その特性の考察を行う場合でも、たとえば有名な観光資源（建造物や景色が鑑賞できるスポットなど）付近に滞在していれば、その観光資源を消費していたという推定がしばしば行われる。あるいは、カーネル密度推定図の高密度地点を指し、よく利用される箇所であると解釈する場合でも、なぜその箇所がよく利用されるのかについては、たとえば「鉄道駅付近であるから」「商店の並ぶ大通りであるから」といった知識的な推定による考察が付される場合が多くある。しかし、このような推定は客観性に乏しく、再現性に問題があると考えられる。同様の推定を行うためには、周囲の地物とその人の具体的な行動内容との関係性を定量的に分析して推定を行う手法を構築する必要がある。

他方、具体的な行動内容の推定には、移動速度や、ジャイロセンサーなどの様々なセンサー類によって取得される身体的な動作に関する情報の活用も有用であると考えられる。近年のスマートフォンやウェアラブル端末の発達と普及を背景に、様々なセンサー類によって収集されるデータを活用し様々な行動推定を行う試みがなされている。例としては、姿勢の推定（たとえば藤澤ほか 2013<sup>[29]</sup>）や、通常歩行やジョギング程度の速い移動、階段の昇降などの移動状態推定（たとえば鈴木ほか 2013<sup>[30]</sup>）、歩行空間の通行領域を選択する行動のモデル化（福山・羽藤 2016<sup>[31]</sup>）などが挙げられる。

#### ■「移動速度などの情報」「位置の情報」「周囲の地物との関係性」を用いた行動推定

しかし、移動速度や身体的な動作に関する情報と、位置の情報、位置の情報から導かれる周囲の様々な地物との関係性とを合わせて、人々の具体的な行動内容を推定しようという研究はなされていない。これらは全て、時空間行動データから得ることができる“属性”情報である。これらの情報を、具体的な行動内容を表す指標としてとらえ、実際の行動との関係性を明らかにしていくことで、具体的な行動内容を定量的に推定することは十分に可能であると考えられる。



対象者のそれぞれの場所での具体的な行動内容を、“属性”情報として活用して時空間行動データの分析を行うことには多くの利点を見出すことができる。たとえば、動物園来園者のGPSデータをプロットして空間利用の特性を分析する際にも、それぞれの箇所でも動物展示を見ていたか否かといった“属性”情報を付加してカーネル密度推定図を作成することで、より実際の行動に即した行動分析を行うことができると考えられる。

以上から、具体的な行動内容を正確に推定することは非常に重要であると言える。よって、時空間行動データからの具体的な行動内容の推定を行う手法についての議論がなされていない点を、時空間行動分析を取り巻く課題点の一つとして指摘する。特に、「移動速度や身体的な動作に関する情報」と、「位置の情報」、「位置の情報から導かれる周囲の様々な地物との定量的な関係性」とを合わせた具体的な行動内容の推定の試みが行われていないことも重要な課題点であると合わせて指摘する。

### 1.3.4 「“時間”の中での変化」に関する研究

「空間」の中での変化」の描画に加えて、「時間」の中での変化」を定量的意に扱う手法には、いくつかのアプローチが考えられる。最も単純なアプローチは、時空間行動データを用いて、ある箇所での滞在時間を推計するというものである（たとえば、長尾ほか2004<sup>[32]</sup>）。屋内外判定手法と同様に、ある都市や施設、建物などに滞在した総時間を推計する場合には有効な手段である。

#### ■「“時間”の中での変化」の可視化

幾何学的な表現に基づいて、「時間」の中での変化」を明確に可視化する手法として、「空間」の中での移動を線によってXY平面で表現し、さらに「時間」の経過をZ軸に取り、対象者の移動を「時間」の経過とともに3次元の線で表す“時空間パス”（Hägerstrand 1970<sup>[33]</sup>）が挙げられる。時空間パスのような3次元的な表現は、「時間」の中での変化」を明確に可視化できる手法として広く活用されている。

#### ■時空間行動の符号化・数値化

人の時空間行動のうち、移動や滞在の時系列を考慮することにより、「時間」の中での変化」を定量的に扱った分析を行うことができる例として、対象者の移動軌跡をそれぞれ符号化し、互いの類似している度合を定量的に算出するという手法が挙げられる。（以下、定量的に算出された類似している度合を「類似度」と表現することとする。）たとえば、Asakura and Iryo（2007）<sup>[34]</sup>は、GPSデータから歩行観光者の右左折情報を数値化してクラスター解析を行うことで観光ルートのパターンを抽出する手法を提案している。また、人の移動軌跡を点の連続あるいは線で表現することにより、メトリック距離関数（Duda et al. 2012<sup>[35]</sup>）やDynamic Time Warping（Berndt et al. 1994<sup>[36]</sup>）などの手法を用いて位相幾何学的な類似度を算出することができる。このような類似度の算出手法は、たとえば「人は左回りと右回りのどちらを行いやすいか」「右に曲がった次は左右のどちらに曲がりやすいか」といったスケールでの、位相幾何学的な移動軌跡に関する課題設定についての分析に有効であると言える。しかし、行動の時系列を考慮するという点は、時空間行動の「“時間”の中での変化」を定量的に扱うために最も利にかなった視点であると言える。

位相幾何学的でない移動軌跡の類似度の算出手法として、神田ほか（2008）<sup>[37]</sup>は、非接触ICチップが埋め込まれたRFIDタグを科学館の来館者に携行させて屋内展示での来館者の移動を記録し、対象空

間を分割してそれぞれに符号を定め、RFID タグによる移動記録をその符号の列で表し、DP マッチングにより類似度を算出することで典型的な行動パターンなどについての分析を行っている。対象空間を幾何学的な面で表現したエリアに分割し、複数の対象者の移動記録をその滞在エリアの遷移に置き換え、類似度を算出する手法は、位相幾何学的な類似度の算出手法よりも都市や展示施設内における時空間行動の特徴分析に適していると考えられる。

## ■時空間行動の包括的な定量化と分類

1.1.3 でも示したように、ある複数の人々の時空間行動について、それぞれの時空間行動の移動・滞在などを包括的に定量化して類似度を算出し、分類を行うことによって、それらの時空間行動を特徴づけることができる。複数の人々の時空間行動のうち、共通する部分的な要素を抽出することが期待でき、また母集団のどれだけの割合の人々がそのような時空間行動を行っていたのかという情報は、様々な都市空間における活動を特徴づける重要な指標となる。

また、都市空間で大量の時空間行動データが収集されており、これらを活用してある目的に沿って調査・分析を行う場合、その目的に応じて、分析の対象となる時空間行動を抽出することが必要となる。そのためには、時空間行動の特徴をふまえ、分類を行う必要がある。時空間行動の類似度も、分類を行う一つの指標として有用であると考えられる。

しかし、人々の時空間行動を比較し、その移動軌跡や滞在箇所・滞在時間などの多くの要素を包括的にとらえ、それぞれの時空間行動がどれだけ類似しているのか定量的に算出し、その類似度に基づいて分類を行う手法についての議論は十分に進められていない。

その原因の一つは、複数の時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえて、互いの類似度を算出しようとした場合、「移動軌跡の類似」に代表される空間的な類似度と、「滞在時間の類似」に代表される時間的な類似度の尺度が必ずしも均質ではなく (Long and Nelson 2013<sup>[38]</sup>)、単純に突き合わせるできないという問題にある。例えば、ある2つの時空間行動を比較した時、100mの移動軌跡が一致した場合と、ある箇所での滞在が10分間だけ一致した場合とが各々生じたとしても、その2つの一致の類似している度合を明確に示す手段はなく、単純に比較したり足し合わせたりすることが難しいということである。

これらをふまえ、各エリアを訪れる順序や組み合わせ、その長さなどを考慮したうえで定量的な人々の時空間行動の分類を行うためには、配列アライメント手法の活用が期待できる (Bargeman et al. 2002<sup>[39]</sup>, Shoval and Isaacson 2007<sup>[40]</sup>)。しかし、既存の配列アライメント手法を用いた時空間行動分析に関する研究は、実験的な試みが多く、その有用性を指摘する一方で課題点は部分的かつ散発的に挙げられているのみである。改善すべき明確な課題点の指摘や、既に指摘されている課題点に対する改善の試みなどはなされておらず、幅広い活用・実用に向けた道筋は立っていないという現状がある。

以上から、時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行う手法として期待される配列アライメント手法の活用について、その課題点の明確化と改善の試みが必要である点を、時空間行動分析を取り巻くもう一つの課題点として指摘する。

## 1.4 本研究の目的と構成

### 1.4.1 時空間行動分析の課題点と本研究の目的

人々の時空間行動に関わる既存研究のまとめから、時空間行動分析を取り巻く課題点として以下の点を指摘した。

まず、時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法についての議論がなされていない点が課題点として挙げられる。特に時空間行動データから得ることが可能な情報である「移動速度などの情報」「位置の情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」とを合わせた具体的な行動推定を行う手法についての議論が行われておらず、その試みは有用であると言える。

また、時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行う手法についての議論が十分に進められていない点も重要な課題点である。そのような手法として期待できる配列アライメント手法の活用した時空間行動分析について、課題点の明確化がなされておらず、既に指摘されている課題点についても対策を取る試みが行われていない。

以上の課題点をふまえ、本研究の目的を以下のように定める。

#### ◇時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法の可能性と有用性を示す

時空間行動データから得ることが可能である「移動速度などの情報」「位置の情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」についての情報を用いた具体的な行動内容の推定を試みる。

#### ◇配列アライメント手法を活用した時空間行動類型化手法の有用性を明確化する

時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行う手法として期待される配列アライメント手法について、

- ・時空間行動を分類し、類型化する際の課題点を明確化する
- ・そして、明確化した課題点について、何らかの対策を取る試みを行い、実際の時空間行動データに適用して検証を行う

これによって、配列アライメント手法を活用した時空間行動の類型化手法を整備し、手法の有用性の明確化を図る。

### 1.4.2 本研究の構成

本論文における研究の構成を図 1.1 に示す。

第 2 章では、時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法の可能性を示すための試みとして、時空間行動データから得ることが可能である「移動速度などの情報」「位置の情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」についての情報を用いて、人々の具体的な行動内容推定を行う。

第 3 章では、時空間行動データの“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出し、分類する手法として有用であると考えられる配列アライメント手法についてまとめる。配列アライメント手法の概要と特徴、時空間行動分析に援用した既存研究についてのまとめ、既存研究で指摘されている課題点についてまとめる。

続く第4章では、第3章でまとめた配列アライメント手法の課題点をふまえたうえで、実際のGPSデータへの配列アライメント手法の適用による時空間行動の類型化の試みを通して、その手法の特徴や課題点を明確化する。

第5章では、第4章で明確化した配列アライメント手法による時空間行動の類型化と分析の課題点を解決するための手法提案を行う。第3章での具体的な行動内容推定も取り入れ、実際の人々の行動に即して詳細に時空間行動を類型化する手法の提案と検証を行う。

第6章では、配列アライメント手法を用いて、既存研究や第4章・5章では扱っていない都市全体を含む広域的な時空間行動を、段階的に類型化する試みを示すとともに、手法の有用性、課題点などを示す。

第7章で論文全体を通して考察し、まとめる。

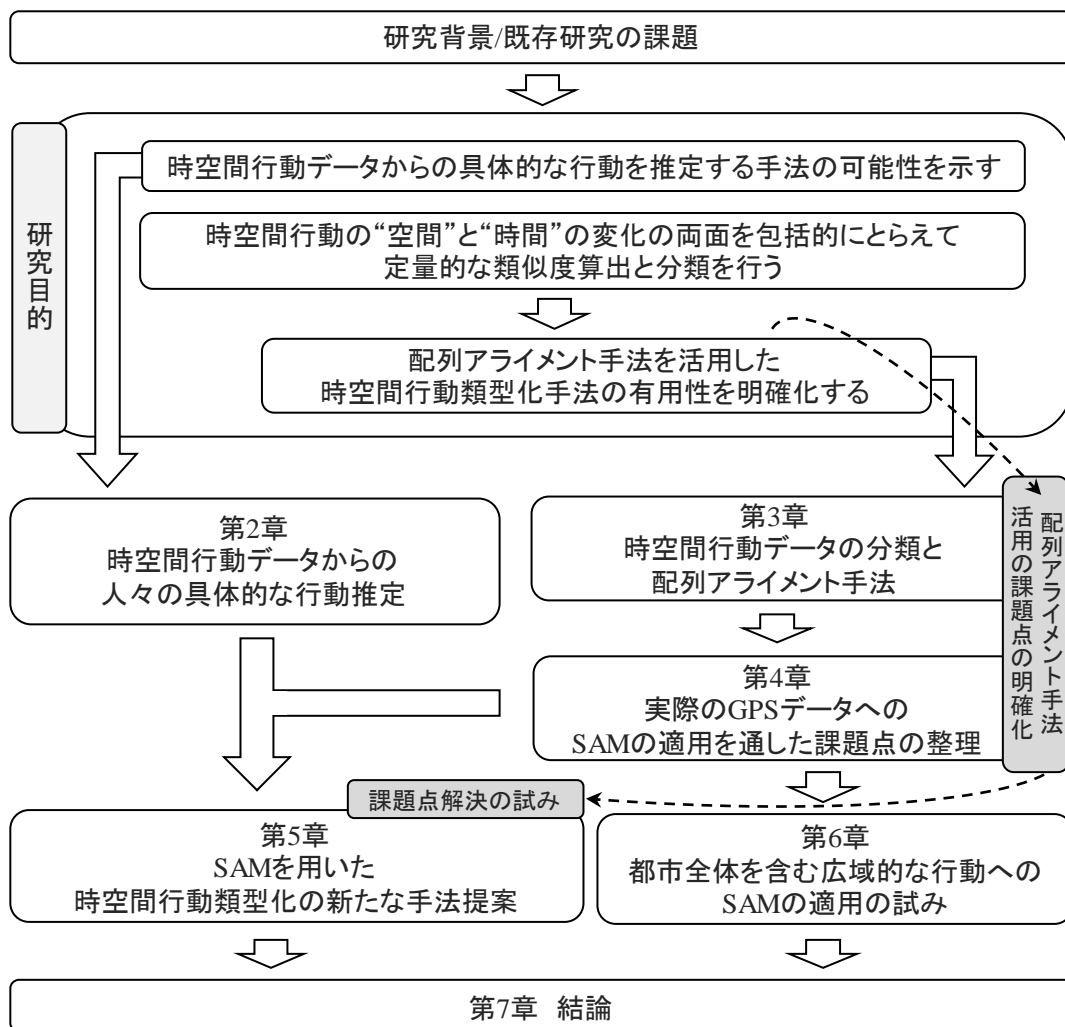


図 1.1 本論文における研究の構成

## 第2章 時空間行動データからの人々の具体的な行動内容推定

### 2.1 時空間行動データでは明らかにできない人々の具体的な行動内容

#### 2.1.1 具体的な行動内容の分析を取り巻く現状

時空間行動データから個々の人々の実際の行動を明らかにしようとする調査・分析の多くでは、対象者の滞在箇所や通過箇所に主眼が置かれ、その可視化や分類、パターン化などが議論されてきた。対象者の滞在箇所や通過箇所に主眼が置かれることは、GPS データをはじめとする位置情報を連続して記録することができる時空間行動データの特徴をふまえればごく自然なことであるとも考えられる。しかし、各時点・各地点で人々は移動・滞在以外にも様々な詳細な行動を行っており、これらを行動調査の結果として得ることができれば、有益な価値を持ち得るものである。しかし、時空間行動データを用いた多くの既存研究においては、移動や滞在以外の人々の具体的な行動内容は、その地点に関する事前情報から知識的に推定される場合がほとんどである。

人々の具体的な行動内容を時空間的な要素とともに把握する手法としては、日記調査や行動観察調査などがある。しかしこのような手法では、常に一定の基準で記録することが難しく、また、質的な記述に留まる点、調査に際して多くの人的コストが必要となる点、さらに、被験者に対して負担をかける点は、行動研究として実施する際の制約となりうる。

#### 2.1.2 本章の目的

日記調査や行動観察調査などをもとに、人々の具体的な行動内容を時系列的に取得することは可能ではあるが、非常に高い人的コストが必要になる。他方、GPS 端末を用いれば、比較的少ない労力でデータを取得することができるが、そのデータのみでは、被験者がいつ、どこを通過していたか、どのくらいの時間どこに滞在していたかといった情報以外は知ることができない。このように、これらの行動調査手法は一長一短であると言える。しかし、たとえばそれぞれの長所を合わせ、少数の被験者に対して、行動観察調査のように彼らの行動を精緻に記録する行動調査を行うとともに、GPS ログを取得して分析を行い、これらの関係を統計的に説明することが可能であれば、多くの人々の GPS ログから彼らの具体的な行動内容を推定することができると考えられる。

そこで本章では、GPS ログから人々の具体的な行動内容を推定する手法を提案、検証することで、低コストで取得できる時空間行動データから人々の具体的な行動を推定することが可能であることを示し、またそのような行動推定から有益な情報を得ることができるかどうかを明らかにすることを目的とする。

GPS データに代表されるような人々の精確で連続した時空間行動データ、さらには周囲の地物・環境との関係から、彼らの具体的な行動内容を推定することにより、一定の基準が確保された量的な行動データを比較的 low コストで得ることが可能になる。また、人々が携帯するスマートフォンなどの端末から、調査対象地や施設に滞在していた期間に限定して GPS ログを取得あるいは提供してもらうことができれば、対象者のプライバシーを侵害するリスクを軽減することができ、また、調査のために GPS 端末を準備したり、調査協力の依頼や、配布・回収したりするコストも減らすことができる。調査実施者がその場所にいる必要もないため、時刻や季節に囚われず、さらには遠隔地からも調査が可

能になり、時刻や場所による比較、経年変化など様々な調査を行うことができるようになることも期待できる。

## 2.2 GPS ログからの観覧行動推定

### 2.2.1 概要

人々が行う具体的な行動は様々に存在するが、本章では、対象物を「観る」行動すなわち観覧行動を最も基礎的かつシンプルな時空間行動のひとつであるととらえ、観覧施設内での一連の行動のうち、観覧行動と、移動などの観覧以外の行動を区別する手法について検討を行った。

本章では、多摩動物公園（東京都日野市）を実験調査対象地とした。GPS を用いた行動調査を動物園で行う利点として、展示の多くが屋外であること、入出場箇所が限られているため GPS 端末の配布・回収が行いやすいこと、園内での滞在時間が GPS 端末のバッテリー持続時間よりも短いこと、の3点が挙げられる。有馬（2010）<sup>[19]</sup>は上野動物園と多摩動物公園で来園者に対して GPS 調査及びアンケート調査を行い、空間利用とその特性の違いについて論じている。その結果、市街地につくられた上野動物園では動物展示の観覧に加え、休息の場としての使われ方がある一方、多摩動物公園では主に動物を観覧する場所として使われる傾向にあることを明らかにしている。さらに多摩動物公園では広い敷地内に動物展示や休憩施設が計画的に分散配置されているため、場所に応じて来園者の観覧と移動とがそれぞれ明確に表れることが期待された。また川瀬ほか（2011）<sup>[28]</sup>は、多摩動物公園にて来園者に GPS ロガーを配布して行動調査を行い、動物展示と通路の境界線から 3m 以内での滞在時間を集計することで、各展示の観覧時間として解釈し、展示の利用状況の比較を行っている。しかし、展示に十分近づいていても観覧をしていない場合が考えられることや、動物展示ごとの大きさが異なるため、この手法によって集計される観覧時間をもって各展示の比較を行うのは不相当である可能性も指摘している。そこで本研究では、対象者が観覧していたか否かを推定するには、対象者の位置、つまり観覧対象から一定の距離内に滞在していたか否かではなく、対象者の状態や観覧対象との関係を細かく加味することが重要であると考え、GPS ログを用いてこれを試みることにした。

### 2.2.2 予備実験調査

GPS ログに記録される主なデータの中には、時刻、緯度・経度の他に速度がある。衛星から送られてくる信号のドップラ効果から、高い精度で移動速度を記録できることが知られている（荒井 1992<sup>[41]</sup>、Kaplan and Hegarty 2005<sup>[42]</sup>）。まず、対象者の実際の観覧行動と、GPS ログに記録される移動速度との関係を明らかにするために予備実験を行った。

2011年5月15日から6月28日（火）まで5回に分けて、多摩動物公園にて被験者を用いて予備実験を行った。被験者はいずれも二十歳代前半の大学生・大学院生であり、男性3名、女性2名であった。1秒間隔で記録するように設定した GPS ロガーを被験者に携帯させ、2時間程度自由に園内を観覧してもらい、調査員1名が同行してビデオカメラでその観覧行動を記録した。後日、映像記録から被験者が実際に観覧行動を行っている時刻を抽出し、同時刻の GPS ログと対応させた。具体的には、被験者が顔の正面を動物展示に対して向けている状態を観覧していた基準として、観覧行動を行っていた場合は「1」、行っていなかった場合には「0」の値を GPS ログに付加した。被験者が屋内に滞在

していた時刻の GPS ログは測位が不完全であると判断して、調査の対象から除外した。さらに、正門付近や広場、レストランなど、展示が存在しないエリアに位置する GPS ログは、位置の情報から観覧行動をしていないと判断しうることから対象から除外した（図 2.1）。以下、この「観覧していた」＝「1」あるいは「観覧していなかった」＝「0」の二値を観測値として、これが付加された 1 秒ごとの GPS ログを用いて分析を進めるものとした。

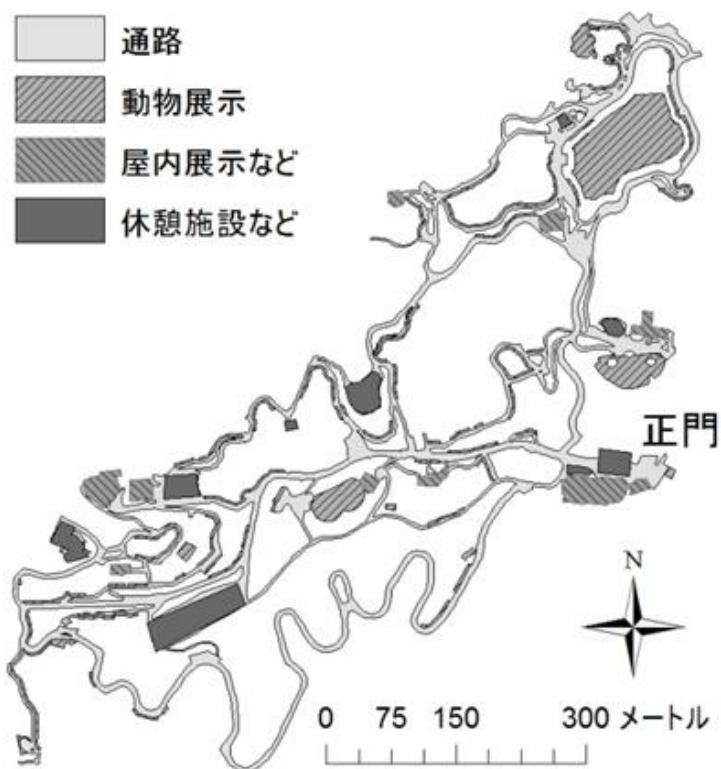


図 2.1 多摩動物公園内の見取り図

まずは、観覧していたか否かを表す二値を付加した GPS ログを園内図上にプロットして、被験者が園内のどこで観覧行動を行っていたかを考察した。その一例を図 2.2 に示す。図 2.2 において、この被験者は展示から離れた場所から観覧をしながら近づき、展示に十分に近い位置で観覧をやめて離れていく様うかがえる。つまり、滞在した位置だけを考慮して観覧者が展示を観覧していたかどうかを推測することには限界があることがわかる。

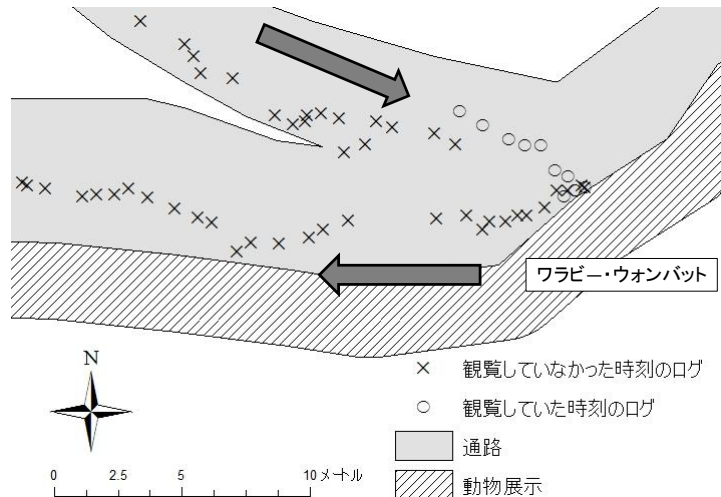


図 2.2 実際の観覧行動例

次に、各 GPS ログに記録された移動速度を用いて、移動速度 0.1km/h ごとでの GPS ログ数に占める「観覧していた」GPS ログ数の割合を算出することで、移動速度ごとでの各被験者が観覧を行っていた割合を求めることとした。ある被験者の、移動速度 0.1km/h の観覧していた割合を表した「速度 - 観覧割合グラフ」を図 2.3 に示す。この被験者は歩行速度が遅いほど観覧していた割合が高く、また静止をしていても必ずしも観覧をしていたわけではないことを示唆している。また、他の 4 名の被験者も同様であることが確認できた。以上から、動物園来園者の観覧行動と移動速度には強い関係性があることが明らかとなった。

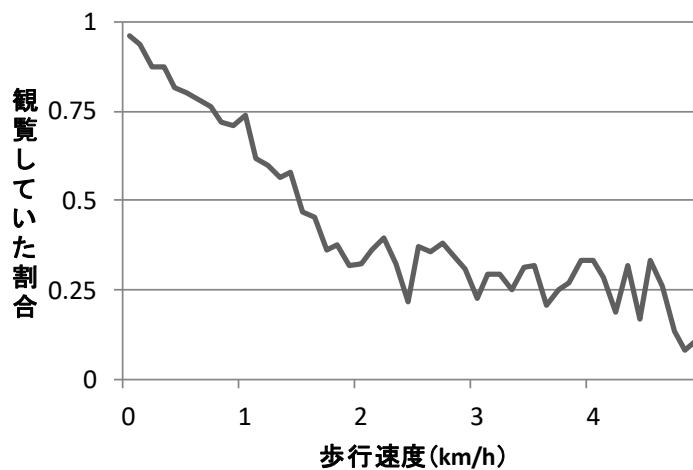


図 2.3 速度 - 観覧割合グラフの例

以上の観覧者の行動と移動速度の関係をふまえて、観覧していたか否かの二値を付加した GPS ログを用いて、ある時刻で観覧をしていた確率を移動速度から求めるロジスティック回帰モデルを推定した結果を式 (2.1) 及び表 2.1 に示す。 $p$  は観覧をしていた確率、 $v$  は歩行速度 (km/h) を示している。

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 v \quad (2.1)$$



表 2.1 移動速度による回帰モデルの推定結果

推定値	標準 誤差	標準 偏回帰係 数	Wald 統計量	p 値	偏回帰係数の 95%信頼区間		オッズ 比	オッズ比の 95%信頼区間		
					下 限	上 限		下 限	上 限	
$\beta_0$	1.6481	0.0308	2867.8488	0.0000**	1.5878	1.7085				
$\beta_1$	-0.9802	0.0159	-1.1039	3784.4664	0.0000**	-1.0115	-0.9490	0.3752	0.3637	0.3871

\*:p<0.05 \*\*;p<0.01

尤度比検定	p 値	0.0000	McFadden R <sup>2</sup>	0.1430	Cox-Snell R <sup>2</sup>	0.2396	Nagelkerke R <sup>2</sup>	0.2300
-------	-----	--------	-------------------------	--------	--------------------------	--------	---------------------------	--------

寄与率を示す値のひとつである NagelkerkeR<sup>2</sup> 値は 0.2300 であった。映像記録実験により GPS ログに付加した「1」と「0」の値を観測値として、モデルによって求められた観覧していた確率が 0.5 以上の場合は「観覧していた」、0.5 以下の場合は「観覧していなかった」と判別した場合の予測値とを見比べた判別の中率は 70.89% であった (表 2.2)。

表 2.2 式 (2.1) による分類表

	予測値		判別の中率
	0	1	
観測値	0	9479 3476	73.17%
	1	3761 8141	68.40%
	全体		70.89%

一方、この GPS ログに対し、先行研究を参考に「展示と通路の境界から 3m 以内に滞在していた場合は観覧をしていたとみなす」と仮定して観覧状態を推定したところ的中率は 57.26% であった。以上から、単純に展示付近での滞在時間をもって観覧していた時間とみなすのは適切でないこと、さらに、歩行速度を考慮することでより精確に観覧している状態を推定できることが明らかとなった。

### 2.2.3 予備実験結果からみえる推定手法の課題点

予備実験調査の結果から、被験者の各時刻での観覧行動を「0」か「1」に二値化し、これを移動速度によって統計的に説明することがある程度可能であることが明らかになった。そこで、移動速度を含む複数の説明変数を用いて、各時刻で観覧者が観覧していた確率をより高い精度で求めるロジスティック回帰モデルを推定する手法を検討していくことを目的として、手法の改善を試みた。

前節で推定された回帰モデルは「観覧者がより遅い速度で歩いている時ほど、観覧をしている確率が高い」と解釈できる。図 2.3 から、この解釈は一般的な人の行動として自然であると思われる。しかし、観覧者が常にこの解釈に則した行動を取っているわけではない。たとえば図 2.2 では、展示を見つけた観覧者が展示に近づき、だんだんと歩く速度を緩め、そして観覧をやめて立ち去っていく様子がうかがえる。そこでこのような観覧者の行動を反映させるべく、観覧者の歩く速度だけでなく、観覧者と展示との関係に着目して説明変数を組み込むことを試みた。

まず、観覧者の歩行速度の変化に着目をして、ある時点  $t$  とその 1 秒前  $t - 1$  の速度  $v$  の差を取り、加

速度 $a_t = v_t - v_{t-1}$ として説明変数の候補とした。

次に、観覧者と展示の位置関係に着目し、各時刻での観覧者と最も近くにある動物展示との距離 (m) を求め、 $d_t$ とした。さらに、観覧者が展示に近づく場合、離れる場合を考慮して、観覧者と展示との距離の変化に着目し変数を設定した。ある時点 $t$ を基準とした前後の関係を踏まえ、時点 $t$ と時点 $t-1$ の距離の変化を $r_t^- = -(d_t - d_{t-1})/d_t$ 、時点 $t$ と時点 $t+1$ の距離の変化 $r_t^+ = -(d_{t+1} - d_t)/d_t$ をそれぞれ説明変数の候補とした。なお、それぞれ距離の変化量を展示との距離で除しているのは、動物展示に近い場所と離れた場所での距離の変化に重み付けするためである。

さらに、説明変数の検討に加えて、被験者群の拡大を行った。2010年に行われたアンケート調査の結果から多摩動物公園の典型的な来園者像として①二十歳代二人組、②幼稚園児を含む家族連れの2つを被験者群として設定をして、新たに本実験として調査を行った。

#### 2.2.4 本調査の実施

本実験調査を2011年10月25日(火)及び29日(土)に行った。前章での実験調査と同様に、GPSロガーを携帯した被験者の観覧行動をビデオカメラで記録した。①二十歳代二人組の実験では、5組10人の被験者のうち、一方の被験者にビデオカメラを携帯してもらい、もう一方の被験者の観覧行動を記録させた。また予備実験調査もこの被験者群に当てはまると判断し、両データを合わせて合計10組のサンプルとして扱った(表2.3)。②幼稚園児を含む家族連れの実験調査(表2.4)では、9組の被験者家族のそれぞれについて、最も年長の園児1人を調査の対象として、GPSロガーを携帯させ、調査員1名が家族連れの後方から同行してビデオカメラで対象幼児の観覧行動を記録した。親ではなく子どもを推定対象としたのは、幼稚園児を連れた親は子どもと展示の両方に注意を払うことが予想され、そのような行動はこの実験の対象とは異なると判断したためである。前章と同様の手法で映像記録とGPSログを対応付け、被験者が屋内に滞在していた時刻のGPSログ及び、展示が存在しないエリアに位置するGPSログを除外した。さらに、GPS機器で記録される機器の移動速度が非常に高い精度であることが知られている点、使用したGPS機器のカタログスペック<sup>2.1)</sup>の2点を考慮して、1秒ごとに記録されたGPSログの前後のログとの距離を秒速に見立て、そのGPSログに記録された速度との差が3m/s以上である場合は測位精度に問題があるログだと判断して除外した。

表 2.3 ①二十歳代二人組被験者一覧

被験者名	性別	属性	同行者	対象 総ログ数	観測値別ログ数 (割合)	
					0	1
A	男	大学生	男子大学生 (調査員)	3125	1510 (48.32%)	1615 (51.68%)
B	男	大学生	男子大学生 (調査員)	3442	1683 (48.90%)	1759 (51.10%)
C	男	大学生	男子大学生 (調査員)	2874	1608 (55.95%)	1266 (44.05%)
D	女	大学院生	男子大学生 (調査員)	3557	1833 (51.53%)	1724 (48.47%)
E	女	大学生	男子大学生 (調査員)	3496	1589 (45.45%)	1907 (54.55%)
F	女	大学生	女子大学生	6673	2576 (38.60%)	4097 (61.40%)
G	男	大学院生	女子大学生	2484	1827 (73.55%)	657 (26.45%)
H	男	大学生	女子大学生	3758	2016 (53.65%)	1742 (46.35%)
I	男	大学生	女子大学生	2468	1310 (53.08%)	1158 (46.92%)
J	男	大学生	男子大学生	2075	1383 (66.65%)	692 (33.35%)
全体				33952	17335 (51.06%)	16617 (48.94%)

表 2.4 ②幼稚園児を含む家族連れ被験者一覧

被験者名	代表者 (親)	対象 園児	その他同行者	対象 総ログ 数	観測値別ログ数 (割合)	
					0	1
K	30歳代 女性	年長 女児	夫・乳児 (ベビーカー)	2192	1126 (51.37%)	1066 (48.63%)
L	40歳代 女性	年中 女児		4051	2644 (65.27%)	1407 (34.73%)
M	30歳代 女性	年長 男児	乳児 (ベビーカー)	4674	3336 (71.37%)	1338 (28.63%)
N	30歳代 女性	不明		3726	2042 (54.80%)	1684 (45.20%)
O	20歳代 女性	年少 男児		4068	3581 (88.03%)	487 (11.97%)
P	30歳代 女性	年中 男児	2歳男児	4076	2356 (57.80%)	1720 (42.20%)
Q	40歳代 男性	年中 男児		3997	3085 (77.18%)	912 (22.82%)
R	30歳代 女性	年少 女児	別の家族 (母・年少女児)	3088	2136 (69.17%)	952 (30.83%)
S	30歳代 女性	年長 男児	2歳児 (ベビーカー) ・別の家族 (母・年長男 児・年少女児)	5232	3121 (59.65%)	2111 (40.35%)
全体				35104	23427 (66.74%)	11677 (33.26%)

### 2.2.5 ロジスティック回帰モデルの推定

前目で用意したデータを用いて、動物展示を観覧していた確率 $p$ を求めるロジスティック回帰モデルを推定した。説明変数には前述の $v$ ,  $a$ ,  $d$ ,  $r^-$ ,  $r^+$ を候補として、基準となる  $p$  値を 0.2 としたステップワイズ法で変数選択を行い、モデルの推定を行った。被験者として、①二十歳代二人組を対象とした場合の結果を式 (2.2) 及び表 2.5 に示す。

$$\text{logit}(p) = \beta_0 + \beta_1 v + \beta_2 a + \beta_3 d + \beta_4 r^+ \quad (2.2)$$

表 2.5 二十歳代二人組を対象とした推定結果

推定値	標準 誤差	標準 偏回帰 係数	Wald 統計量	p 値	偏回帰係数の 95%信頼区間		オッズ 比	オッズ比の 95%信頼区間		説明変数間 の共線性の 統計量 VIF	
					下 限	上 限		下 限	上 限		
$\beta_0$	1.3465	0.0292	2124.7840	0.0000**	1.2892	1.4037					
$\beta_1$	-0.5897	0.0110	-0.7998	2868.8954	0.0000**	-0.6113	-0.5682	0.5545	0.5426	0.5666	1.206
$\beta_2$	0.1850	0.0248	0.1018	55.8027	0.0000**	0.1365	0.2336	1.2033	1.1462	1.2631	1.038
$\beta_3$	-0.0689	0.0020	-0.8924	1189.8026	0.0000**	-0.0728	-0.0650	0.9334	0.9298	0.9371	1.297
$\beta_4$	0.0041	0.0003	0.1922	167.3862	0.0000**	0.0035	0.0047	1.0041	1.0035	1.0048	1.282

\*:p<0.05 \*\*:p<0.01

尤度比検定	p 値	0.0000	McFadden R <sup>2</sup>	0.2095	Cox-Snell R <sup>2</sup>	0.2520	Nagelkerke R <sup>2</sup>	0.3360
-------	-----	--------	-------------------------	--------	--------------------------	--------	---------------------------	--------

このモデルでは $r^-$ が変数としては選択されなかった。NagelkerkeR<sup>2</sup>値は0.3360、判別率的中率は72.80%となった。観測値ごとの推定値的中率(表2.6)もともに7割強となった。また、同じデータを用いて式(2.1)の推定と同様に、速度 $v$ のみを説明変数としてモデルを推定した場合のNagelkerkeR<sup>2</sup>値は0.2306、判別率的中率は70.76%、AICは40616.1263であった。式(2.2)のモデルではAICが37213.3043であり、モデルとしての精度が向上していることが見て取れる。また、標準偏回帰係数から、速度 $v$ と展示との距離 $d$ の観覧していた確率 $p$ への影響が強いことがわかる。よってこの式(2.2)のモデルは「動物展示のより近くを、よりゆっくり歩いている時ほど観覧している確率は高い」と解釈できる。一方、推定された加速度 $a$ の標準偏回帰係数は正の値を示している。加速度 $a$ が大きくなる場合に観覧していた確率は高まることを示しているが、これは展示施設を認識し近づき始める場合や、展示施設前で立ち止まって観覧を行った後に移動を開始する時点まで観覧を行っている場合などが反映されていると解釈できる。しかし、人の歩行行動における加減速は非常に複雑であるため、展示施設に近づいていく場合、展示にそって移動する場合、展示から離れる場合などに観覧行動の段階をわけてその行動を推定していくことも有用であると考えられる。

表 2.6 式 (2.2) による分類表

	予測値		判別率的中率	
	0	1		
観測値	0	12245	4981	71.08%
	1	4253	12473	74.57%
全体			72.80%	

同様に②幼稚園児を含む家族連れを被験者とした場合の結果を式(2.3)及び表2.7に示す。このモデルでも $r^-$ は変数として選択されなかった。NagelkerkeR<sup>2</sup>値は0.1941、判別率的中率は70.48%であった。しかし、観測値ごとの推定値的中率(表2.8)は、実際に観覧をしていた場合が31.10%、実際には観覧を行っていなかった場合が90.11%であった。対象となったGPSログの観測値の割合は、実際に

観覧を行っていた場合が 33.26%，実際に観覧を行っていなかった場合が 66.74%であるため，推定モデルとしてはほとんど意味をなさないことになる。

$$\text{logit}(p) = \beta_0 + \beta_1 v + \beta_2 a + \beta_3 d + \beta_4 r^+ \quad (2.3)$$

表 2.7 家族連れを対象とした推定結果

	推定値	標準誤差	標準偏回帰係数	Wald 統計量	p 値	偏回帰係数の 95%信頼区間		オッズ比	オッズ比の 95%信頼区間		説明変数間の共線性の統計量 VIF
						下限	上限		下限	上限	
$\beta_0$	-0.0780	0.0219		12.6661	0.0004**						
$\beta_1$	-0.3255	0.0104	-0.4886	975.7242	0.0000**	-0.3459	-0.3051	0.7222	0.7076	0.7371	1.050
$\beta_2$	0.0764	0.0219	0.0491	12.2175	0.0005**	0.0336	0.1193	1.0794	1.0341	1.1267	1.042
$\beta_3$	-0.0389	0.0014	-1.1727	814.5002	0.0000**	-0.0415	-0.0362	0.9619	0.9593	0.9645	1.092
$\beta_4$	0.0058	0.0003	0.2454	390.3674	0.0000**	0.0052	0.0064	1.0058	1.0052	1.0064	1.098

\*:p<0.05 \*\*:p<0.01

尤度比検定	p 値	0.0000	McFadden R <sup>2</sup>	0.1183	Cox-Snell R <sup>2</sup>	0.1397	Nagelkerke R <sup>2</sup>	0.1941
-------	-----	--------	-------------------------	--------	--------------------------	--------	---------------------------	--------

表 2.8 式 (2.3) による分類表

	予測値		判別の中率
	0	1	
観測値	0	21109 2318	90.11%
	1	8045 3632	31.10%
全体			70.48%

このように，①二十歳代二人組を対象とした場合と異なり，②幼稚園児を含む家族連れを対象とした場合に十分な説明力を持ったモデルが推定できなかったことには，いくつかの理由が考えられる。図 2.4 に②幼稚園児を含む家族連れの全被験者を対象とした速度 - 観覧割合グラフを示す。歩行速度が十分に遅い場合でも，高い割合で観覧をしているわけではないことがわかる。また，立ち止まっていた場合に観覧していた割合が極端に低くなっている。映像記録からも，動物展示の観覧とは関係なく歩行と立ち止まりを繰り返すなど，その行動の突発性が推定を困難にしていることがうかがえる。また，同じ年齢でも体格の違いによって歩行速度に差が見られる場合もあり，以上から，歩行速度を用いて統計的に推定を行うには適していない可能性が示唆される。

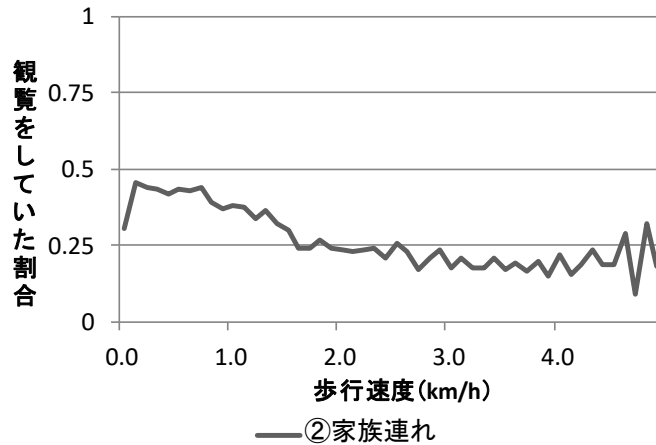


図 2.4 ②家族連れを対象とした速度 - 割合グラフ

### 2.3 推定精度の検証と考察

前節では、全ての被験者の GPS ログをひとつにまとめて、統計モデルの推定を行った。ここで、実際に観覧行動推定を行うことを想定した場合、本研究での「観覧していたか否か」の二値が付加された GPS ログを取り扱うには、以下の点で検討を加える必要あると考えられる。一つは、全ての被験者の GPS ログをまとめて統計的な推定を行ってよいのかという点で、これは被験者ごとの性質の違いあるいは観覧ルートの違いに起因する。二つ目には、一人の被験者の GPS ログであってもまとめて扱ってよいのかという点である。これについては、各被験者の行動の一貫性の有無や、観覧行動の時間経過による疲労の蓄積や天候など環境の変化の影響を無視できないことが理由として挙げられる。さらに、同一被験者のデータを複数採用して統計的な推定を行っている点については、データの独立性について問題が考えられる。本章で扱った GPS データのように、同一個体に対する計測を時間の経過とともに繰り返し行って得たデータは時間的な自己相関を有する場合がある (Dobson2008<sup>[43]</sup>)。そのようなデータに対して独立性を仮定したまま、残差の自己相関が考慮されていないロジスティック回帰モデルなどによる推定を行った場合、推定値の標準誤差が過小評価され、検定結果が過大に評価されて有意になりやすいことが指摘されている (深澤ほか 2009<sup>[44]</sup>, 丹後ほか 2013<sup>[45]</sup>)。統計的に有意な回帰モデルが推定されてはいるが、以上の点からこの統計モデルの評価には慎重である必要があると考えられる。そこで、本節では、モデルの推定手法が個々の被験者のデータに対してどの程度の予測精度があるのかを検証したうえで、モデルへの当てはまりが良くない被験者の行動の特徴について検討と考察を行うこととした。

①二十歳代二人組を対象として、10組の被験者の GPS ログのうち、1組を抜き出した9組で同様のロジスティック回帰モデルの推定を行い、抜き出しておいた1組にそのモデルを適用する形で行う K-fold 法<sup>2.2)</sup>を用いてモデルの判別率の検証を行った。1組の被験者の GPS ログを除いた回帰モデルの推定結果、9組の被験者の GPS ログから推定した回帰モデルを抜き出した1組に適用した結果を表 2.9 に示す。

表 2.9 K-fold 法を用いた予測精度の検証結果

	1 被験者の GPS ログを除いた回帰モデルの推定結果				抜き出しておいた被験者への適用結果			
	全体の 判別率	観測値別 判別率		NagelkerkeR <sup>2</sup> 値	全体の 正解率	観測値別 正解率		
		0	1			0	1	
A を除いた推定結果	72.69%	70.80%	74.65%	0.3362	A への適用結果	72.03%	66.62%	77.09%
B を除いた推定結果	73.06%	71.43%	74.76%	0.3382	B への適用結果	70.02%	70.71%	69.36%
C を除いた推定結果	72.74%	70.60%	74.89%	0.3364	C への適用結果	72.37%	65.24%	81.44%
D を除いた推定結果	72.06%	70.38%	73.81%	0.3216	D への適用結果	77.99%	68.68%	86.74%
E を除いた推定結果	73.31%	71.82%	74.88%	0.3493	E への適用結果	67.96%	69.35%	66.81%
F を除いた推定結果	71.11%	72.63%	69.34%	0.2770	F への適用結果	82.17%	81.02%	82.89%
G を除いた推定結果	73.27%	70.02%	76.39%	0.3430	G への適用結果	67.27%	76.68%	41.10%
H を除いた推定結果	75.14%	73.89%	76.41%	0.3986	H への適用結果	56.47%	57.44%	55.34%
I を除いた推定結果	71.77%	69.41%	74.18%	0.3166	I への適用結果	84.00%	81.91%	86.36%
J を除いた推定結果	73.23%	70.63%	75.81%	0.3440	J への適用結果	66.36%	72.23%	54.62%

1 組の被験者の GPS ログを抜き出した回帰モデルの推定結果は、抜き出した被験者ごとにややばらつきがあるものの、全てで有意なモデルが推定され、10 組全ての被験者の GPS ログを用いた結果に沿ったものであった。また、推定された回帰モデルの定数項や係数の推定値、偏回帰係数に大きな違いは見られなかった。抜き出しておいた被験者の GPS ログに推定した回帰モデルを適用した場合の正解率には、いくつかの被験者を対象とした場合に大きなばらつきが見られた。被験者 G 及び J は観測値ごとの正解率に大きな差が出ている。2 組の被験者とも観測値数にも大きなばらつきがあり(表 2.3)、ロジスティック回帰モデルでの推定が適していないことも考えられる。被験者 H は、どちらの観測値でも判別の中率は低かった。図 2.5 に被験者 G, J 及び H の速度 - 観覧割合グラフを示す。被験者 G, J は、速度が十分に遅い場合でも高い確率で観覧をしていないことがわかる。被験者 H の場合、歩行速度に係らず一定の割合で観覧をしていることがわかる。ここで問題となるのが、彼らは常にモデルに当てはまらない行動をしているのか、それともモデルに当てはまる行動をしている時刻とそうでない時刻が入り混じっているのかという点である。これを検討するためには、園内全てでの GPS ログを扱うのではなく、GPS ログのリサンプリングを行う必要があると考えられる。さらには、観測値の割合が大きく偏る場合に、判別の中率の評価が難しくなるため、観測値ごとのログの数が等しくなることが好ましいと言える。

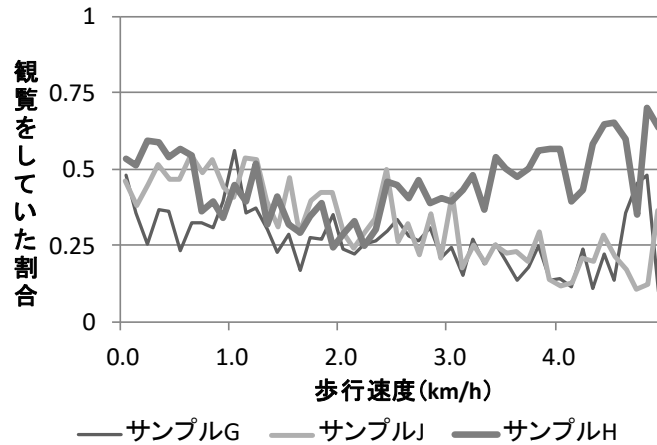


図 2.5 3 サンプルの速度 - 観覧割合グラフ

そこで、各被験者の GPS ログのうち、「観覧していたログ数」と「観覧していなかったログ数」が同じになるようにランダムにリサンプリングを行い、これまでと同様に回帰モデルの推定を行うこととした。もともとなる各被験者の GPS ログ数を考慮し、観測値ごとにそれぞれ 500 ログずつ及び 250 ログずつに設定した。各被験者の場合で複数回行い、リサンプリング後の度数分布や回帰モデルの推定結果が概ね同じような結果になることを確認した。ランダムリサンプリングをした結果の速度 - 観覧割合グラフの例を図 2.6 に示す。どの被験者を対象とした場合でも、移動速度と観覧している割合に線形あるいはロジット曲線のような関係性は見受けられない。このデータをもとに前章と同様にロジスティック回帰モデルを推定した結果、被験者 G, J, H の場合は、展示との距離  $d_t$  が最も標準偏回帰係数の大きい説明変数となる、判別率 60% 前後、Nagelkerke  $R^2$  値 0.12~0.29 程度の回帰モデルが推定された。図 2.6 から、この 3 被験者に関しては、他の 7 被験者のような「ゆっくり歩いている時ほど観覧している確率が高い」といった関係を見てとることはできなかった。つまり、これらの被験者の観覧行動は歩行速度とは強い関係がなく、動物展示との距離と強い関係がある可能性が考えられる。

彼ら 3 被験者は「展示の前でも立ち止まらずに観覧する被験者群」とみなすことができる。たとえば、展示周辺の滞留点の有無から、前章で推定されたモデルに当てはまる「ゆっくり歩いている時ほど観覧している被験者群」と区別して推定を行うことが可能だと考えられ、これによって多くの来園者の行動推定をより精確に行うことが期待できる。また、フェイス情報のみをたよりに被験者をグルーピングするのではなく、実際の行動やそのデータを用いたグルーピングによって推定を行うことの重要性を示している。

以上のように、回帰モデルの推定精度について検証と考察を行った。結果として、モデルへの当てはまりがよい被験者のほかに、当てはまりのよくない被験者の例もあることが明らかとなった。しかし K-fold 法によるモデルの推定結果に大きな違いがみられないことや、当てはまりのよくない被験者を対象とした場合でもある程度の正解率があることから、本研究で推定されたモデルを被験者全体の観覧行動を推定する上での代表的な例であるととらえ、「展示の前でも立ち止まらない」といった、このモデルに当てはまらない場合の行動を特別な例として推定手法を検討していくことが有益であろう。



と考える。

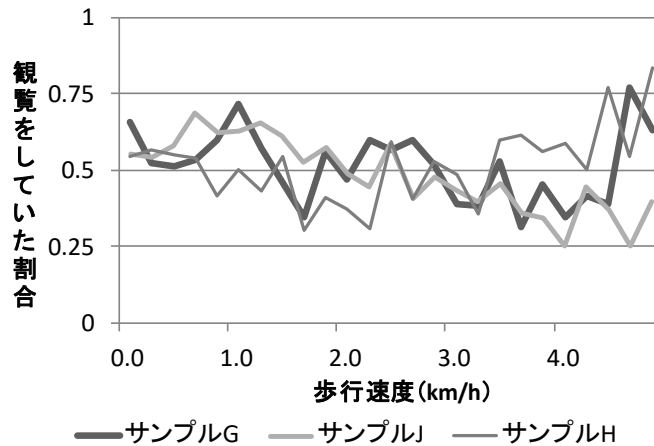


図 2.6 リサンプリング後の速度 - 観覧割合グラフ

## 2.4 本章のまとめ

本章では、時空間行動データから人々の具体的な行動内容を推定することが可能であることを示し、そのような行動推定から有益な情報を得ることができるかどうかを明らかにすることを目的として、動物園を実験調査対象地として、1秒ごとに記録されたGPSログから観覧者が実際に動物展示を観覧していたか否かという行動内容を推定する手法の検討を行った。

観覧者の移動速度を説明変数として、ロジスティック回帰モデルを用いることで、観覧者が各時刻で展示を観覧していたか否かをある程度の精度で推定することが可能であることが明らかとなった。

二十歳代二人組を対象とした場合には、移動速度に加えて、観覧対象との距離やその変化などを考慮することで、高い正解率で推定が可能であることが示され、このモデルは「動物展示のより近くを、よりゆっくり歩いている時ほど観覧している確率は高い」と解釈することができた。

幼稚園児を含む家族連れを対象とした場合には、同様の手法では十分な推定ができなかった。その理由として、幼稚園児の行動の突発性や園児ごとの行動や歩行速度などの違いが挙げられた。

予測精度の検証では、おおむね良好な正解率であることが確認された。またこの結果から、二十歳代二人組の一部では同様の手法では推定モデルの当てはまりが不十分であることが確認されたが、彼らの「展示の前で立ち止まらない」行動を特別な例としてとらえ、推定されたモデルと当てはまりのよい行動をとる来園者とは分けて行動推定を行うことが有益であろうと結論付けた。

推定した統計モデルを、多くの一般利用者のGPSデータに適用することで、各展示が実際に観覧されている時間の長さや、観覧が行われやすい箇所などを特定することが可能になると考えられ、施設の管理・運営、サービスの向上などに活用されることが期待できる。また、動物園での観覧行動に限らず、他の施設での観覧行動の推定や、スマートフォンに搭載されている多様なセンサー類を活用した観覧行動以外の行動推定へと発展させていくことが考えられる。

しかし、この結果が汎用性のあるものと結論付けるためには、いくつかの検証と検討の必要性が考えられる。1点目は、「観覧していたか否か」を記録するための映像記録の撮影による影響と誤差の検証である。撮影行動の影響を考慮すれば、アイマーカーレコーダーなどを用いた実験から検証を行っていくことが望ましいと考えられる。2点目には、統計的な手法として、同一被験者のデータを複数採用していることでデータの独立性に疑問が残るため、推定結果の残差の自己相関についての検証や、データの空間的及び時間的自己相関を考慮した統計モデルによる推定などを試みることは重要な検討事項であると言える。3点目には、「動物展示との距離」などの被験者と周辺の施設や環境との関係によって値を定める説明変数の取り扱いについて、より慎重な検討が必要であると考えられる。たとえば、本章では「動物展示との距離」の値を、どの展示が観覧の対象となる場合でも同一に扱っている。しかし、展示や動物の大きさ、動物が展示内のどの箇所に留まっているかなどによって、その「動物展示との距離」が観覧行動に影響する程度が異なることは十分に考えられる。これらの影響を考慮した実験や検証を行うことも、今後必要になってくるであろう。

本章での実験例として用いた動物園での観覧行動では、「展示の前でも立ち止まらずに観覧する被験者群」を特殊な例として扱うことはさほど不自然なことではないと言える。しかし、観覧行動以外の具体的な行動内容を推測しようとする場合に同様に扱えるとは限らない。そういった場合、各々の対象となる時空間行動の特徴をふまえ、類似性の高い被験者群を抽出してモデルの推定を行うことが有効であろうと考えられる。つまり、時空間行動データから具体的な行動内容推定を行っていく観点からも、時空間行動データの特徴そのものから分類を行う手法が必要となることが示された。

## 注

- 2.1) 使用した GPS ロガーは Q-STARZ 社 BT-Q1300 で、カタログスペックは単独測位時では 2D-RMS が 3m、平均誤差半径 3m 未満である。
- 2.2) 一般的な K-fold 法の場合、全てのサンプルを無作為に K 個に分割して同様の検証を行うが、本研究では元となるデータが被験者ごとにサンプリングされていることを考慮して、被験者ごとに分割して検証を行うこととした。

なお、本章の内容は、“川瀬純也・伊藤史子・倉田陽平（2016）時空間行動を表す複数の説明変数を用いた観覧行動推定—多摩動物公園における GPS 調査実験をもとに—、GIS 理論と応用, 24(1), 1-11.” の一部に加筆・修正を加えたものである。

## 第3章 時空間行動データの分類と配列アライメント手法

### 3.1 時空間行動を分類する必要性と課題点

従来の人々の行動を扱う研究の多くでは、アンケート調査で得られる性別や年齢といったフェイス情報などを用いて対象者を分類し、その時空間行動の特性の明確化や比較を行う手法が広く用いられている（たとえば有馬 2010<sup>[18]</sup>）。しかし、同様な属性であったとしても、必ずしも同様の行動をとっているとは言えず、調査・分析の目的によっては、時空間行動そのものから対象者を分類することが求められる場合もある。さらに、大量に収集される時空間行動データを適切に活用していくためには、集められたデータを効率的に分類し、データ全体の傾向を把握することも必要となる。あるいは、時空間行動ビッグデータから調査・研究の目的に合った時空間行動に合致するデータを抽出する必要も出てくる。以上から、時空間行動の特徴から時空間行動データを分類する手法が必要となる。

時空間行動の定量的な分類を考える場合、人々の行動のある側面に着目し、その類似度を定量的に算出することが求められる。人々の行動を考える場合、どこを通ったか、どこにどのくらいの時間だけ滞在したか、あるいは訪れる施設等の組み合わせと順序などがこれに当たる。しかし、これらの時空間行動のそれぞれの側面を包括的に捉えてその類似度を算出しようとした場合、移動軌跡に代表される空間的な類似度と、滞在時間に代表される時間的な類似度の尺度が必ずしも均質ではなく（Long and Nelson 2013<sup>[38]</sup>）、単純に突き合わせることができないという問題が生じる。例えば、100mの移動軌跡の一致と10分間の滞在箇所的一致とを類似度として単純に比較することができないということである。

人々の時空間行動の類似度を定量的に求めるためには、対象となる時空間行動全体を鑑みたくて、“①空間的類似度と時間的類似度の尺度の関係が定まっていない点”、“②空間的・時間的それぞれの類似度の影響度が対象となる行動ごとに異なる可能性がある点”が考慮されることが望ましいと言える。これらをふまえ、施設を訪れる順序や組み合わせ、その長さなどを考慮したうえで定量的な人々の時空間行動の分類を行うためには、配列アライメント手法を用いて類似度を算出する手法の活用が期待できる（Bargeman et al. 2002<sup>[39]</sup>, Shoval and Isaacson 2007<sup>[40]</sup>）。配列アライメント手法とは、DPマッチング（神田ほか 2008<sup>[37]</sup>など）を発展させた手法であり、対象空間を複数のエリアに分割し、それぞれに文字を割り当て、時空間行動データを滞在エリアの遷移を表す文字列に置き換え、その文字列間の類似度を配列アライメント手法によって定量的に算出することで、①及び②の問題点を解決した類型化が可能であると考えられる。

本章では、配列アライメント手法の概要と、時空間行動を扱った既存研究、また配列アライメント手法を時空間行動分析に活用するうえでの課題点についてまとめる。

### 3.2 配列アライメントによる時空間行動類型化手法

#### 3.2.1 配列アライメント手法の概要

配列アライメント手法（Sequence Alignment Method: 以下SAMとする）とは、異なる2つ以上の文字列について、文字の順序を保ったまま対応付けを行い、類似度を定量的に表し、系統樹を得ることで類型化を行う手法である。バイオインフォマティクスの基本的なツールのひとつであり、同じ長さ

とは限らない一対の文字列を同一の文字列に変換するための編集操作（挿入・削除・置換，表 3.1）の最小回数として定義される Levenshtein 距離の概念に基づいて，動的計画法（dynamic programming）を基礎としたアルゴリズムが有名である（Lesk 2013<sup>[46]</sup>）．この手法を援用することにより，人々の行動を文字列に置き換え，その類似度を定量的に算出することができる．

表 3.1 Levenshtein 距離による各編集操作の例

	目標となる文字列 A B C D	同じ文字列にする ための編集操作
対象	B C D	先頭に A を“挿入”
	A B C D E	末尾の E を“削除”
	A F C D	F を B に“置換”

SAM で用いられる手法はいくつか存在するが，その多くでは一対の文字列間の類似度を算出するペアワイズアライメント（Pairwise Alignment）と，その結果をもとに投入されたサンプル全体のアライメントを行うマルチプルアライメント（Multiple Alignment），以上の結果をもとに系統樹を作成する系統推定で構成される（マウント 2005<sup>[47]</sup>）．SAM において広く用いられている動的計画法を用いたアライメントでの文字列間の類似度を算出するための編集操作は，一般的な編集操作（表 3.1）とはやや異なる．ある文字が一致した場合と不一致であった場合のそれぞれにスコアを定め（つまり不一致であった場合は置換操作に相当する），さらにインデル（indel）と呼ばれる，文字列へのギャップ（空白のこと）の挿入操作に定めたコスト（ギャップペナルティ）を合計して類似度を算出する（Rosenberg 2009<sup>[48]</sup>）．なお，類似度を“似ている度合”として算出するアルゴリズムが広く用いられているため，ここではこれを例に用いて説明を行うが，第 4 章，5 章及び 6 章では，“似ていない度合”を算出するアルゴリズムが用いられているため，注意が必要である．

SAM の特徴のひとつに，このインデルによる文字列長の調整が挙げられる．例えば，図 3.1 上段のような 2 つの文字列を Levenshtein 距離の概念に基づいて操作する場合，Target sequence の先頭に K を挿入し，末尾の O を削除することで同一の文字列を得ることができ，この場合の類似度は 1 回の挿入・削除操作にそれぞれ設定されたコストとの合計として解釈できる．一方，ギャップ（-）の挿入操作を用いた場合，それぞれの文字列の末尾と先頭にギャップ（-）を挿入し同一の文字列として扱うことができる（図 3.2 下段）．この場合の類似度は，LMN が一致した 3 文字分の正の値のスコアの合計からギャップ挿入操作に設定されたコスト（ギャップペナルティ）の 2 回分を差し引いた値として解釈できる．

操作前の文字列					
Source sequence:	K	L	M	N	
Target sequence:		L	M	N	O
ギャップ挿入操作後の文字列					
Source sequence:	K	L	M	N	-
Target sequence:	-	L	M	N	O

図 3.1 ギャップ挿入操作の例

このギャップ挿入操作は、2つの文字列の長さが異なる場合にも活用される。図 3.3 上段のような2つの文字列を操作する場合、Target sequence の3文字目（あるいは4文字目）にギャップを挿入することで文字列長を調整することができる（図 3.2 下段）。この場合の類似度は、K-MN の一致したスコアの合計から L-P の不一致のスコアとギャップペナルティを差し引いた値となる。

操作前の文字列					
Source sequence:	K	L	M	M	N
Target sequence:	K	P	M	N	
ギャップ挿入操作後の文字列					
Source sequence:	K	L	M	M	N
Target sequence:	K	P	-	M	N

図 3.2 ギャップによる文字列長の調整例

しかし、一対の文字列の操作結果が複数考えられる場合もある。例えば、図 3.3 は図 3.2 と同じ一対の文字列の操作例である。この場合の類似度は、K-MN の一致したスコアの合計から3回分のギャップペナルティを差し引いた値となる。操作の結果として、より高い類似度がその一対の類似度として採用される場合、L-P の不一致のスコアとインデルペナルティの設定によって、どちらの操作結果を採用するかが決まる。端的には、文字の不一致スコアの絶対値よりもギャップペナルティの絶対値が小さい場合は、ギャップの挿入操作が多く発生した操作結果が採用されやすいと考えられる。

操作前の文字列					
Source sequence:	K	L	M	M	N
Target sequence:	K	P	M	N	
ギャップ挿入操作後の文字列					
Source sequence:	K	-	L	M	M
Target sequence:	K	P	-	-	M

図 3.3 ギャップが挿入されやすい場合の操作例

図 3.1 や図 3.3 の例のように、比較される文字列のどちらにもギャップが挿入されるため、文字列長が大きく異なったり、文字の一致する部分が少なかったりする場合には、複雑にギャップが挿入され、類似度の算出も複雑になる。さらに、複数の文字列のアライメントを行うマルチプルアライメントにおいてはより複雑な作用をもたらす。図 3.4 上段のような3つの文字列をアライメントする場合、中段のように操作するのがギャップの挿入数も少なくシンプルであり、アライメントとして適していると考えられる。しかし、図 3.3 下段のような操作が先に行われていた場合、図 3.4 下段のようにアライメントされる可能性もある。以上のように、文字の一致・不一致スコアとギャップペナルティは SAM の類似度算出のパラメーターとして非常に重要な役割を担っていると言える。

操作前の文字列							
Sequence 1	K	L	M	M	N		
Sequence 2	K	P	M	N			
Sequence 3	K	L	P	N			
操作後の文字列例 1							
Sequence 1	K	L	—	M	M	N	
Sequence 2	K	—	P	—	M	N	
Sequence 3	K	L	P	—	—	N	
操作後の文字列例 2							
Sequence 1	K	—	—	L	M	M	N
Sequence 2	K	—	P	—	—	M	N
Sequence 3	K	L	P	—	—	—	N

図 3.4 複数の文字列の操作を行う場合の例

### 3.2.2 SAM を用いた時空間行動に関する既存研究

次に、SAM を用いた既存研究についてまとめる。SAM はバイオインフォマティクス以外の様々な分野で活用されているが、時空間行動分析と近い分野での例として、日常行動を対象とした日記調査の分析への援用が挙げられる (Wilson 1998<sup>[49]</sup>, Wilson et al. 1999<sup>[50]</sup>)。日記調査で記録された”sleep and rest” ”eating and drinking”といったアクティビティに文字を割り当て、一日の行動を文字列にすることで行動パターンの分析を行っている。また、それぞれのアクティビティが行われた地点の違いを考慮するため、アクティビティを表す文字に地点を表す文字を併記し、同じアクティビティでも地点が異なれば類似度を相対的に低く見積もることで、時空間パスに代表される時空間の移動が考慮された時間地理学への援用が行われている (Wilson 2008<sup>[51]</sup>)。

時空間行動に限らず観光者の行動把握に SAM を用いた例もいくつかあるが (Bargeman et al. 2002<sup>[39]</sup>, Lee and Joh 2010<sup>[52]</sup>)、GPS データなどの時空間行動データにもとづいた類型化への直接的なアプローチの例としては、Shoval and Isaacson (2007)<sup>[40]</sup>が挙げられる。観光者の GPS データから得られる観光地内での滞在エリアの遷移を文字列化し、SAM による類型化を試みている。イスラエル・アッコを対象地として、0.5km<sup>2</sup>程度の広さの旧市街地内を複数のエリアに分割してそれぞれに文字を割り当て、単位時間ごとに滞在したエリアを表す文字を並べることで時空間行動を表す手法を用いている。この手法では、空間的な類似度は物理的な距離ではなく、各エリアの接続関係や調査上の重要度、実際の利用頻度などによって調整可能である点が特徴的である。さらに、単位時間ごとに文字を並べることで、エリアごとの滞在時間の違いを表している。

より広範囲での観光行動を対象とした例として、香港での観光行動の類型化 (Shoval et al. 2015<sup>[53]</sup>) や、東京周辺での外国人旅行者の GPS データの類型化 (原ほか 2012<sup>[54]</sup>) がある。また、屋内施設での時空間行動を扱った例として、Bluetooth 機器の接続記録を用いて展示場内の移動行動分析

(Delafontaine et al. 2012<sup>[55]</sup>) などがある。

また、矢部 (2010) <sup>[56]</sup>は、Shoval and Isaacson (2007) <sup>[40]</sup>で提案された手法に加え、Wilson (2008) <sup>[51]</sup>が提案したアルゴリズムを活用し、対象となる空間を分割して文字を割り当てて空間移動遷移を表す文字列を作成したうえで、滞在した時間帯の差による類似度の重み付けを提案している。文字列間の“似ていない度合”を加算するアルゴリズムにおいて、滞在箇所が異なり文字が不一致であった場合に、時間帯の差によって相対的に似ていない度合を高く見積もることで、Shoval and Isaacson (2007) <sup>[40]</sup>の手法を用いた結果よりも明確に時空間行動の類型化結果が得られたとしている。この手法を広く活用していくためには厳密な検証が必要であると思われるが、多摩動物公園内での来園者の行動を・昆虫館を訪れるグループ・園内全体を時計回りで回るグループ・反時計回りで回るグループに類型できたという結果からは、対象の時空行動全体をとらえたうえでの周遊行動の特定に有効であろうと考えられる。

### 3.3 SAM を時空間行動分析に活用するうえでの課題点

#### 3.3.1 各パラメーター設定の課題点

SAM を用いた人々の時空間行動分析は、すでにいくつかの既存研究において行われており、その有用性が示されている。時空間行動データを単位時間ごとに滞在したエリアを表す文字に置き換え、SAM を用いて定量的に類似度を算出することにより、空間的・時間的類似度を包括的に扱うことが可能になる点は、他の手法にない利点であると言える。これにより、人々の時空間行動をある側面に限定して取り扱うことなくその類型化が可能になる。しかし、その一方でいくつかの課題点が指摘されている。

文字の一致・不一致スコアやギャップペナルティなどの SAM のアルゴリズムにおける各パラメーターを、時空間行動分析に用いる際にどのように設定するべきであるかについての手法が確立されていない点は、この手法の実際的な活用の幅を狭める要因となっている (Delafontaine et al. 2012<sup>[55]</sup>)。前述のように、SAM における各パラメーターは重要な役割を果たす一方で、いくつかの点で明らかとなっていない側面を持つ。DNA や RNA など構造が一定に収まっているバイオインフォマティクスの分野では、SAM のアルゴリズム上の各パラメーターの設定手法について様々な蓄積があるが、その構造が多岐にわたる人々の時空間行動を取り扱う場合においてははまだ着手されていない事項である。しかしながら、SAM において適切な解析の方法は望む目的によって異なる (マウント 2005<sup>[57]</sup>) ことに留意しておく必要がある。“正しいパラメーターの設定”が一意に決まることはなく、目的に応じて選択されるものであるという点がこの問題を複雑にしている。

文字の一致・不一致スコアをどのように設定するかについては、実際に行われるアライメントにおいてその文字がどのように扱われているかによって決められるべきである。例えば、バイオインフォマティクスでは、特定の文字同士での一致・不一致の相対的な発生頻度に応じて設定する手法が用いられ、様々なアライメントの対象に対してその蓄積がなされている (Lesk 2013<sup>[46]</sup>)。同様の手法を時空間行動に応用しようとした場合、一つの対象空間に対して膨大なデータの蓄積と解析が必要となる。実際には、Delafontaine et al. (2012) <sup>[55]</sup>は、屋内展示場内において、同じ展示室内の異なるエリアとの不一致と別の展示室との不一致に任意にスコアを与え、差を設けることにより時空間行動分析を行っ

ている。ここで重要であることの一つは、その時空間行動分析の目的において、差を設けたい文字の不一致のスコアに差を付与することである。様々な文字列の構造が存在し得る時空間行動のアライメントにおいて、付与するスコアを変更した場合にどのようにアライメント結果が異なるのかを端的に示すことは非常に困難であり、任意にスコアを決定することは現状での現実的な手段であると言える。

他方、生物学において突然変異によって生じるとされているインデルにおいては、これをどのように解釈するかについてすら定まってはいない。日常行動を対象とする日記調査などでのアプローチでは、予期しない“サプライズイベント”への適応や、記録ごとの記述の詳細さの差を埋める役割があると考えられている (Wilson 2006<sup>[58]</sup>)。観光行動などの時空間行動分析においては、文字列長を等しくする調整であり、対象となる時空間行動全体の長さの違い、ある観光空間を対象とするのであれば、総滞在時間の違いを表す指標であると考えられる。総滞在時間が異なればそれだけギャップが挿入され、類似度は低くなる。さらに、例えば図 3.3 の文字列を単位時間ごとの空間移動遷移の文字列に見立てた場合、上の文字列では M エリアに 2 単位時間、下の文字列では M エリアに 1 単位時間だけ滞在したことになる。ギャップの挿入により、M エリアでの 1 単位時間の滞在は 1 ギャップペナルティに相当する違いであると解釈することもできる。これは本章 1 節で述べた“②空間的・時間的それぞれの類似度の影響度が観光対象ごとに異なる可能性がある点”への考慮に対応している。社会学的なアプローチでは、分類を行うためにはギャップペナルティは非常に低く設定される方が良いとされている (Wilson 2006<sup>[58]</sup>)。しかし、日記記録は DNA ほどでないにしろ、ある程度の構造性と周期性を持っていると考えられるのに対して、人々の時空間行動の構造は様々に考えられ、対象者ごとに文字列の生成ルールそのものが異なる可能性もある。このように、実際の時空間行動分析においてインデルがどのように影響するかを検討することは重要な事項である。しかし、時空間行動分析を扱った既存研究においてギャップペナルティの設定について記述があるのは Shoval and Isaacson (2009) <sup>[59]</sup>のみであり、アプリケーションのデフォルト値のまま設定している。

以上から、文字の一致・不一致スコアについては現実的な手段を取りつつ、発生頻度等に応じたスコア設定手法のための蓄積を行っていく必要があると考えられる。インデルとギャップペナルティについては、まず、時空間行動を表す文字列のアライメントを行う際に、どのように作用するのかについて考察を行う必要性があると言える。

### 3.3.2 単位時間の設定と対象空間の分割の仕方から受ける影響

SAM を用いて時空間行動を分析する際の、時間的及び空間的スケールの影響も重要な検討事項のひとつである (Shoval et al. 2015<sup>[53]</sup>)。これはつまり、時空間行動データを文字に置き換える単位時間の設定と、文字を割り当てるエリアの分割方法の関係を指している。単位時間を大きくすればそれだけ文字列で表される情報は荒くなり、これはエリアの分割についても同様である。これらは、分析の対象となる時空間行動がどれくらいの詳細さをもって文字列により再現されるべきか、という研究・分析の目的によって決まるべきであるとも考えられる。

例えば、ある時間だけそのエリア内に滞在していたとしても、そのエリア内を移動し続けていたのか、一か所ですべて静止していたのかでは人々の時空間行動を理解するうえで大きく意味が異なると考えられるが、それらは一種類の文字の連続として同様に扱われてしまうという問題が生じうる。



あるいは、ある分割された空間での滞在時間が単位時間を下回る場合、文字列にその空間での滞在が含まれないことが起こりうる。これにより、空間の遷移が正しく反映されず、接続関係にない空間を行き来したかのような文字列が発生し、時空間行動の再現として不適切であると考えられる。

### 3.3.3 対象とする時空間行動

3.2.2 で示した SAM を用いた時空間行動分析の既存研究では、対象とする時空間行動及び、時空間行動データの収集方法が限られているという点は着目に値する（表 3.2）。

既存研究で対象とされた日記調査以外の時空間行動データは、限られた範囲内での歩行行動あるいは外国人旅行者を対象とした観光行動調査に限られている。これには、GPS 機器の配布・回収の容易さに原因の一端が考えられるが、調査の目的に合わせて GPS ロガーの設定、配布・回収を行い、GPS データを収集しているということでもある。

一方で、都市を含む広域的な範囲で日常的な活動を行う人々の時空間行動データに対して SAM を適用した類型化や分析を行った例はない。しかし、都市部を中心に大量に収集することが可能な時空間行動データの多くは、都市を含む広域的な範囲で日常的な活動を行う人々の時空間行動を記録したものであると考えられる。SAM を用いた時空間行動分析の有用性を示すためには、そのようなデータに対する適用と検証を行うことは重要である。

表 3.2 既存研究における対象とする時空間行動とデータ収集方法

既存研究	対象とする時空間行動	データの収集方法
Wilson (1998) <sup>[49]</sup>		
Wilson et al. (1999) <sup>[50]</sup>	日常的な活動	日記調査
Wilson (2008) <sup>[51]</sup>		
Shoval and Isaacson (2007) <sup>[40]</sup>	アッコ（イスラエル）の旧市街地（0.5km <sup>2</sup> 程度）内での歩行観光行動	ビジターセンター利用者に GPS ロガーを配布・回収
Shoval et al. (2015) <sup>[53]</sup>	香港中心市街地での都市内観光	外国人旅行者にホテルで GPS ロガーを配布・回収
原ほか(2012) <sup>[54]</sup>	東京都心部を中心とした都市内観光	訪日外国人に滞在ホテルで GPS ロガーを配布・回収
Deafontaine et al. (2012) <sup>[55]</sup>	屋内展示場での歩行行動	展示場内に複数設置した Bluetooth 機器との接続情報を収集
矢部(2010) <sup>[56]</sup>	多摩動物公園での歩行観覧行動	門にて一般来園者に GPS ロガーを配布・回収

## 3.4 本章のまとめ

本章では、時空間行動の定量的な分類を行う手法として期待できる SAM について、その手法の特徴、既存研究、指摘されている課題点についてまとめた。

既存研究で指摘されている課題点としては、

- 1) 文字の一致・不一致スコアやギャップペナルティなどの SAM のアルゴリズムにおける各パラメータをどのように設定するべきであるかについての手法が確立されていない点

2) 時空間行動データを文字に置き換える単位時間と文字を割り当てるエリアの分割の相互影響について十分な検討が行われておらず、設定手法が確立されていない点

が挙げられる。さらに、

3) 都市を含む広域的な範囲で日常的な活動を行う人々の時空間行動データに対する SAM の適用と検証を試みる必要がある点

についても、既存研究をふまえた検討を行う必要がある事項であると言える。

しかし、1)及び2)に挙げた既存研究で指摘されている課題点だけでは、不明瞭な部分も多い。各パラメーター設定や、単位時間とエリアの分割の設定により、実際に時空間行動を類型化するうえで、どのような問題が生じるかは定かではない。そこで、次の第4章では、実際にGPSデータのSAMを適用して時空間行動の類型化と分析を試み、これらの課題点を含むデータの作成、アライメントの手順や設定、分析・類型化結果の考察などを通して、SAMを時空間行動分析に用いる際の課題点について整理を行い、明確化を図るものとする。さらに、第5章では、次章で明確化した課題点に対処する試みを行っていく。

また、第6章では、3)に挙げた、都市を含む広域的な範囲で日常行動を行う人々の時空間行動データに対するSAMの適用と検証を行うものとする。

なお、本章の内容は、“川瀬純也・伊藤史子（2017）配列アライメント手法を用いた時空間行動分析の有用性と課題点—既存手法のまとめとインデルペナルティの変更に着目して—、観光と情報，観光情報学会，13，69-82.”の一部に加筆・修正を加えたものである。

## 第4章 実際のGPSデータへのSAMの適用を通じた課題点の整理

### 4.1 本章の目的

SAMを用いた人々の時空間行動分析は、すでにいくつかの既存研究において行われており、その有用性が示されている。しかし、いずれの研究も萌芽的な試みとしての側面が強く、いくつかの課題点について指摘している一方で、実際にSAMを用いて時空間行動分析を行う手順や、分析・類型化結果の考察などの詳細について言及されていない部分も多い。これらの既存研究を通して、SAMを用いた時空間行動分析に関する課題点が網羅されているとは言い難い。そこで、本章では、実際のGPSデータにSAMを適用して時空間行動の類型化と分析を試みることにより、データの作成、アライメントの手順や設定、分析・類型化結果の考察などを通して、SAMを時空間行動分析に用いる際の課題点を整理することを目的とする。

### 4.2 動物園一般来園者のGPSデータへのSAMの適用

#### 4.2.1 上野動物園一般来園者のGPSデータ

本章では、2013年6月30日（日）に上野動物園（東京都台東区）において実施した、一般来園者を対象としたGPSロガー配布調査のデータを使用する。

上野動物園の主たる入園門である表門付近にて入園直後の一般来園者に実験の説明を行い、協力を得られた場合にGPSロガーを携行していただき、退園時に回収を行った。退園は全ての退園門（3か所）から可能であるものとした。GPSロガーは1秒ごとにログを記録するように設定した。この時空間行動データの特徴には以下の点が挙げられる。①対象者の行動範囲が施設内に限定されている。②対象者の時空間行動は表門付近を出発点とし、退園した門の付近で終了する。③優先順位は別としても、全ての対象者の行動の目的として「動物の観覧」が含まれる。④同一機種、同一設定により収集されたGPSデータである。⑤実験への協力を得られた一般来園者のデータのみである。

屋内展示やモノレール駅滞在時と推測できる測位の途切れを除いて入園から退園まで連続してGPSデータが記録されていることを条件とし、これを満たす113組のGPSデータを分析の対象とする。

#### 4.2.2 文字列の作成と使用するSAMのアプリケーション

GPSデータを文字列化するため、上野動物園内を各展示や空間の接続、駅や橋といった機能を考慮して30のエリアに分割してそれぞれに文字を割り当てた（図4.1）。2.2.4と同様に、GPSログに記録された速度と、前後のログとの距離の差から計算される速度との差が3m/s以上である場合を測位精度に問題があると判断した。さらに、それぞれのGPSログに記録されたHDOP（水平精度低下率）が3.0以上である場合も同様に測位精度に問題がある可能性が高いと判断し<sup>4.1)</sup>、それぞれについてGPSログを特定・除外した。以上の処理を施したGPSログを地図上にプロットし、滞在エリアの文字を付加した。

SAMの類似度算出に用いるアプリケーションとしてClustalTXY（Wilson 2008<sup>[51]</sup>）を用いることとした。このClustalTXYはClustalX（Thompson et al. 1997<sup>[60]</sup>）及びClustalW（Thompson et al. 1994<sup>[61]</sup>）のプログラムをもとに設計されている。Clustalは累進法による多重配列アライメントを行うSAMの

代表的なプログラムの一つである。Clustal のプログラムについて、順を追って概説する。まず、投入されたサンプルについて、(1) 全ての一对の組み合わせについて類似度を算出するペアワイズアライメントを行う。(2) 得られた類似度をもとに、近隣結合法 (Saitou and Nei 1987<sup>[62]</sup>) により、ガイドツリー (guide tree) と呼ばれる樹状図を作成する。(3) 最も類縁性の高い配列の組からアライメントを開始し、ガイドツリーで表された類縁関係に従って、順番に他の文字列を加えて複数の文字列についてのアライメントを行うマルチプルアライメントを実行していく。(4) マルチプルアライメントの結果をもとに、再度樹状図を作成する (マウント 2005<sup>[63]</sup>)。社会科学等に SAM を援用した多くの既存研究では、アライメントにはグローバルアライメント (Global Alignment) が用いられている (Wilson 2006<sup>[58]</sup>)。ClustalTXY も同様に、ペアワイズアライメントおよびマルチプルアライメントにおける類似度を算出するアルゴリズムには、文字列全体を考慮したアライメントを行い、文字の不一致とギャップペナルティに正の値を設定し、文字の一致は 0 とすることで、文字列間の“似ていない度合”を計算するグローバルアライメントのアルゴリズム (Waterman 1995<sup>[64]</sup>) を採用している。さらに、ClustalTXY では、アライメントを行う文字に、ユークリッド距離による重み付けをする文字を追加して併記することができる。配列 a と b について、文字の不一致スコア  $d(a_i, b_j)$  に加え、追加文字同士のユークリッド距離によるスコアを  $E(a_i, b_j)$  として、2 つの配列要素の類似度  $q(a_i, b_j) = u * d(a_i, b_j) + v * E(a_i, b_j)$  (ただし  $u + v = 1.0$ ) と定めて、この値とギャップペナルティにより文字列間の類似度を算出していく。なお、追加文字同士のスコア算出は以下の手順に従う。(1) 2 変量を有する追加文字を入力する。(2) 全ての入力した追加文字の 2 変量をもとに、5×5 のグリッドを作成し、それぞれのグリッドに新たに “a” から “y” の追加文字を割り当てる。(3) 全ての入力した追加文字をその位置するグリッドの新たな追加文字に置き換える。(4) 新たな追加文字の位置するグリッドの代表点間のユークリッド距離をスコアとして用いる (Wilson 2008<sup>[51]</sup>)。実際に作成して入力を行う追加文字と、グリッドにより再構成が行われてアライメントで実際に用いられる追加文字の表現が異なる点に注意が必要である。

園内全域での観覧行動の類型化を行うため、矢部 (2010) <sup>[56]</sup>と同様に、滞在した時間帯の差による類似度の重み付けを行った。園の開園時間 (9 時 30 分から 17 時 00 分) をあらかじめ 5 段階に分割して変量の一つとし、もう一方の変量には全て同じ値を設定して追加文字を入力した。配列 a と b について、追加文字のユークリッド距離によるスコアを  $E(a_i, b_j)$ 、文字の不一致スコアを  $d(a_i, b_j)$  として、2 つの配列要素の類似度  $q(a_i, b_j) = u * d(a_i, b_j) + v * E(a_i, b_j)$  (ただし  $u = 0.50$ ,  $v = 0.50$ ) となるよう設定した。アプリケーション上で設定するパラメーターについては、ギャップペナルティに相当する GOP (Gap Opening Penalty: ギャップを挿入するペナルティ) と GEP (Gap Extending Penalty: そのギャップを延長するペナルティ)、文字の不一致のスコアがあるが、全て ClustalTXY のデフォルト値 (GOP=1.00, GEP=0.10, 文字の不一致スコア=10.00) に設定した。これらの作業から作成した文字を順に並べ、時空間行動を表す文字列を作成した。作成した文字列の例を図 4.2 に示す。左端の数字は各サンプルを表す ID である。単位時間ごとに滞在エリアを表す 2 文字と時刻を表す 1 文字が並べられている。たとえば、9 時 30 分から 11 時 00 分の間に Ea エリアに 1 単位時間分滞在した場合は、“EAa” と表される。

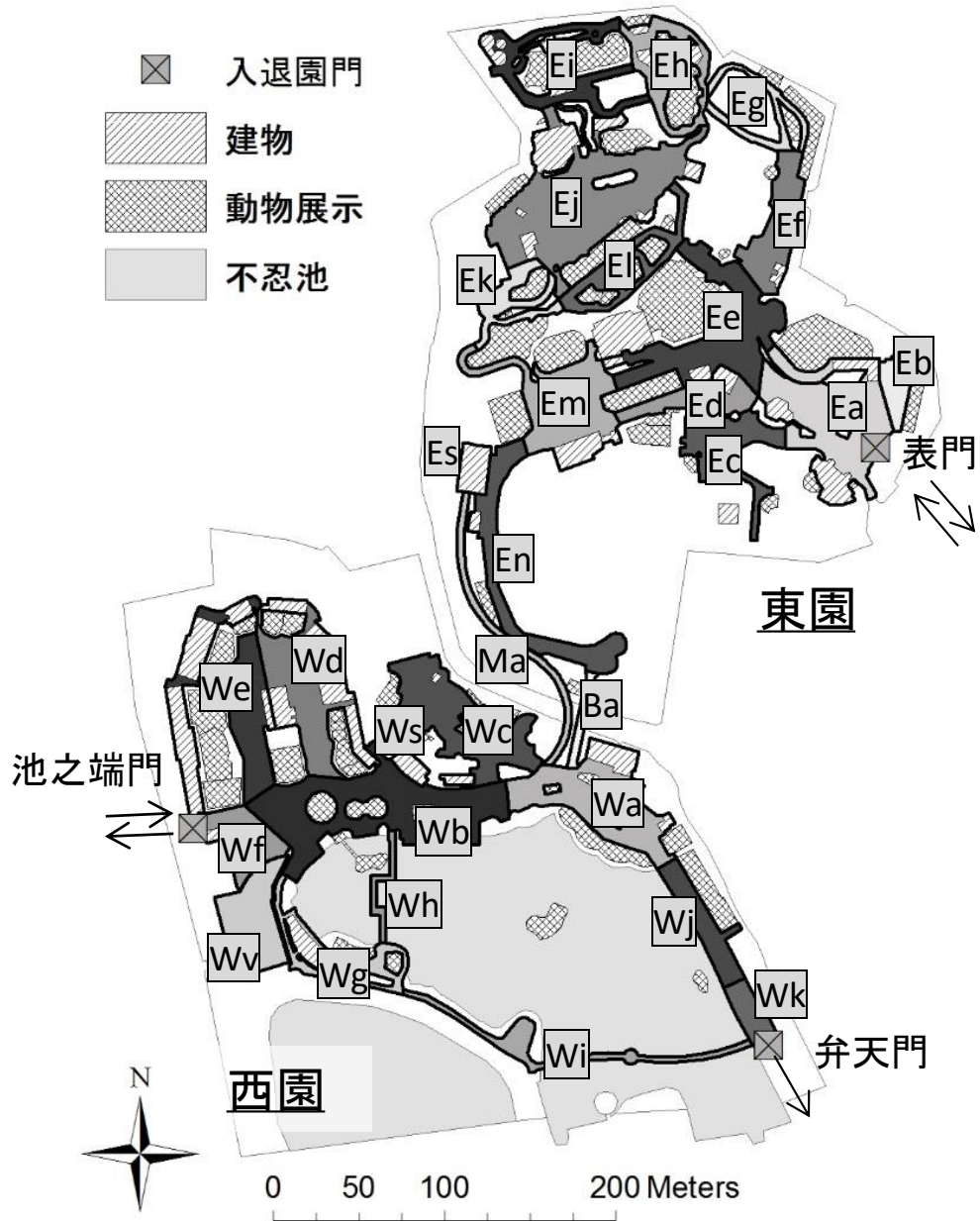


図 4.1 30 のエリアに分割した上野動物園 園内図

630_0003	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0004	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0008	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0009	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0018	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0020	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0024	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0027	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0037	EbEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0047	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0060	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0063	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0064	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0067	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0072	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0073	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0076	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0077	EaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda
630_0079	EbEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEaEda

図 4.2 時空間行動を表す文字列の作成例

### 4.3 単位時間の設定と空間の分割方法についての検討

#### 4.3.1 単位時間の変更による類型化結果の比較

GPS データを文字に置き換える単位時間の設定について、対象となる空間のエリア分割と文字化の方法との関係からも重要であることは明らかである。しかし、単位時間の設定が実際にどのように時空間行動の類型化結果に影響を及ぼすかについては明らかとされていない。そこでまず、単位時間の設定を変更した際にどのように類型化結果が異なるかについて検討を行った。

歩行移動者の GPS データを対象とした SAM による時空間行動類型化の既存研究 (Shoval and Isaacson 2007<sup>[40]</sup>, 矢部 2010<sup>[56]</sup>) では、いずれも GPS データを文字列に置き換える単位時間を 1 分に設定している。そこでこれを参考に、単位時間を 30 秒, 1 分, 3 分, 5 分に設定し、1 秒ごとに記録された GPS データから該当するログを抽出して滞在エリアを表す文字に置き換え、文字列を作成した。

それぞれアライメントを行い、得られた樹状図をもとにクラスターを分け、それぞれのクラスターに属する対象者の GPS データを地図上に図示し、時空間行動の特徴を解釈した。

その結果、単位時間を 30 秒と 5 分に設定した場合では、時空間行動の特徴を解釈することが可能なクラスターを得ることができなかった。30 秒に設定した場合、全体の文字列長が非常に長くなることにより、類似度の算出過程とその結果が複雑となり、時空間行動として解釈可能なサンプルの集合を見出すことができなかったと考えられる。また、文字列に含まれるギャップの数も増え、時空間行動の再現性が下がったことも影響していると考えられる。5 分間隔に設定した場合、各エリアでの滞在時間が 5 分を下回るケースが多く、被験者の空間的な遷移を再現できなかったことが原因であると考えられる。

次に、単位時間を 3 分間隔に設定した場合、3 つのクラスターに解釈可能な樹状図 (図 4.3) を得ることができた。図中、右に各サンプルを表す ID が置かれ類似するサンプル同士がその類似度の順に線で繋がれている。いずれのクラスターも、それぞれ長時間滞在していたエリア (図中のアルファベット 2 文字) によって分けられていると解釈することができた。それぞれ、東園レストランと休憩スペースのエリア (Em), 東園藤棚休憩所エリア (Em), 西園不忍池横の休憩エリア (Wb) と、主要な休憩所ごとにクラスターが分かれており、上野動物園来園者の園内時空間行動としての一つの側面を表している。

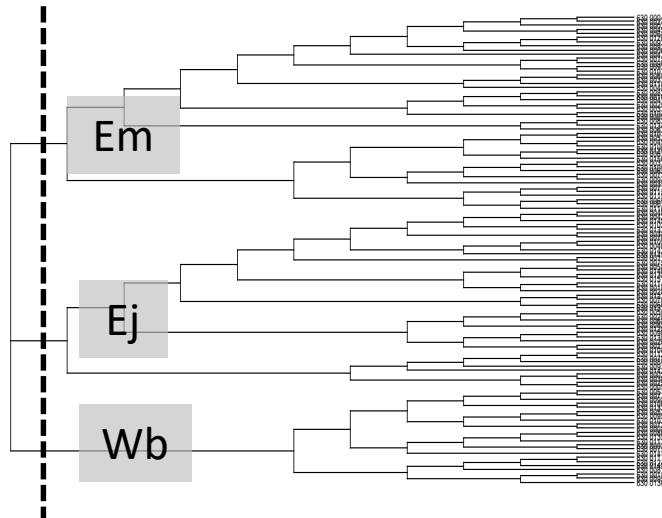


図 4.3 単位時間 3 分に設定した場合の上野動物園来園者の樹状図

さらに、単位時間を 1 分間隔に設定した場合、6 つのクラスターとして時空間行動が解釈可能な樹状図（図 4.4）を得ることができた。GPS データから時空間パスやカーネル密度推定図を作成することで、それぞれのクラスターの時空間行動の特徴を把握することができた。それぞれのクラスターの特徴について表 4.1 にまとめる。これにより、上野動物園来園者の園内時空間行動の全体像を把握することができる。

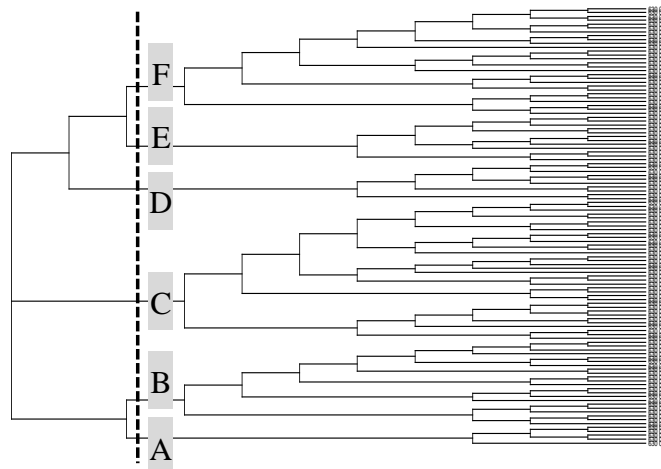


図 4.4 単位時間 1 分に設定した場合の樹状図

表 4.1 6つのクラスターの時空間行動のルートと特徴

クラスター名	主な観覧ルートと特徴
クラスターA	Ea→Ef→Eg→Eh→Ei→Ej→Ek→El→Ee→Em に長時間滞在したのち、西園に移動する群
クラスターB	Ea→東園北側→東園南側→西園→東園に戻って表門から退園する群
クラスターC	Ea→東園北側→Ej に長時間滞在→西園に移動し、西園の門から退園する群
クラスターD	Ea→東園北側→東園南側→西園に移動し、Wb に長時間滞在する群
クラスターE	Ea→Ee→Em→Ek と移動する群
クラスターF	Ea→東園北側→Ej に長時間滞在したのち、東園南側へ Ek→El→Ee→Em と移動し、西園に移動する群

#### 4.3.2 文字列で再現されていない特徴的な時空間行動

一方で、単位時間を1分に設定した場合の時空間行動を表す文字列と、文字列のもととなる1秒ごとのGPSデータを地図上にプロットしたものとを比較した結果、あるエリアでの滞在が文字列化の単位時間である1分に満たない場合に文字列に反映されないという問題が確認された。各エリアでの滞在1回あたりの滞在時間について、10秒ごとの度数分布図をエリアごとに作成した例を図4.5に示す(全てのエリアの度数分布図は別紙資料4.1に付す)。全てのエリアで1分に満たない滞在時間の度数が高い割合を占めた。しかし、実際に各エリアでの滞在時間が数十秒であるとは考え難い。この原因としては、①あるエリアを1分以内に通過してしまう可能性の他に、例えば②エリアの境界線付近に位置する動物展示を観覧していた場合、観覧するために展示付近を行き来しただけでもエリア間を何度も移動したように記録されてしまう場合、あるいは③あるエリア間の境界線付近を境界線に沿って移動することで、そのエリア間を何度も移動したように記録されてしまう場合、さらに④前述の3点に加え、GPSロガーの測位誤差によりエリア間を行き来するように記録されてしまうという可能性が考えられる。

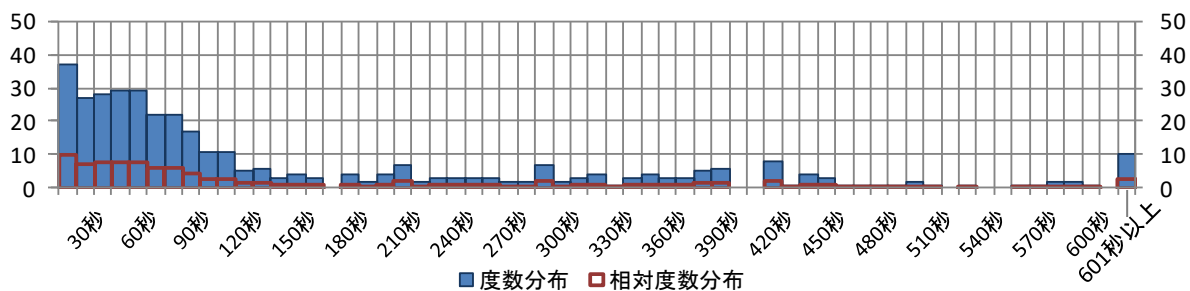


図 4.5 滞在時間の度数分布図の例 (Ea エリア)

また、一つのエリアでの長時間の滞在について、GPSログを地図上にプロットして確認したところ、エリア内のある一か所に滞在している場合とエリア内を移動し続けている場合があることが確認できた。それぞれの例として、図4.6にあるエリア内での一か所での滞在例を、図4.7にあるエリア内を移動し続けた例のGPSログのプロット例をそれぞれ示す。図5.6では20m四方程度にGPSログが集中



してプロットされている。この地点は、藤棚の下に椅子と机が用意された無料休憩所であり、飲食を伴う休憩などで 20 分程度滞在したと考えられる。GPS ログのプロットが 20m 四方に広がっているのは、場所取りなど休憩前後の実際に移動したログに加え、藤棚の影響による測位誤差が含まれていると推察される。いずれにせよ、エリア内の一か所に滞在していたと考えられる。一方で、図 4.7 の GPS ログのプロット例では、一つのエリア内で移動と動物展示付近での停止を繰り返している様子がうかがえる。

どちらの例でも、滞在したエリアを表す文字を単位時間分並べた文字列として表現される。しかし、ある一か所に滞在し休憩をしていた場合と、移動と展示付近での停止を繰り返していた場合では、時空間行動としては全く別の行動であると考えられる。歩行移動者の時空間行動、特に移動行動のみでなく観覧行動など詳細な行動に焦点を当てて類型化と分析を行う場合、非常に重要な課題点の一つであると言える。

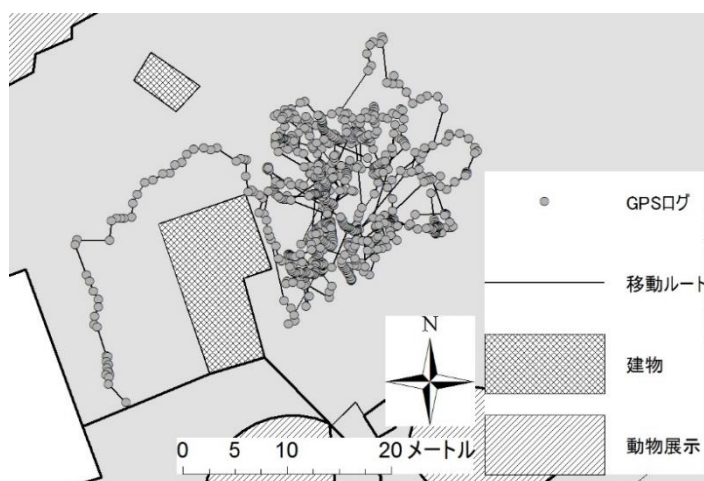


図 4.6 一つのエリアでの長時間滞在の GPS ログプロット例 (Ej エリアに 1111 秒間滞在)

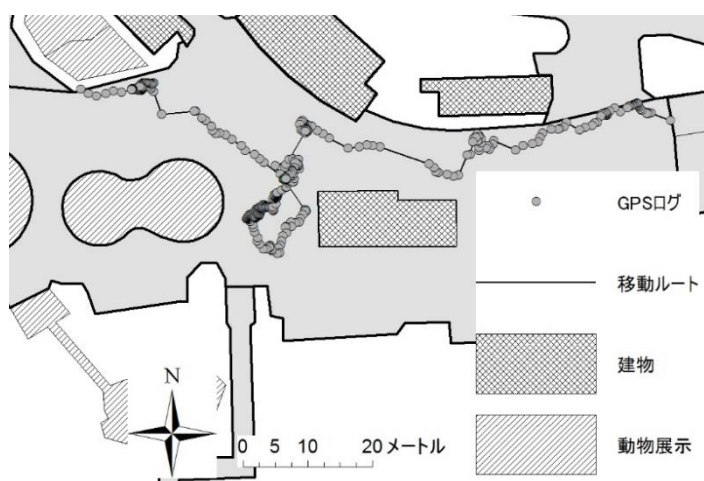


図 4.7 一つのエリアでの長時間滞在の GPS ログプロット例 (Wb エリアに 635 秒間滞在)

#### 4.4 アライメントに投入するサンプル群の組み合わせの変更

##### 4.4.1 アライメントに投入するサンプル群を分けた類型化結果

人々の時空間行動から作成される文字列には様々な構造が発生する可能性が考えられる。しかし、

文字列を編集して類似度を算出するという SAM の手法の特徴から、構造が大きく異なる複数の文字列間の類似度を算出し、各々の関係性を比較しようとするには適さないと考えられる。また、本章で使用している ClustalTXY でマルチプルアライメントに用いているグローバルアライメント (Needleman and Wunsch 1970<sup>[65]</sup>) のアルゴリズムでは、部分的な一致よりも、文字列全体を通した一致を優先したアライメントが行われるとされている。これにより、部分的によく一致した領域があった場合でも、文字列全体での一致を優先させることで、そのよく一致した部分的な領域のアライメントに失敗することがある (マウント 2005<sup>[66]</sup>)。様々な構造が考えられる人々の時空間行動の文字列に対してこの問題を回避するためには、同時にアライメントに投入するサンプル群を調整する必要があると考える。

そこで、同時にアライメントに投入するサンプル群の調整を行い、その類型化の結果を比較することとした。上野動物園が東園と西園に空間的に大きく分断されており、それぞれに退園門があるという特徴をふまえ、園内の大まかな移動の様子をもとに、一般来園者の 113 組のサンプルを以下の 3 つのグループに分けて、サンプル数の多いグループ (i) 及び (ii) について、類型化と分析を行い、全てのサンプルを同時にアライメントに投入した場合との比較を行う。

- ・グループ (i) 「東園→西園」と移動して、西園の門から退園した 46 組
- ・グループ (ii) 「東園→西園→東園」と移動して、表門から退園した 54 組
- ・グループ (iii) その他の 13 組

まず、グループ (i) 「東園→西園」と移動した 46 組についてアライメントを行った結果、得られた樹状図を図 4.8 に、各クラスターの特徴を表 4.2 に示す。クラスター5 は 1 組のみであったため、考察からは除外した。結果から、クラスター1 が代表的な「東園→西園」の観覧ルートであると考えられ、クラスター2, 3, 4 はその派生型であると解釈できる。クラスター1 は、表門付近 (Ea) から北西方向に移動して右に曲がり、東園北側を反時計回りに順に回ることになる。このルートでは同じ通路を複数回通ることなく、東園のほとんどの動物展示を観覧することができる。クラスター3 の場合、ホッキョクグマの展示 (Ek) と東園レストラン付近 (Em) をつなぐ細い通路を利用していることが特徴として挙げられ、東園の一部の展示を観覧していないことになる。また、クラスター4 は西園南側の不忍池上の橋の利用が特徴として挙げられる。どちらも、代表的なルートとは異なる文字の連なりが発生する場合である。クラスター6 のみが顕著に長時間滞在したエリアを有する点や、クラスター7 は東園北側を他のクラスターとは逆向きに移動している点などが、園内観覧行動の特徴的な例として挙げられる。

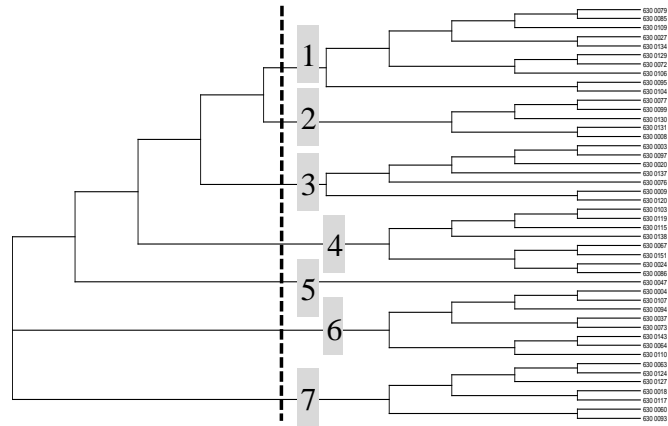


図 4.8 グループ (i) を対象としたアライメントにより得られた樹状図

表 4.2 グループ (i) の各クラスターの時空間行動の特徴

クラスター名	主な観覧ルートと特徴
クラスター1	Ea→Ee→Ef→Eg→Eh→Ei→Ej→Ek→Ee→Em→西園へと移動し、西園北側のみを利用する群
クラスター2	はじめに Ea→Ee(Ed)→Em→Ee と移動し、以降はクラスター1 と同様の群
クラスター3	Ek まではクラスター1 と同様に、次に Ek から直接 Em へと移動する群、もしくは表門から Ea→Ee(Ed)→Em→Ek と移動し、再び Em に戻り西園へ移動する群
クラスター4	クラスター1 とほぼ同様の遷移ルートをたどり、西園に移動し、西園の南側（不忍池内の橋など）も利用する群
クラスター6	Wb の西園不忍池付近で長時間滞在する群
クラスター7	表門から Ea→Ee→Em→Ek→Ej と移動し、Ei→Eh→Eg→Ef と東園北側を他のクラスターとは逆の向きに移動し、その後西園に向かう群

次に、グループ (ii) 「東園→西園→東園」と移動した 54 組についてアライメントを行った結果として、樹状図を図 4.9 に、各クラスターの解釈を表 4.3 に示す。この場合、クラスター8, 9, 10 が代表的な観覧ルートであると考えられ、長時間滞在したエリアの有無とそれがどのエリアであるかによって分けられている。グループ (i) と大きく異なるのは、西園不忍池付近で長時間滞在するクラスターが無い点であり、園内の観覧ルートと休憩をとる場所には関係性が認められた。

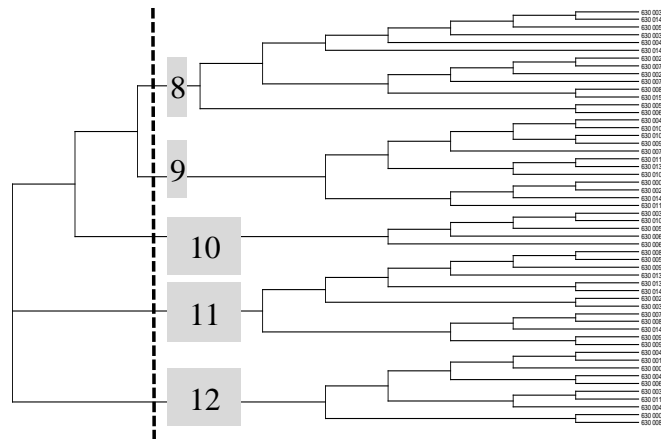


図 4.9 グループ (ii) を対象としたアライメントにより得られた樹状図

表 4.3 グループ (ii) の各クラスターの時空間行動の特徴

クラスター名	主な観覧ルートと特徴
クラスター8	表門付近から Ea→Ee→Ef→Eg→Eh→Ei と移動し Ej に長時間滞在した後, Ek→El→Ee を経由, もしくは直接 Em へと移動し, 西園へと移動, 西園北側のみを利用し, 東園に戻り退園する群
クラスター9	クラスター8 と概ね同様の遷移ルートだが, Ej では長時間滞在せず, 概ねどのエリアにも長時間は滞在しない群
クラスター10	クラスター8 と概ね同様のルートだが, Ej では長時間滞在せず, 西園不忍池付近 (Wb) に長時間滞在する群
クラスター11	表門からの移動ルートはまちまちだが, 総じて東園レストラン付近に長時間滞在する群
クラスター12	表門からの移動ルートはまちまちだが, 来園から比較的早い時間に西園ビバリウムを訪れ, その周辺を利用している群

#### 4.4.2 アライメントに投入するサンプル群の設計の重要性

全てのサンプルをまとめて SAM に投入し類型化を行った場合と, 大まかな特徴で分けて類型化を行った場合とでは, 解釈が可能なそれぞれの類型の特徴が変化することが確認された。

全てのサンプルをまとめて投入した類型化結果では, 園内全体の周遊行動に加え, あるエリアでの長時間の滞在が特徴として挙げられた。一方, サンプルを分けて類型化を行った場合では, 同様にあるエリアでの長時間の滞在が特徴として現れる部分もあるものの, 連続した空間遷移をとらえた類型が得られている。各クラスターの特徴がより細やかになっていると解釈できる。グループ(ii)の類型化結果では, 各クラスターの特徴に曖昧な部分を残してはいるが, これは時空間行動の文字列の構造の違い, あるいは文字列ができる過程の違いに由来するものではないかと考察する。グループ(ii)のうち, 約半数は, 再び東園に戻ったのち, 15分以内に退園しており, その間ほとんど展示の前で足を止めずに退園門へ向かい移動していたことが明らかとなっている。この間は, 動物園内の観覧行動とは異なり, 移動そのものを目的としているため単調な文字列の構成となっており, 観覧行動とは異なるため, 類型化結果に影響を及ぼしていることが考えられる。

これらの結果の理由として、アライメントに同時に投入される文字列の起終点や文字列の構造や長さがある程度揃うことで、インデルが挿入される頻度が減り、時空間行動の類似性が保たれた最長共通部分列が発生しやすくなるのではないかと考察する。

インデルを含めた SAM のアルゴリズムを鑑みれば、投入される文字列のばらつきによってこのような結果になることはごく自然なことであるとも言えるが、どちらの類型化結果も動物園来園者の時空間行動分析としては有益な情報であり、調査・分析の目的に合わせて被験者群の設定や調査・分析の設計を行う必要性、アライメントに投入するサンプル群の設計の重要性を示唆している。

この結果から、対象者の行動の全体的な傾向を把握したい場合は全てのサンプルを同時にアライメントし、より詳細な時空間行動の類型を得たい場合にはそのサンプルを大まかな指標から分けてアライメントを行うなど、調査・分析の目的に合わせて同時に投入するサンプル群を設定することも重要である。

## 4.5 ギャップペナルティについての検討

### 4.5.1 ギャップペナルティを変更した類型化結果の比較

SAM を用いた時空間行動分析におけるインデルの影響は重要であることは明らかであるが、その設定方法についての検討はなされていない。そこで、本節では特にギャップペナルティと文字の不一致スコアの関係性に焦点を当て、ギャップペナルティを変更した類型化結果を用いて考察を行った。

文字の不一致スコアを 10.00 に固定したまま、ペアワイズアライメントにおける GOP と GEP を表 5.4 のように設定し、前節におけるグループ (i) 「東園→西園」と移動した 46 組のデータでそれぞれ分析を行い、結果を比較して考察を行った。

表 4.4 比較する GOP と GEP の組み合わせ

	GOP	GEP	
①	1.00	0.10	デフォルト値
②	5.00	0.50	
③	10.00	1.00	文字の不一致スコアと同程度
④	15.00	1.50	

(※文字の不一致スコアは 10.00 に固定)

図 4.10, 4.11, 4.12 にそれぞれの樹状図を示す。比較を行うため、各樹状図の上部から分岐点ごとに「A:B:C」「1:2」「a:b」と文字を割り当て、段階的に各クラスターの区別を行った。サンプルごとの各樹状図で割り振られたクラスターを表 4.5 にまとめる。サンプル ID(95, 129)(63, 117, 124, 127)などは、ギャップペナルティを変更した場合でも、同じクラスターに割り振られている。しかし、樹状図を分ける位置を移動させると、大きく異なる時空間行動と同様のクラスターに含まれてしまう可能性も示している。例えば、デフォルト値①で類型化を行った場合のクラスター7の ID(63, 117, 124, 127)は、前節で示したように、樹状図の最上部の分岐で分かれ、さらに実際には東園北側を他のクラスターとは逆向きに移動するという特徴的な時空間行動を有している。しかし、ギャップペナルティを②③④に設定した場合には、樹状図上部から二つ目以下の分岐にて分かれている。同様にクラスター7に含

まれていた ID(60, 18, 93)は、園内の同じ個所を行き来するなど非常に特異な行動をとっており、樹状図の最も外側に組み込まれる傾向があったためクラスター7に含まれていたと考えられる。一方で、②③④に設定した場合には、クラスター7の ID(63, 117, 124, 127)とクラスター3の ID(97)やクラスター6の ID(110)が一つのクラスターにまとめられている。ID(97)と ID(110)は、実際に ID(63, 117, 124, 127)と同様に東園北側を他のクラスターとは逆向きに移動する行動を行っていたため、ギャップペナルティの変更により、同じような特徴をもったクラスターに集約されたことになる。最も代表的な観覧ルートであると考えられたクラスター1とその派生であるクラスター2, 3, 4は、ギャップペナルティを変更した場合には、類似度の高いサンプル同士は一つの群となり、樹状図上の各々の場所に組み込まれている。さらに、③の場合、クラスターAは比較的西園での滞在時間が短く、クラスターBは西園での滞在時間が長いといった傾向がみられた。

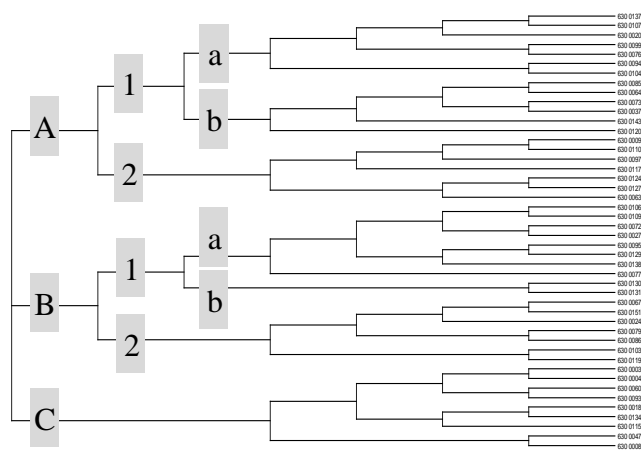


図 4.10 設定② (GOP:5.00, GEP:0.50) の樹状図

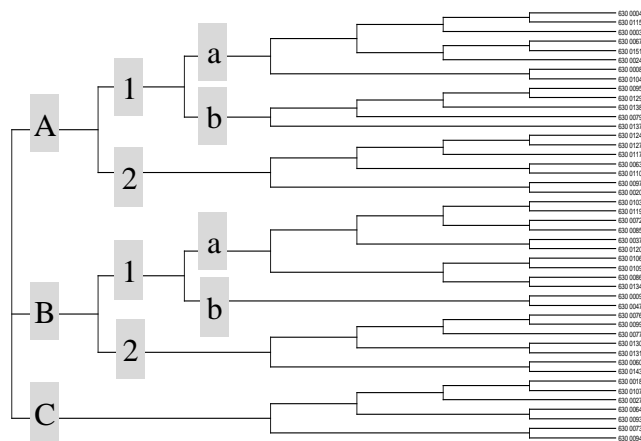


図 4.11 設定③ (GOP:10.00, GEP:1.00) の樹状図

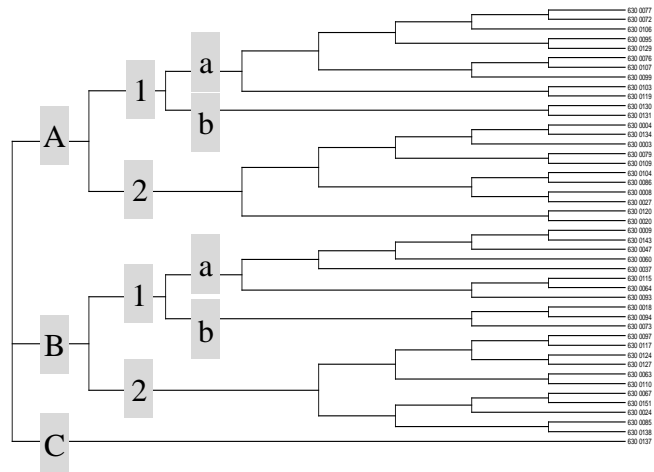


図 4.12 設定④ (GOP:15.00, GEP:1.50) の樹状図

表 4.5 各サンプルのクラスター 一覧

サンプル ID	①	②	③	④
104	1	A1a	A1a	A2
85	1	A1b	B1a	B2
27	1	B1a	C	A2
79	1	B2	A1b	A2
72	1	B1a	B1a	A1a
106	1	B1a	B1a	A1a
95	1	B1a	A1b	A1a
129	1	B1a	A1b	A1a
109	1	B1a	B1a	A2
134	1	C	B1a	A2
99	2	A1a	B2	A1a
77	2	B1a	B2	A1a
130	2	B1b	B2	A1b
131	2	B1b	B2	A1b
8	2	C	A1a	A2
20	3	A1a	A2	A2i
120	3	A1b	B1a	A2
76	3	A1a	B2	A1a
137	3	A1a	A1b	C
9	3	A2	B1b	B1a
97	3	A2	A2	B2
3	3	C	A1a	A2
138	4	B1a	A1b	B2
24	4	B2	A1a	B2
67	4	B2	A1a	B2
151	4	B2	A1a	B2
86	4	B2	B1a	A2
103	4	B2	B1a	A1a
119	4	B2	B1a	A1a
115	4	C	A1a	B1a
47	5	C	B1b	B1a
107	6	A1a	C	A1a
94	6	A1a	C	B1b
37	6	A1b	B1a	B1a
64	6	A1b	C	B1a
73	6	A1b	C	B1b
143	6	A1b	B2	B1a
4	6	C	A1a	A2
110	6	A2	A2	B2
63	7	A2	A2	B2
117	7	A2	A2	B2
124	7	A2	A2	B2
127	7	A2	A2	B2
60	7	C	B2	B1a
18	7	C	C	B1b
93	7	C	C	B1a



#### 4.5.2 ギャップペナルティの影響についての考察

ギャップペナルティが低く設定されていた①では、文字の不一致スコアを加算するよりもギャップの挿入操作による文字列長の調整が行われやすいため、文字列全体を考慮したうえでの並ぶ文字の順序が類似度に強く影響していると考えられる。一方、ギャップペナルティを大きくした場合、ギャップの挿入よりも文字の不一致スコアを加算が優先されるため、全体での文字の並びの類似性よりも、局所的に文字の連続が一致することが類似度の算出に強く影響していると考えられる。

人々の時空間行動の類型化を行う際、調査・分析の目的は様々に考えられるが、訪れるエリアの組み合わせや順序が重要である場合はギャップペナルティを低く設定して、全体の傾向をとらえたうえで、分析を進めていくことが望ましいと考えられる。一方で、各対象での滞在時間の長短についても重要である場合は、ギャップペナルティを高く設定することで、局所的な一致を重視することが期待できる。どちらの場合でも、一つの設定での分析で時空間行動の類型化結果を論じるのではなく、段階的に類型化を進めていくことが望ましいと考えられる。

#### 4.6 本章のまとめ

本章では、実際の GPS データを用いて、SAM による時空間行動類型化の試みを通して、アライメント作業において留意すべき点や課題点を明らかにした。

動物園来園者の GPS データを用いてその時空間行動の類型化を試みた結果、類似度が高く算出されたサンプルを集めて可視化を行うことで、それぞれの時空間行動の特徴をより鮮明に浮き彫りにし、とらえやすくなることが明らかとなった。

まず、単位時間については、空間の分割に対して適切な単位時間を設定することで、有益な時空間行動の類型を得ることが可能であることが示された。しかし、空間の分割の影響によって文字列では再現できていない特徴的な時空間行動が一部に存在することも確認された。実際の空間を分割する場合、各々のエリアの広さや形状が不揃いになったり、休憩などの滞在で利用されるエリアや移動・通過で用いられる空間などが入り混じったりすることを避けるのは困難である。よって、これを解決するためには、空間の分割の仕方や単位時間を変更するだけでなく、新たな手法が必要となる。そこで、次の第 5 章では、この課題点に対する手法提案と検証を行う。

また、アライメントに同時に投入するサンプル群の組み合わせを変更することによって詳細な類型を得られるという点も、実際にアライメントを行っていくうえで重要な項目である。調査で得られた時空間行動データをそのまま用いて SAM による類型化を試みても期待するような類型化結果を得ることは困難であろうと予測される。調査の目的に合わせて、同時に投入するサンプルを抽出し、場合によっては段階的に類型化を行っていくことが重要であることが示唆された。

ギャップペナルティの設定の変更による類型化結果の比較を行った結果、訪れるエリアの組み合わせや順序が重要である場合は低く設定して、全体の傾向をとらえたうえで、分析を進めていくことが望ましいと考えられた。一方で、各対象での滞在時間の長短についても重要である場合は、ギャップペナルティを高く設定することで、局所的な一致を重視することが期待できるとした。調査の目的に合わせてあるいは段階的に設定を行い、類型化を行っていくことが重要であると結論付けた。

## 注

5.1) DOP (Dilution of Precision) とは、衛星配置による測位精度の低下率を表したもので、数値が大きくなるほど精度が低くなる。HDOP (Horizontal Dilution of Precision: 水平精度低下率) とは、その水平方向の指標である (佐田 2003<sup>[67]</sup>)。あくまでも測位に用いた衛星の配置から計算される、どの程度測位精度が低くなりうるかを表す指標である。測位精度そのものを表す値ではないため、精度として信頼しうる明確な基準も存在しない。本研究では、佐田ほか (2008) <sup>[68]</sup>などを参考に、HDOP の基準を 3.0 に設定した。

なお、本章 4 節及び 5 節の内容は、“川瀬純也・伊藤史子 (2017) 配列アライメント手法を用いた時空間行動分析の有用性と課題点—既存手法のまとめとインデルペナルティの変更に着目して—, 観光と情報, 観光情報学会, 13, 69-82.” の一部に加筆・修正を加えたものである。

## 第5章 SAMを用いた時空間行動類型化の新たな手法提案

### 5.1 SAMを用いた新たな時空間行動の類似度算出手法の必要性

第4章で示したように、SAMを用いた時空間行動類型化では、空間の分割の仕方によって、文字列化の結果によって再現ができていない時空間行動が存在することが課題点として挙げられた。また、SAMを用いた時空間行動分析に関する既存研究では、人々の空間遷移のみを扱っている点も課題点として考えられる。第3章で示したように、時空間行動データからの具体的な行動推定は有益な情報をもたらす可能性があるが、それぞれのサンプルの時空間行動の特徴によって分類し、それぞれにおいて行動を推定するモデルを求めることが適切であると考えられる。例えば、観覧行動を対象とした場合、観覧ルートや滞在箇所、時間の一致だけでなく、展示を見ている状態であるかどうかは重要な指標となる。

そこで、本章ではこれらの課題にアプローチする新たな手法の提案と検証を行う。対象者の状態を加味する類似度算出方法によるより詳細な行動の類型化と、文字の一致・不一致スコアによる類似度重み付け手法を活用した、空間分割による影響の緩和を目指す。

### 5.2 各提案手法の概要

#### 5.2.1 対象者の状態を加味した時空間行動の類似度算出

時空間行動として滞在空間の遷移を表す文字列に加え、研究・調査の目的に応じて考慮すべき対象者の“状態”を加味した類似度算出手法を提案する。あるエリアでの長時間の滞在により、同じ文字が連続する際にも、その滞在がどのような具体的な行動内容を伴うものであったかにより区別するため、対象者の状態を示す指標を類似度算出に組み込んだ手法の提案を試みる。

日記調査にSAMを援用するために開発されたアプリケーションの一つである ClustalTXY (Wilson 2008<sup>[51]</sup>) では、配列aとbについて、社会的な行動に割り振られる文字の一致・不一致による類似度  $d(a_i, b_j)$  に加え、それぞれの行動を行った地点の違いを  $5 \times 5$  のグリッドに置き換えその代表点のユークリッド距離によって表す類似度を  $E(a_i, b_j)$  として、それぞれにウェイト  $u$  と  $v$  (ただし、 $u + v = 1$ ) をかけあわせることで、二つの配列要素の類似度  $q(a_i, b_j) = u * d(a_i, b_j) + v * E(a_i, b_j)$  として、類似度を算出するアルゴリズムを採用している。矢部 (2010) <sup>[56]</sup> は Shoval and Isaacson (2007) <sup>[40]</sup> の手法を踏襲し、文字の一致・不一致による類似度  $d(a_i, b_j)$  に空間移動遷移を表す文字列を割り当てたうえで、滞在した時間帯の差を表す文字を  $E(a_i, b_j)$  に割り当てている。このアルゴリズムの特徴を活用し、対象者の状態を加味するための文字を  $E(a_i, b_j)$  に割り当てる。これにより、 $5 \times 5$  のグリッドの代表点のユークリッド距離と、ウェイト  $u$  と  $v$  をかけて空間移動遷移を表す文字列の類似度と足し合わせることで、対象者の状態を加味した時空間行動の類似度算出が可能になると期待できる。

#### 5.2.2 文字の一致・不一致スコアによる類似度重み付け手法

前章までで採用していた時空間行動データからの文字列変換手法では、各エリアの文字を単純に並べ、また類似度の算出時にはどの文字間の一致・不一致でも同じ値として計算がなされていた。しかし、3.3.1で記したように、多くのバイオインフォマティクスにおける既存研究や、Delafontaine et al. (2012) <sup>[44]</sup> では、特定文字間の不一致の値に差を設ける手法を用いている。

そこで、これまでよりも細かく空間を分割したうえで、類似度算出時に、近接するエリア同士での文字の不一致に対する値と離れたエリア同士での文字の不一致に対する値に差をつけることで、相対的に類似度の重み付けを行う手法を提案する。空間をより細かく分割することで、単位時間以内に一つのエリアを通過しきってしまう可能性が軽減されることが期待できる。また、隣接するエリア間を往復した場合と、離れたエリアまで移動した場合に明確な差をもたせることで、エリア境界付近の滞留による影響を減らすことが期待できる。

### 5.3 提案手法の時空間行動データへの適用

#### 5.3.1 上野動物園来園者の GPS データを想定した実装

本章では、第4章で使用した上野動物園一般来園者の GPS データを用いて、提案手法の実装、適用と検証を行う。

動物園来園者の時空間行動上の“状態”として、第2章の具体的な行動推定の結果として動物園の観覧行動として「展示のより近くを、よりゆっくりした速度で歩いている時ほど観覧している確率は高く、また展示に近づく時、歩く速度が下がる時ほど確率は高くなる」というモデルを採用する。提案手法では2変数を用いることになるため、特に観覧確率への影響が強い「歩行速度」と「最も近い動物展示との距離」を対象者の具体的な行動に関わる状態を表す変数として採用するものとする。

#### 5.3.2 観覧者の状態を加味した時空間行動の類似度算出

各対象者の単位時間窓内における「歩行速度」と「最も近い動物展示との距離」によって観覧状態を示す指標を作成し、空間遷移を表す文字列への重み付けを行う。

まず、対象者ごとに“観覧状態”を示す指標の作成を行う。単位時間ごとに GPS ログを抽出して、それぞれの単位時間における“観覧状態”を表す「歩行速度」と「最も近い動物展示との距離」の値を推定する。

1秒ごとに記録した GPS ログのうち、4.2.2と同様の手法を用いて測位精度に問題があると判断したログを除外した。次に、残る GPS ログから、単位時間である1分ごとに、その1分間に含まれる GPS ログを全て抽出して「歩行速度」と「最も近い動物展示との距離」を2軸に取った2次元平面上にプロットして(図5.1)、2次元カーネル密度推定により最高密度点を算出した(図5.2)。測位精度に問題のない全ての GPS ログから、単位時間1分ごとにログを抽出してこの算出を行う。この最高密度点をもって、その単位時間におけるその対象者の“観覧状態”とする。同様の処理を、全ての対象者の GPS ログに対して行った。

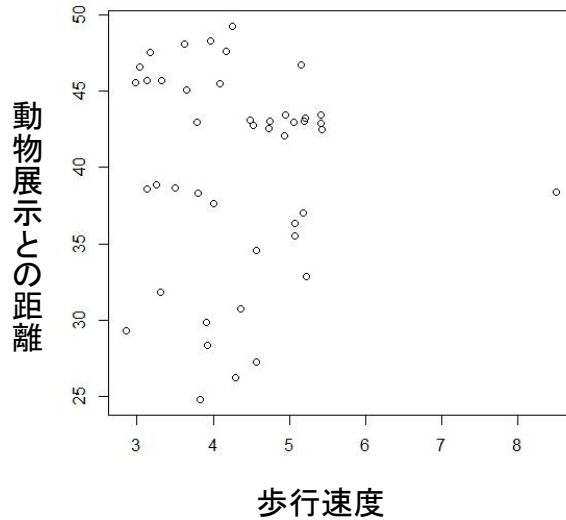


図 5.1 対象者ごとの単位時間 1 分間中の GPS ログのプロット例

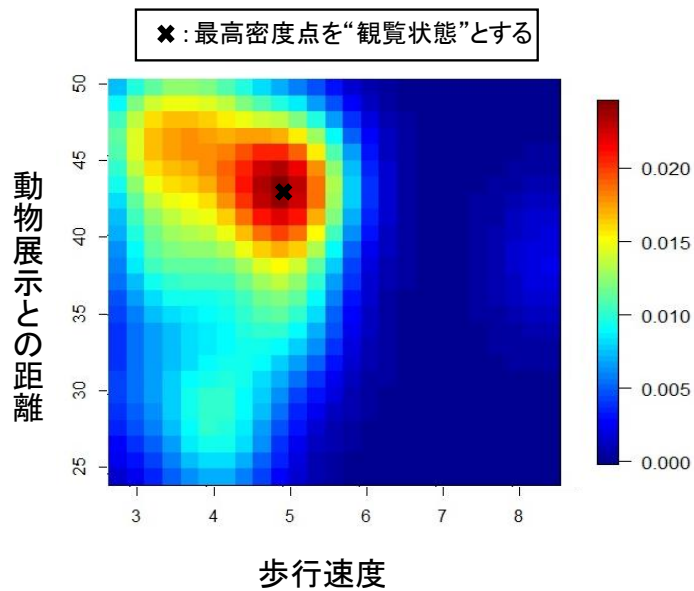


図 5.2 プロットした GPS ログからのカーネル密度推定による“観覧状態”の算出

次に、全ての対象者の最高密度点を用いて、観覧状態を表す文字を割り当てるための  $5 \times 5$  のグリッドを作成する。歩行速度と動物展示の距離  $v$  とをそれぞれの軸に取り、全ての対象者の単位時間ごとの最高密度点をプロットする。外れ値を除外した後、2 軸とも均等な間隔で 5 段階に区切り、グリッドを作成した。外れ値の除外には、箱ひげ図などで用いられる、第 3 四分位点に IQR (interquartile range) の 1.5 倍の値を加えた値を上限值とする手法 (Dekking 2005<sup>[69]</sup>) を用いて、上限値以上の値を外れ値とした。どちらの変数とも、実際には負の値をとることはないので、下限値は“0”とした。

第 4 章での園内を「東園→西園」と移動した 46 組の GPS データに以上の処理を施した (表 5.1)。これを用いて、ユークリッド距離によって表す類似度  $E(a_i, b_j)$  に割り当てるための観覧者の状態を加味する文字を作成した。それぞれの文字および、その基準値、各グリッドに当てはまった最高密度点の数を図 5.3 に示す。

表 5.1 2 変数の IQR と上限・下限値

歩行速度 (km/h)	第一四分位	0.3904
	第三四分位	1.3178
	IQR	0.9274
	下限	-1.0006
	上限	2.7089
展示との距離 (m)	第一四分位	2.6932
	第三四分位	19.1784
	IQR	16.4852
	下限	-22.0346
	上限	41.2129

						z: 1799
展示との距離 (m)	41.2129	e: 308	j: 244	o: 73	t: 42	y: 31
	32.9703	d: 530	i: 403	n: 116	s: 111	x: 94
	24.7278	c: 1118	h: 795	m: 253	r: 225	w: 139
	16.4852	b: 1574	g: 1159	l: 356	q: 330	v: 256
	8.2426	a: 3035	f: 2835	k: 986	p: 633	u: 446
		0.5418	1.0836	1.6253	2.1671	2.7089
		歩行速度 (km/h)				

図 5.3 状態を表す各文字と 2 変数の基準値

### 5.3.3 文字の一致・不一致スコアによる類似度重み付け手法

提案手法の実装にあたり、上野動物園の各エリアの分割を再考することとする。文字の一致・不一致スコアによる類似度の算出の重み付けを行うことにより、近接するエリア同士での文字の不一致に対する値と離れたエリア同士での文字の不一致に対する値に差をつけることで、相対的に類似度の重み付けを行うことができる。これまでは、分割する基準を見出しにくい広場などの大きな空間は一つのエリアとして扱うほかはなかった。しかし、利用者の実際の滞在の仕方などから空間の分割を行い、それらのエリアごとの関係性からそれぞれのエリアごとの文字の不一致に対する類似度の算出の基準となる値を設定することが可能となる。

そこで、上野動物園一般来園者の滞在の仕方を反映したエリア分けを行うこととした。第 4 章で用

いた 113 組分の GPS データを全て上野動物園の地図上にプロットしたのち、カーネル密度推定図を作成した (図 5.4)。カーネル密度推定図における高密度な各地点が、来園者が主に利用している地点であり、利用する目的や意味を持ったエリアであると解釈し、それぞれの高密度地点が異なるエリアに属するようにエリアを設定することとした。カーネル密度推定図から高密度地点の狭間となる“谷線”を抽出し (図 5.5)、谷線とカーネル密度推定図を参考にエリアの分割を行った (図 5.6)。文字の不一致の重み付けを 3 段階に設定し、隣接するエリアとの不一致、隣接エリアに隣接するエリアとの不一致、それ以外の不一致についてそれぞれ不一致に対するスコアを設定した (表 5.2)。

表 5.2 文字の一致・不一致に割り当てるスコアの設定

文字の一致・不一致状態	設定スコア
一致	0
隣接エリア間での不一致	3
隣接エリアに隣接するエリアとの不一致	6
その他の不一致	10



図 5.4 GPS データから作成したカーネル密度推定図



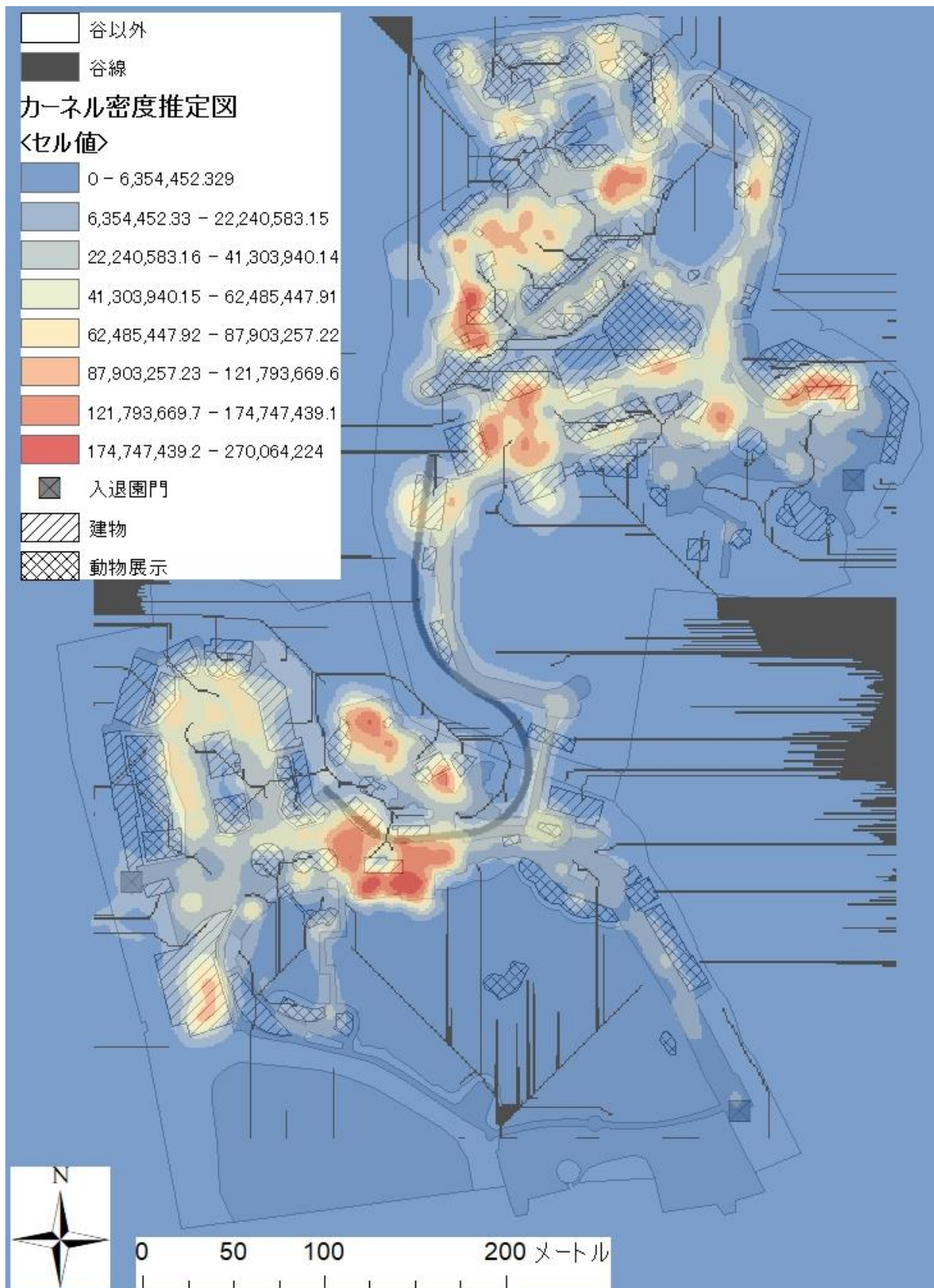


図 5.5 カーネル密度推定図から作成した密度の谷線

- 谷以外
- 谷線
- 46エリア

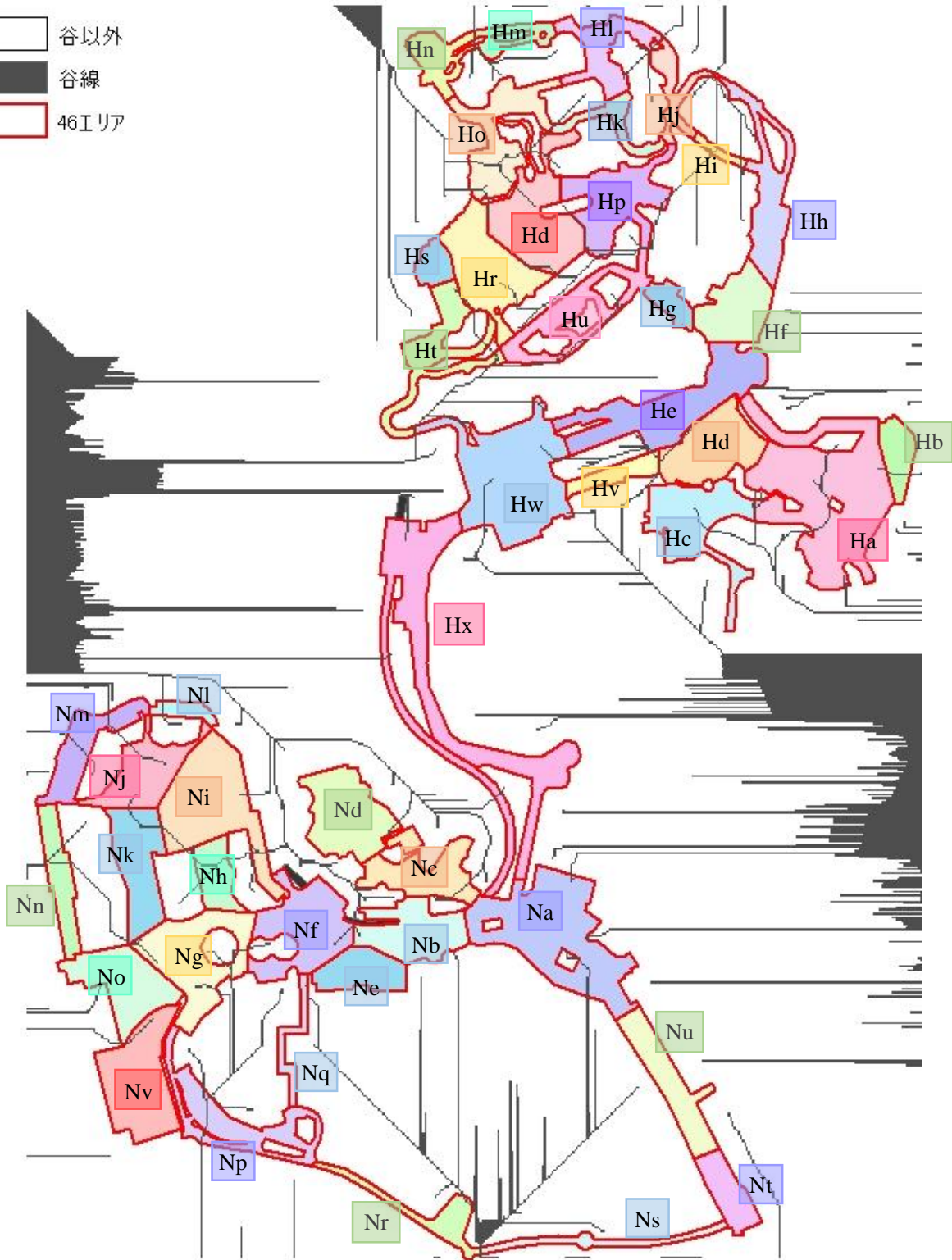


図 5.6 谷線から作成した 46 エリア

## 5.4 適用結果と考察

### 5.4.1 適用により得られた各クラスターと考察

上野動物園一般来園者 113 組のうち、「東園→西園」と移動した 46 組について、新たなエリア分けによる重み付けと観覧状態を表す文字列の付加を行い、時空間行動の類型化を試みた。

得られた樹状図を図 5.7 及び 5.8 に示す。図 5.7 の樹状図では、各枝の右端に各サンプルを表す ID が置かれ、類似度の高いサンプル同士が順に線で結ばれている。また、各サンプルの類似度はそのサンプル間を結ぶ水平方向の線の長さの合計値により表現されている。但し、ここで言う類似度とは樹状図の作成に用いた近隣結合法の出力値であり、ペアワイズアライメントにおける類似度の算出値などではないことに注意されたい。図 5.8 は、図 5.7 と同様に各サンプルの類似度が結ばれる順番と線の長さにより表現されているが、根を持たず、円状に表現した図となっている。樹状図及び投入されたサンプル全体のアライメントを行うマルチプルアライメントの出力値で各サンプルの違いを表す指標の一つである distance 値 (Thompson-Maaloum and Wilson 2005<sup>60)</sup>) を参考に各クラスターを分けたが、類似度の高い 2 つから 3 つのサンプルによる集合が多数形成され、非常に細分化されたクラスタリング結果を得ることとなった。しかし、後述するように、細分化された集合だけでなく、ある程度結合が進んだ集合からも時空間行動としての共通の特徴を見出すことができた。そこで、大きな集合を各クラスターとしてアルファベットの大文字で、さらに細分化された集合を小分類としてアルファベットの小文字を付している。

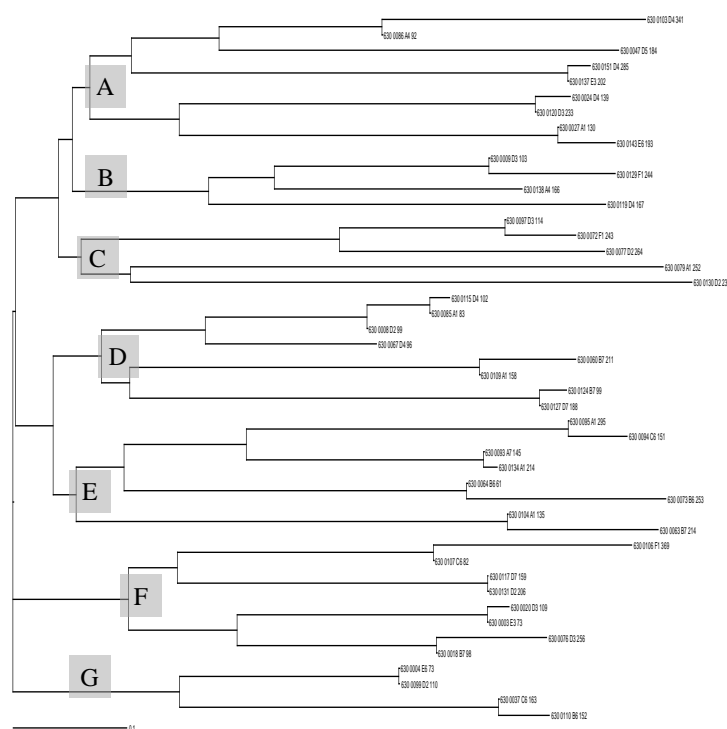


図 5.7 提案手法適用結果の樹状図 (Phylogram)

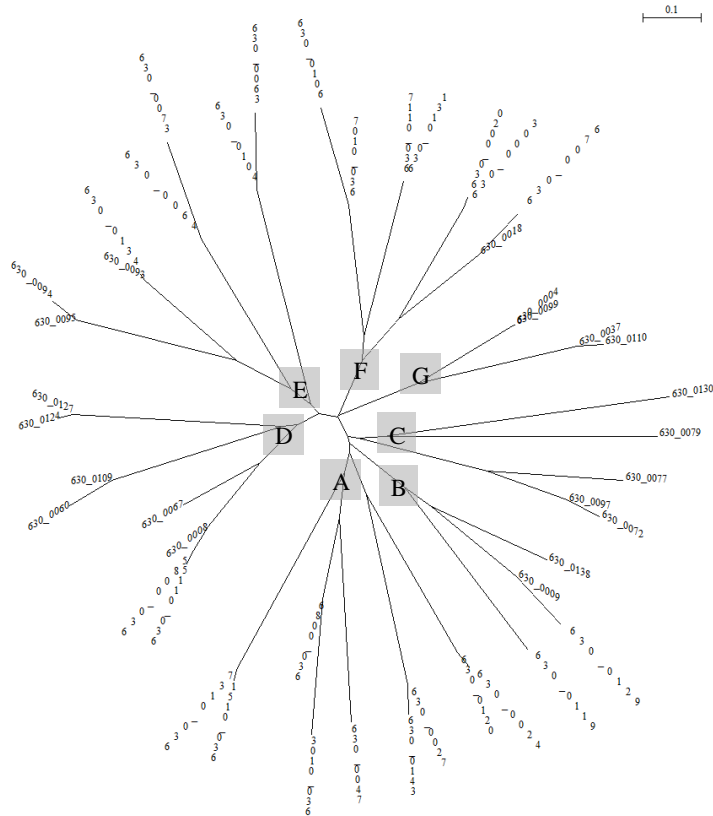


図 5.8 提案手法適用結果の無根系統樹

それぞれのクラスター及びそれぞれの小分類に含まれる被験者の時空間行動について、そのルート、歩行速度と展示との距離を時空間パスによって可視化し、その特徴について考察した。小分類ごとに考察できるように、その小分類に含まれる被験者の時空間パスを一つの図中にまとめて描画している。この時空間パスでは、単位時間である 1 分ごとの GPS ログを線で結び XY 平面上での移動軌跡を表し、入園からの時間経過 1 分ごとに Z 軸方向に 1m だけ高さを取り、時間の経過を表現している。また、線の色はその単位時間窓当たりの歩行速度の最高密度点、線の太さはその単位時間当たりの最も近い動物展示との距離の最高密度点を表している。

## 〈クラスターA〉

クラスターA (図 5.9 から 5.12) では、入園直後の東園では歩行速度を緩め観覧をする一方、西園ではあまり顕著に歩行速度を緩めることが少ないという傾向が見て取れる。そんな中でも、クラスターA\_c (図 5.11) などでは、東園内での展示に近づくと歩行速度が下がり、展示のないところでは歩行速度が上がるといった第3章での観覧行動推定と類似する特徴を確認することができる。第3章と同様に観覧行動を推定するモデルを求める場合は、対象者がこのようなクラスターに含まれるサンプルと類似する時空間行動を行っているかを確認することが有効であろうと考えられる。

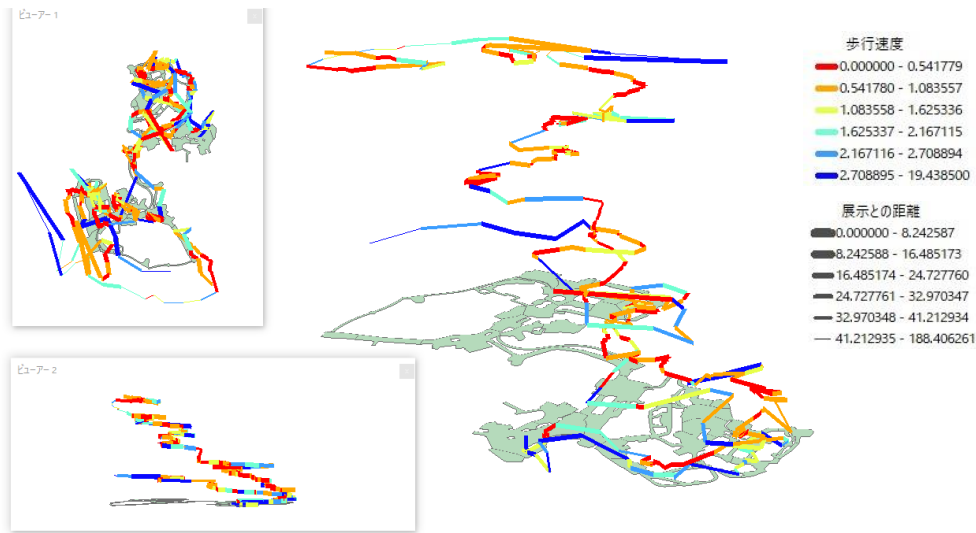


図 5.9 クラスターA\_a の時空間パス

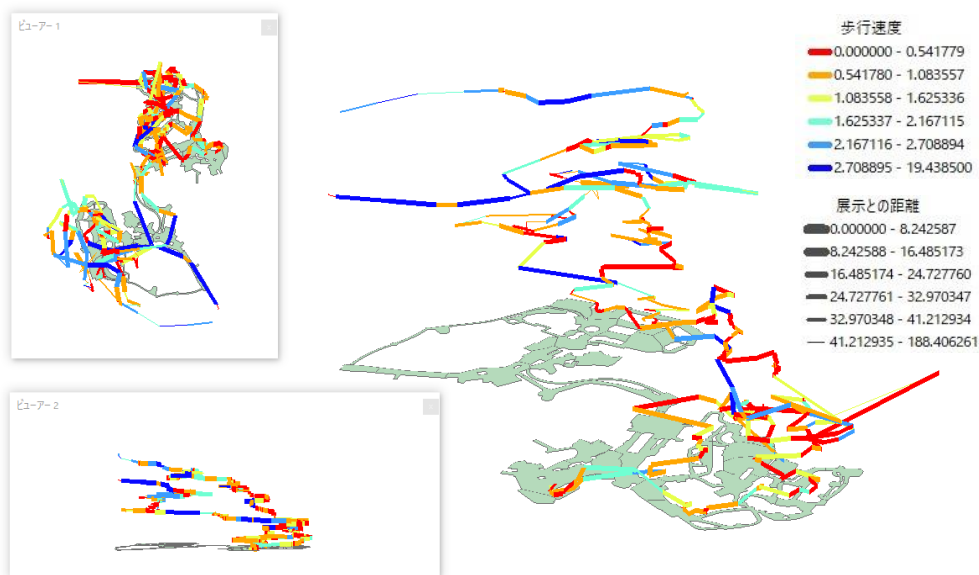


図 5.10 クラスターA\_b の時空間パス

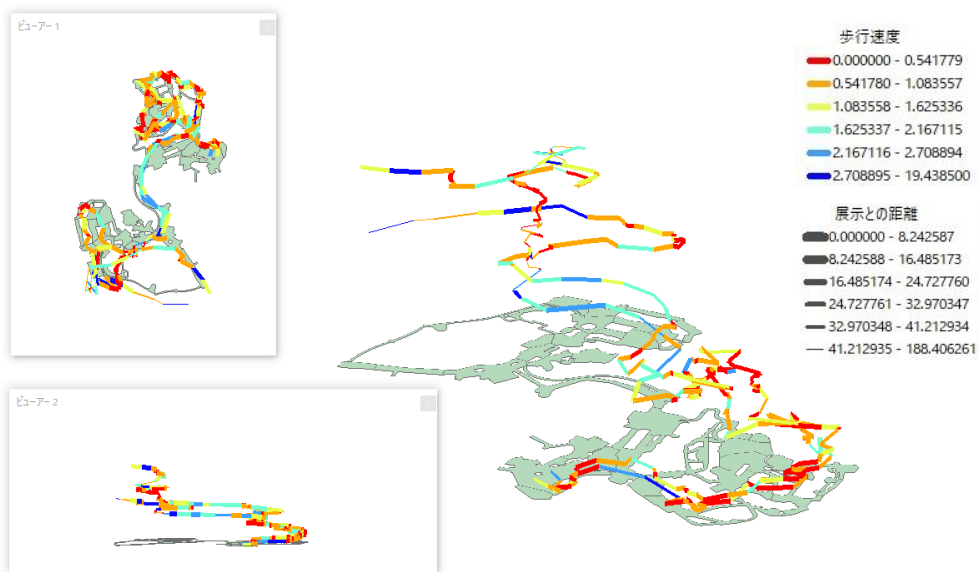


図 5.11 クラスタA\_cの時空間パス

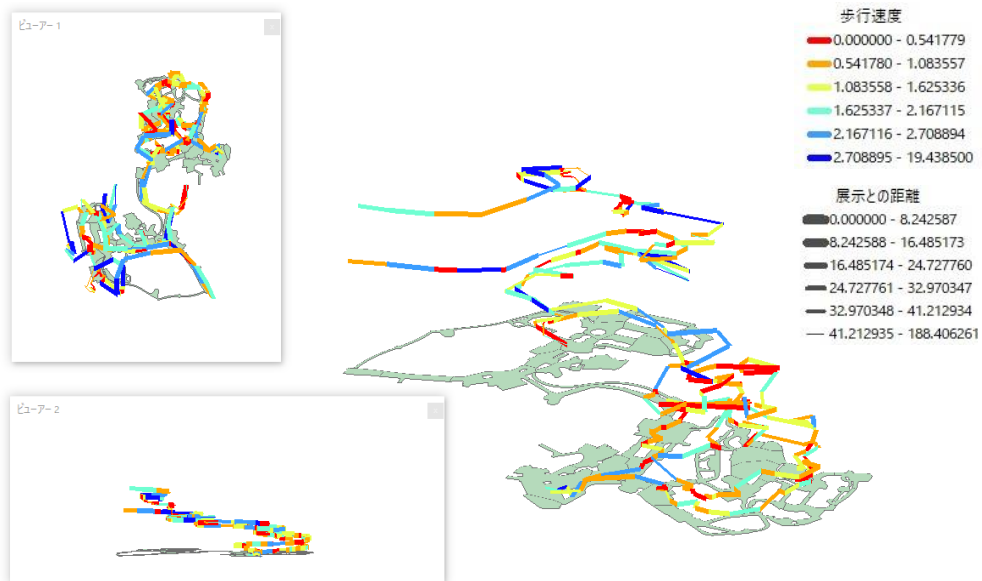


図 5.12 クラスタA\_dの時空間パス

## 〈クラスターB〉

クラスターB (図 5.13, 5.14) は, クラスターA の特徴と同様に, 入園直後の東園では歩行速度を緩め観覧をする一方, 西園ではあまり顕著に歩行速度を緩めることが少ないという傾向が見取れるが, クラスターA よりも西園での滞在が短く, 歩行速度は速いまま保たれている. このような行動は, 観覧行動に対する“飽き”が生じた結果であるとも考えられ, 動物園のマーケティング等に活用できる有益な情報であると言えるであろう.

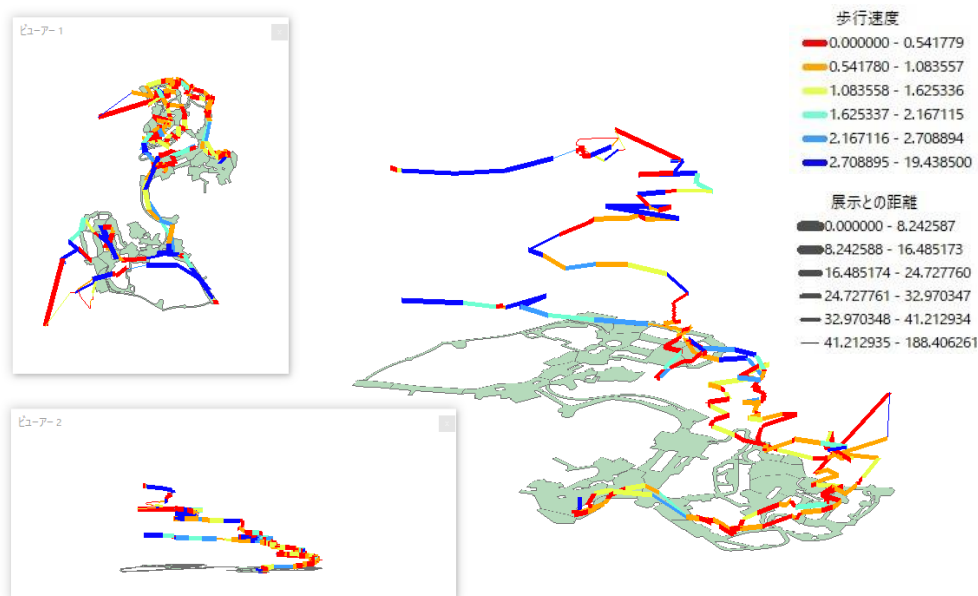


図 5.13 クラスターB\_a の時空間パス

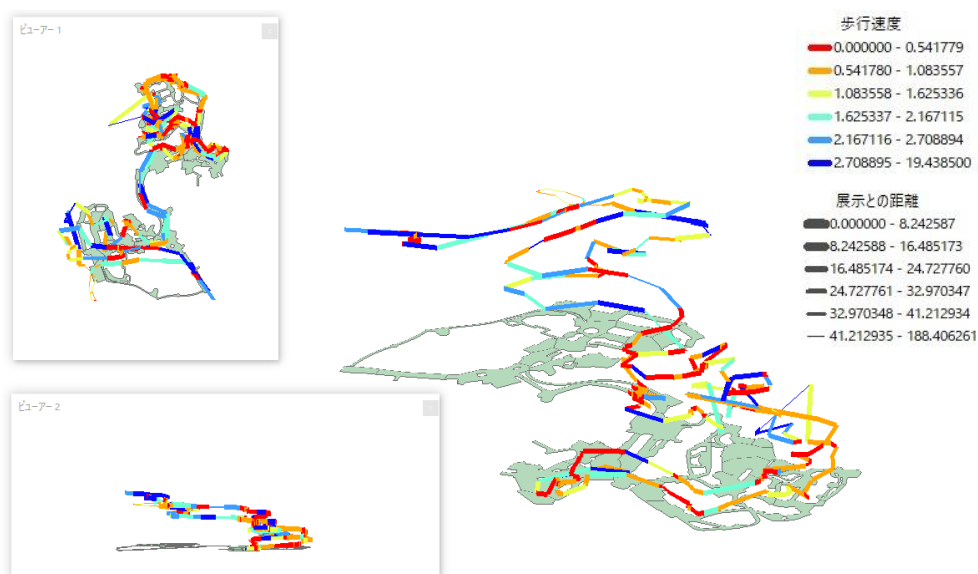


図 5.14 クラスターB\_b の時空間パス

### 〈クラスターC〉

クラスターC\_a (図 5.15) は、東園から西園へ移動するイソップ橋 (Hx エリア) を速い歩行速度で下ったのち、すぐに子ども動物園 (Nc,Nd) や不忍池テラス (Ne) に低速度で長時間滞在するという連続に特徴を見出すことができた。上野動物園来園者の歩行速度とエリアの移動の関係が顕著に表れる時空間行動の一つであると言える。

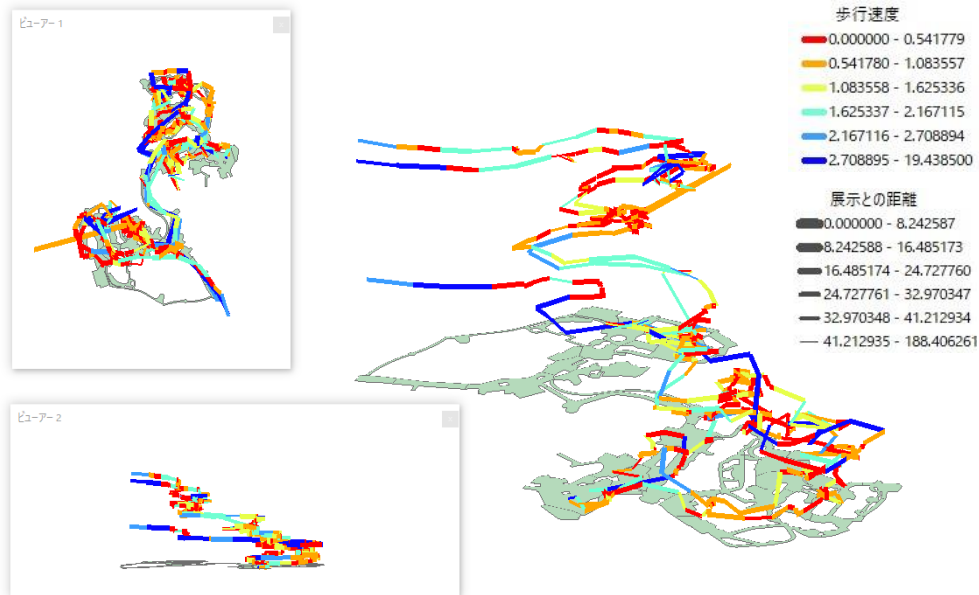


図 5.15 クラスターC\_a の時空間パス

### 〈クラスターD〉

クラスターD には、展示付近で歩行速度が下がらないサンプルが集められている。クラスターD の小分類 D\_a は、園内のほとんどで速い歩行速度を保ち、展示付近でもわずかな減速と滞在しか示さなかった (図 5.16)。滞在時間も非常に短いことがわかる。またクラスターD\_b は、クラスターD\_a と全体的には同様の行動を取りながら、レストラン、売店、喫煙所付近で顕著な滞在を示していた (図 5.17)。クラスターD\_c は、東園をクラスターD\_a 及び D\_b とは逆向きのルートで移動しているが、その他の特徴はクラスターD\_b と同様にレストラン、売店、喫煙所付近で滞在を見て取ることができた (図 5.18)。

以上のように、空間遷移の類似性だけでなく、歩行速度の変化や観覧対象との距離の変化により特徴づけられた時空間行動を有するクラスターを得る結果となった。



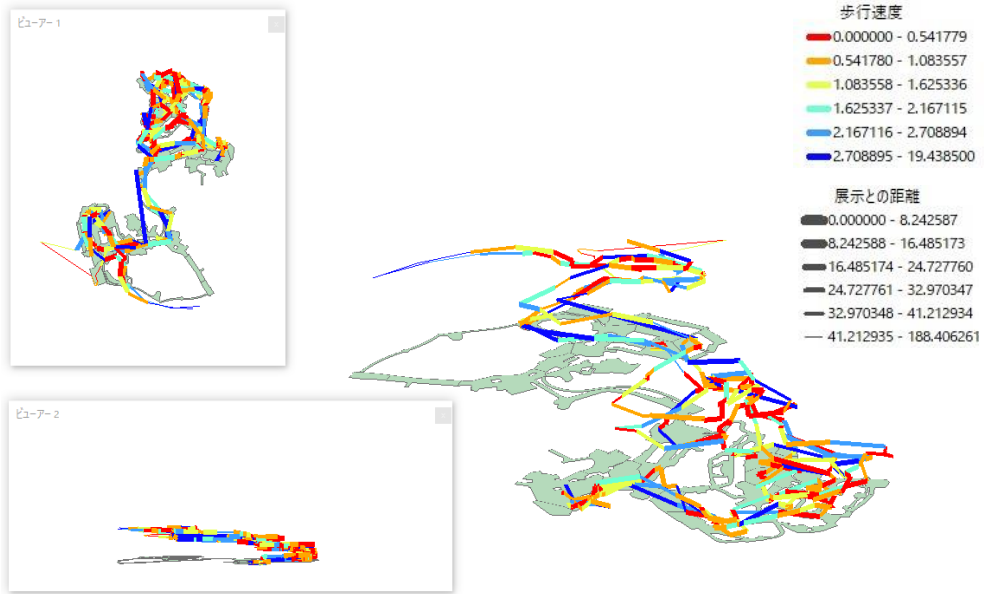


図 5.16 クラスタD\_aの時空間パス

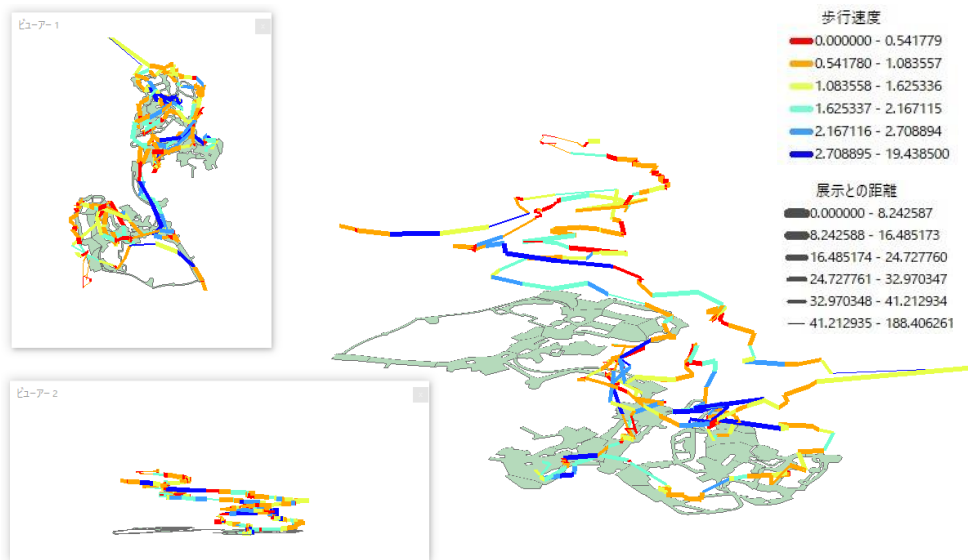


図 5.17 クラスタD\_bの時空間パス

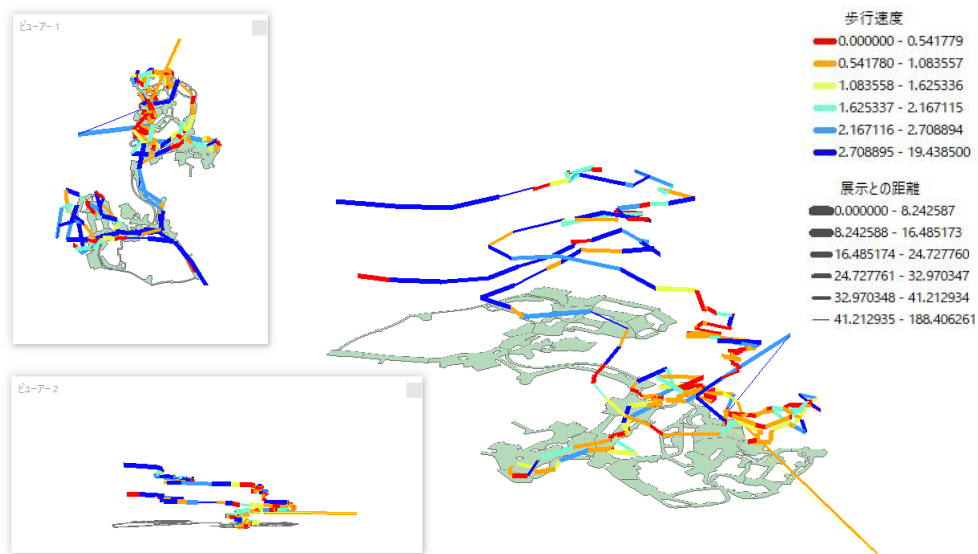


図 5.18 クラスタD\_c の時空間パス

### 〈クラスターE〉

クラスターE (図 5.19 から 5.22) は、東園では比較的歩行速度が速いまま維持されており、西園に移動してから歩行速度を緩め観覧を長く行っているような傾向が見て取れる。クラスターA や B とは逆の傾向にある。

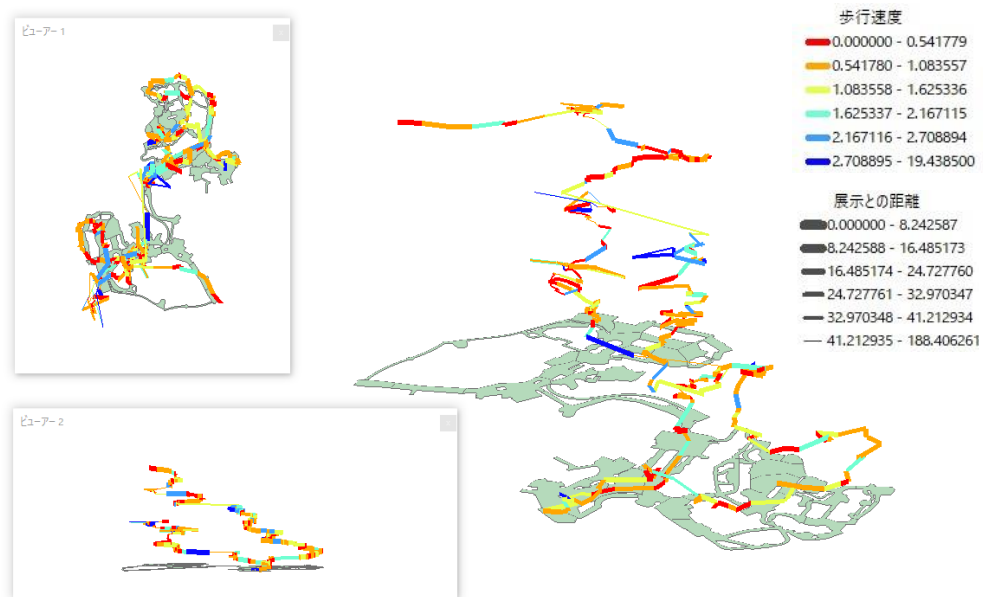


図 5.19 クラスタE\_a の時空間パス

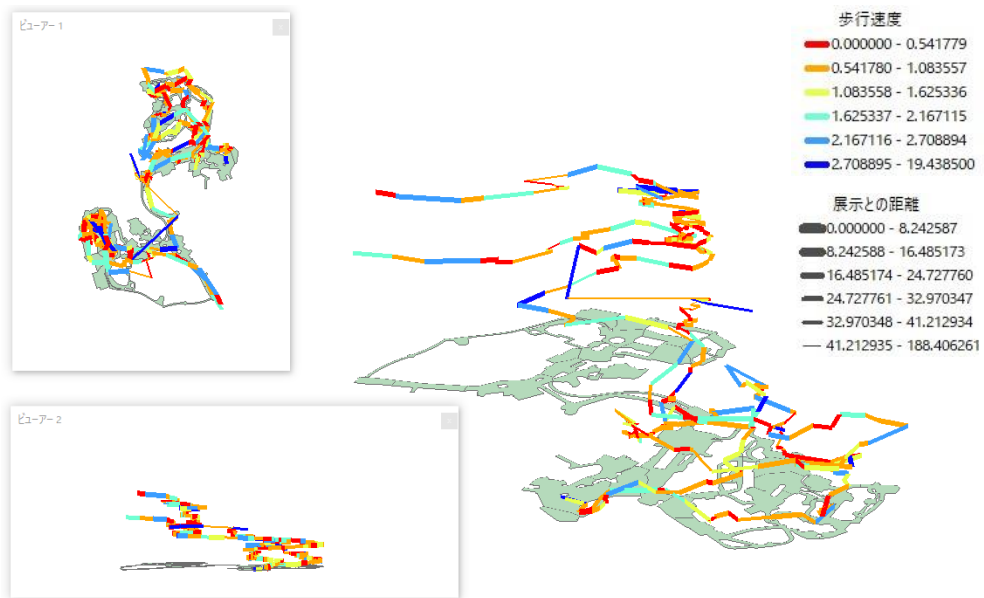


図 5.20 クラスタE\_bの時空間パス

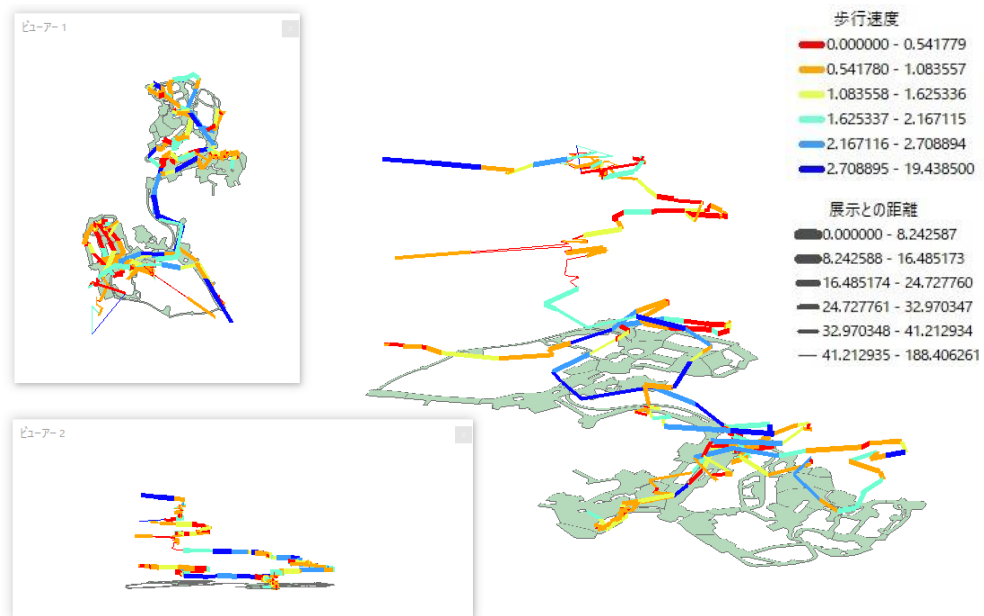


図 5.21 クラスタE\_cの時空間パス

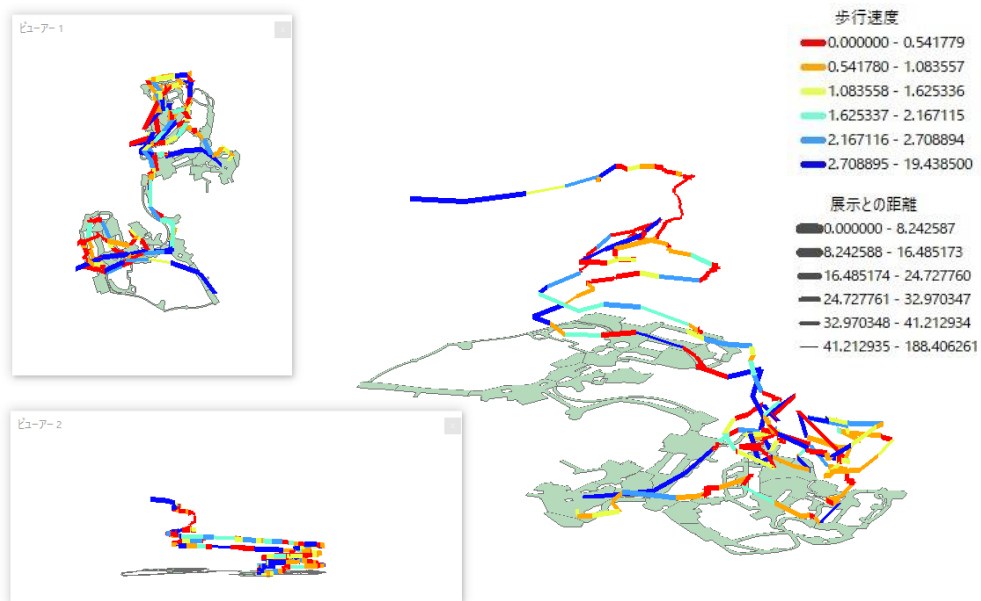


図 5.22 クラスタE\_d の時空間パス

### 〈クラスタF〉

クラスタF\_a (図 5.23) や F\_d (図 5.26) では、局所的な長時間の滞在を確認することができる。その他のクラスタF\_b (図 5.24), F\_c (図 5.25) でも、園内全体を通して、動物展示付近で歩行速度を緩める場合と、緩めない場合が混在しており、趣向に応じたピンポイントでの観覧行動を行っているのではないかと推察する。

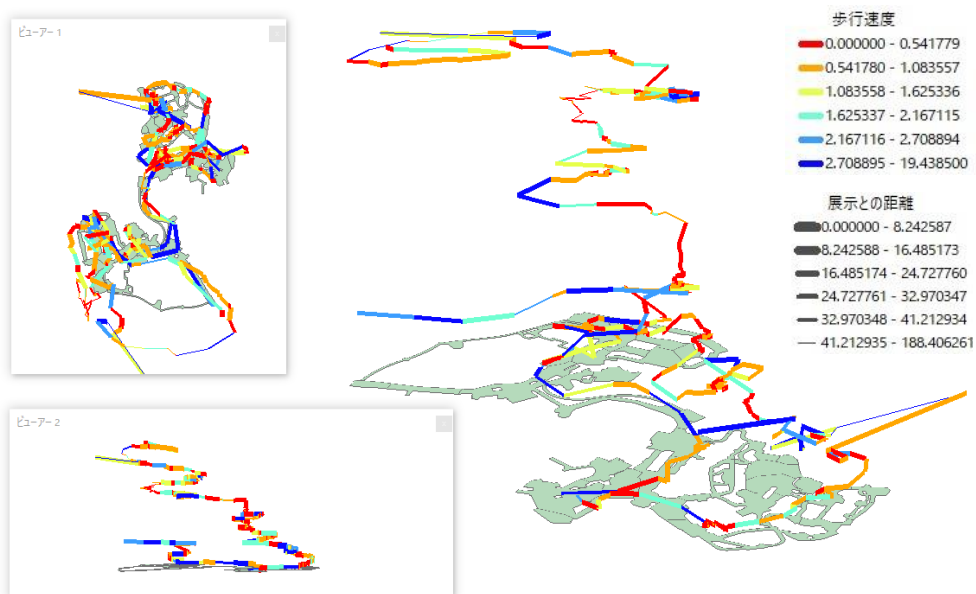


図 5.23 クラスタF\_a の時空間パス

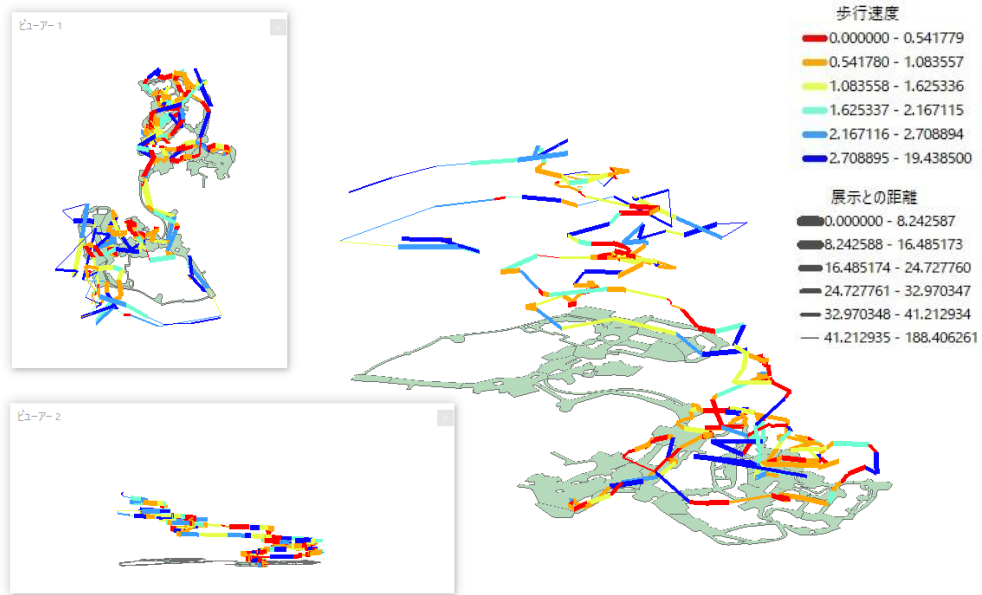


図 5.24 クラスタF\_bの時空間パス

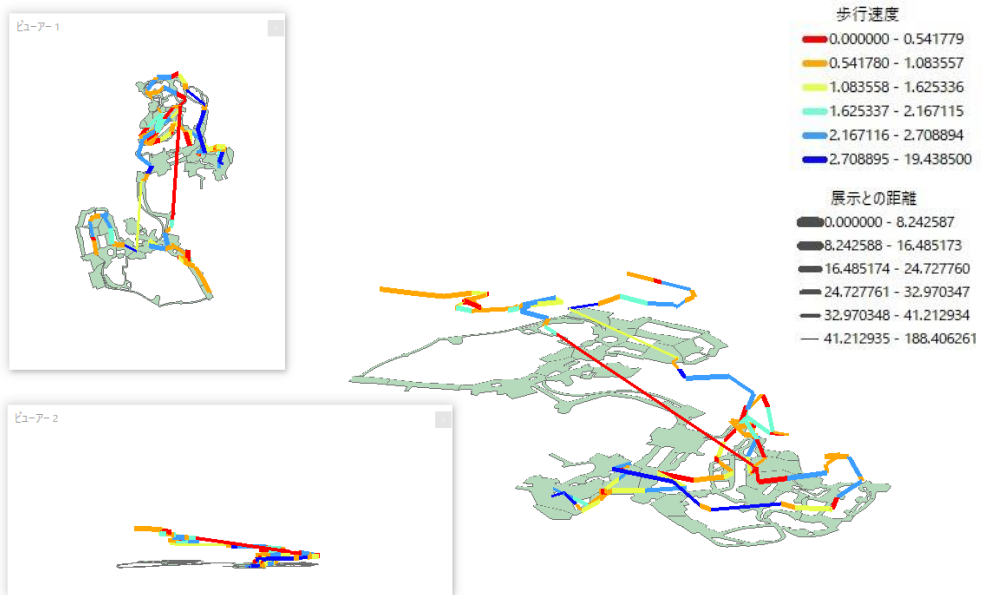


図 5.25 クラスタF\_cの時空間パス

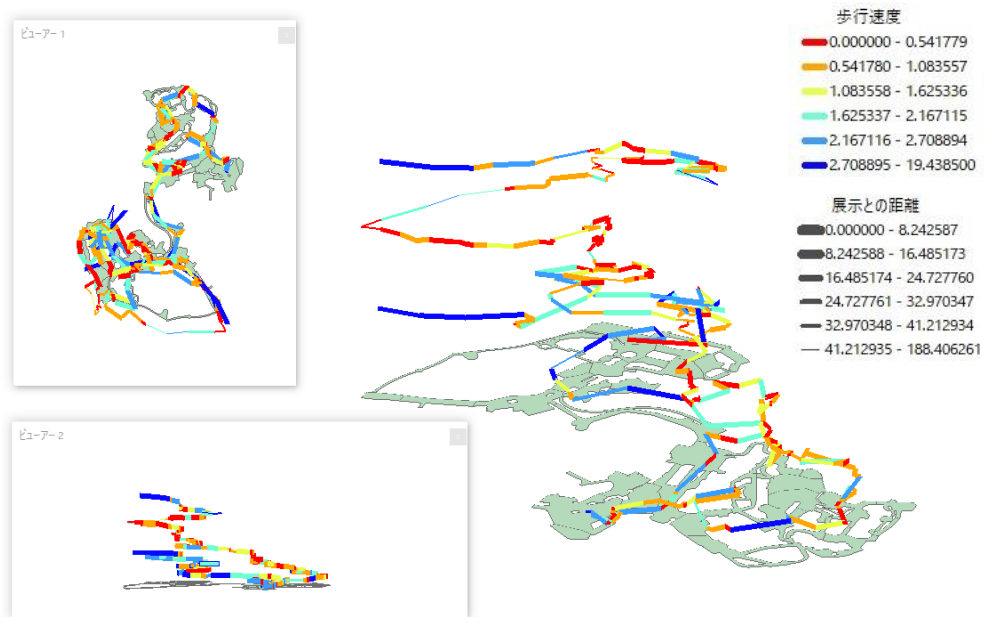


図 5.26 クラスタF\_d の時空間パス

### 〈クラスタG〉

クラスタG\_a (図 5.27) の 2 サンプルは、西園の一部以外での観覧ルート、退園した門 (池之端門), 総滞在時間, 歩行速度の上下など酷似する部分が多く、顕著にクラスタとして抽出されたものであると考えられる. クラスタG\_b (図 5.28) は、クラスタF に近く、園内で満遍なく観覧行動を行っている例と考えられる.

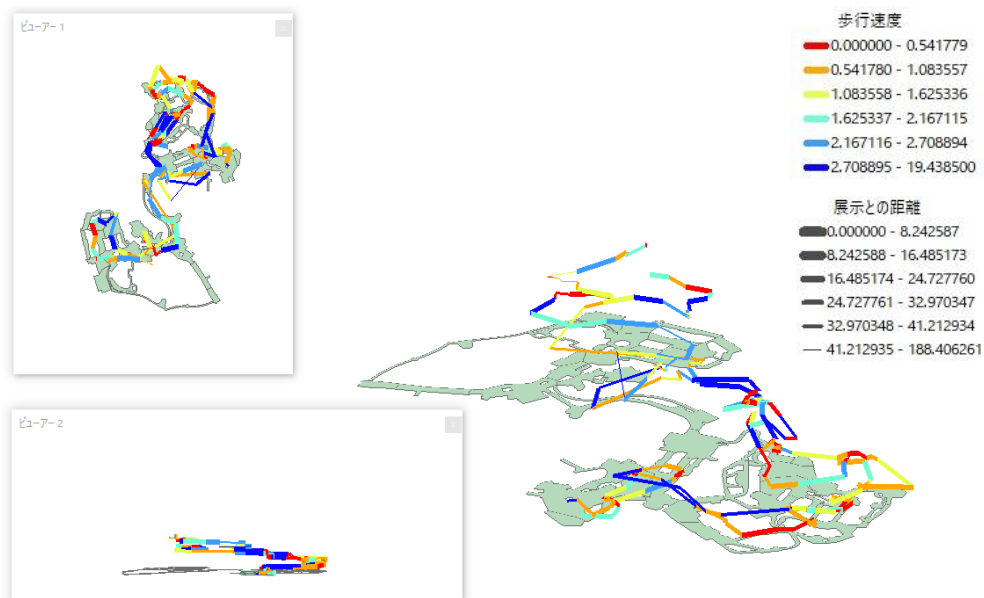


図 5.27 クラスタG\_a の時空間パス

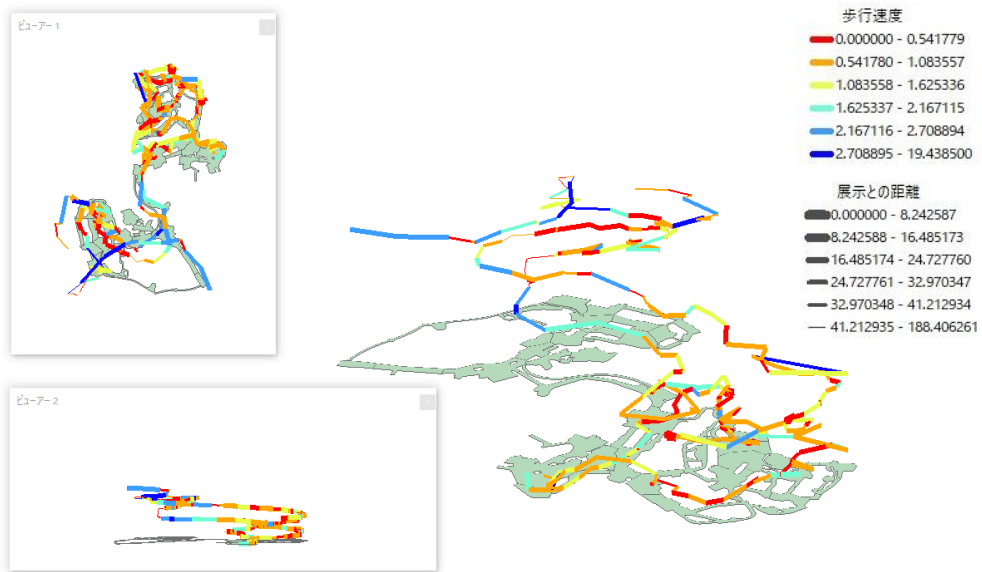


図 5.28 クラスタG\_bの時空間パス

#### 5.4.2 本章での提案手法によるクラスターと既存手法でのクラスターとの比較

次に、本章での提案手法を適用により得られた各クラスターと、第4章において既存手法を用いて得られたクラスターとの比較を行う。空間遷移とその時間的な変化の類似度のみによって定まる既存手法による類型化の結果と比較し、対象者の状態の加味と文字の不一致コストの重み付けがどのように反映されているかについて考察する。

表5.3に、提案手法によるクラスター及び小分類と、第4章の図4.8で示した既存手法による類型化結果である各クラスターを表す数字との対応を示す。また、図5.29に提案手法により得られた樹状図(図5.7)上での、各サンプルIDと既存手法によるクラスターとの対応を色分けによって示す。

まず、既存手法による類型化の結果として代表的な観覧ルートとその派生形として解釈されたクラスター1, 2, 3, 4に含まれるサンプルは、提案手法においては主にクラスターA, B, Cに含まれている。無根系統樹(図5.8)からみても、クラスターA, B, Cは類似度の高い枝であり、この枝が代表的なルートの集まりに該当すると考えられる。空間遷移の部分的な違いによりそれぞれ分けられていたクラスター1, 2, 3, 4とは異なり、クラスターA, B, Cでは、移動速度の変化・展示との距離の変化とその並びによって特徴づけられている。特にクラスターC(図5.15)のように、速い移動速度でイソップ橋(Hxエリア)を下ったのちに近隣のエリアにおいて低速度で長時間滞在するという特徴的な行動を抽出できたことは特筆に値する。

既存研究におけるクラスター6は、西園不忍池付近で長時間滞在するという特徴をもつ(表4.2)。提案手法による類型化では、樹状図の各枝に分かれている(図5.29)。1つのエリアでの長時間の滞在が類似度として相対的に低く見積もれるようになった一方、クラスターG\_a(図5.27)のよう移動軌跡・各エリアでの滞在時間・歩行速度などが類似した観覧行動の小分類として顕在化しており、時空間行動としてより詳細な類型を得ることができている。

既存研究におけるクラスター7は、提案手法による類型ではクラスターD, E, F(図5.29)に組み込まれている。クラスター7は、東園内をクラスター1, 2, 3, 4とは逆向きに移動する群という明確な空間遷移の特徴を持つ(表4.2)。クラスターDは歩行速度の変化により特徴づけられており、その中でクラスターD\_cとして“逆向きの移動”はまとめられている(図5.18)。観覧状態を含む包括的な時空間行動の特徴で分けられたのち、さらに空間遷移の類似が小分類として顕在化しているとも考えられる。

以上のように、提案手法により得られた各クラスターと既存手法を用いて得たクラスターとを比較した結果、空間遷移とその時間的な変化の類似度を基本として、対象者の状態の変化が加味された類型化が行われていることが確認できた。また、あるエリアでの長時間の滞在が顕著に類型化に及ぼす影響を軽減することができた。これは、対象者の移動速度・展示との距離による状態の変化の加味に加え、滞在するエリアの不一致スコアの重み付けにより、時空間行動を表す文字列において連続する同じ文字によって表される長時間の滞在の類似度を、文字列全体に対して相対的に低く見積もることができたからであると考えられる。



表 5.3 提案手法によるクラスターと既存手法でのクラスターとの対応

ID	提案手法		既存手法 (図 4.8)
	クラスター	小分類	第 4 章でのクラスター
103	A	a	4
86	A	a	4
47	A		5
151	A	b	4
137	A	b	3
24	A	c	4
120	A	c	3
27	A	d	1
143	A	d	6
9	B	a	3
129	B	a	1
138	B	b	4
119	B	b	4
97	C	a	3
72	C	a	1
77	C	a	2
79	C		1
130	C		2
115	D	a	4
85	D	a	1
8	D	a	2
67	D	a	4
60	D	b	7
109	D	b	1
124	D	c	7
127	D	c	7
95	E	a	1
94	E	a	6
93	E	b	7
134	E	b	1
64	E	c	6
73	E	c	6
104	E	d	1
63	E	d	7
106	F	a	1
107	F	a	6
117	F	b	7
131	F	b	2
20	F	c	3
3	F	c	3
76	F	d	3
18	F	d	7
4	G	a	6
99	G	a	2
37	G	b	6
110	G	b	6

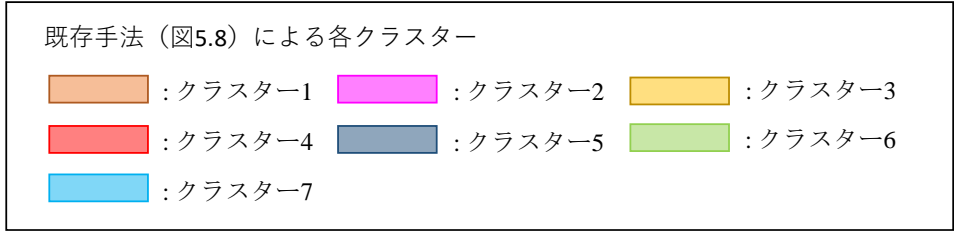
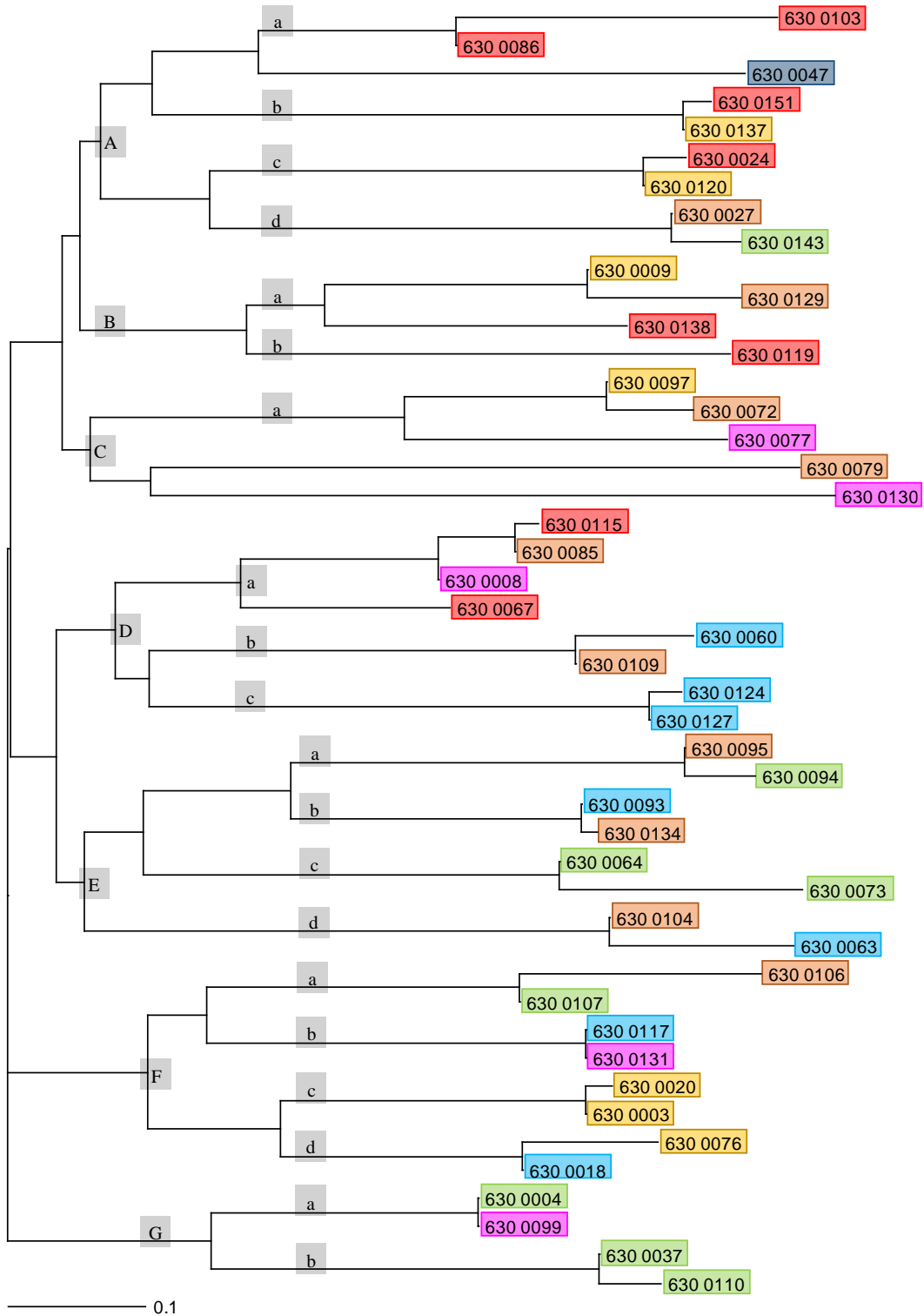


図 5.29 提案手法によるクラスターと既存手法でのクラスターとの樹状図上での対応

## 5.5 本章のまとめ

本章では、SAM を用いた時空間行動分析の課題点へのアプローチとして、対象者の状態を表す文字による類似度の付加と、文字の一致・不一致スコアによる空間遷移の類似度の重み付け手法の提案と検証を行った。

動物園来園者の“観覧状態”を歩行速度と展示との距離から算出した。また、空間を細かく分割し、隣接するエリアとの不一致ではスコアを低く見積もるように設定した。上野動物園観覧者の GPS データに提案手法を適用して得られた各クラスターの時空間行動の特徴について時空間パスによる可視化を通して考察を行った。各クラスターは、空間遷移の連続のみを扱ったアライメントを行った場合とは異なり、移動速度や展示との距離によって特徴づけられており、より実際の観覧行動が反映された類型を得ることができたと考えられる。また、既存手法により得られたクラスターとの比較を行った結果、空間遷移とその時間的な変化の類似度をも基本として、対象者の状態の変化が加味された類型化が行われていることが確認できた。対象者の状態の加味と不一致コストの重み付けによって、長時間の同じエリアでの滞在などの部分的な空間遷移の一致について、文字列全体の中での類似度が相対的に低く見積もることができたことも示唆された。

残された課題点としては以下が挙げられる。本章での提案手法では、同一エリアでの長時間滞在中も、エリア内の一か所に滞在していた場合と移動していた場合があるという課題点について、その状態を加味した類似度の算出を行ったことにより、異なる状態として扱うことができた。しかし、類似度算出過程が複雑なため、この歩行速度や展示との距離が表す“状態”がどのようにアライメントや類型に影響しているかについて明示することが難しい点が挙げられる。

しかし本章で提案した手法により、空間遷移と滞在の類似度を用いた類型と比べて、各サンプルの観覧行動がより詳細に一致した類型を得ることができた。各パラメーターや文字の一致・不一致に対するスコアの設定、対象者の状態を表す文字の作成方法などについて詳細な検討を行っていくことにより、観覧ルート・滞在箇所・移動速度/展示との距離が示す観覧行動など、どの特徴を重視した類型化を行うかを明示的に示せるように類型化の結果を蓄積していくことが重要になる。

また、本章では、動物園での観覧行動を対象として対象者の「歩行速度」と「最も近い動物展示との距離」を対象者の状態を加味するための2変量に用いたが、この2変量に他の様々な時空間行動の特徴量を設定することで、観覧行動以外の時空間行動を対象とした類型化に応用することが可能であると考えられる。



## 第6章 都市全体を含む広域的な行動へのSAMの適用の試み

### 6.1 都市全体を含む広域的な時空間行動データへのSAMの適用

3.3.3 で示したように、SAM を用いた時空間行動分析の既存研究は、施設・区画内の限られた範囲での歩行行動あるいは外国人旅行者を対象とした観光行動調査に限られている。そして、都市を含む広域的な範囲で日常行動を行う人々の時空間行動データに対して SAM を適用した類型化や分析を行った例は見当たらない。

第1章でも示したように、都市部を中心として人々の様々な活動にともなう時空間行動データが収集され、様々な活用されようとしている。その多くは、都市で暮らす人々の日常的な活動を行う人々の時空間行動データであると考えられる。そして、東京のような大都市圏では、都市の内外をまたぎ広域的に活動している場合が十分に考えられる。

以上から、都市全体を含む広域的な時空間行動データに対して SAM を適用し検証を行うことにより、SAM の有用性や様々な時空間行動研究への応用可能性を示すうえで重要な知見を得ることが期待できる。そこで本章では、都市を含む広域的な範囲で日常的な活動を行う人々の時空間行動データに対する SAM の適用と検証を試み、手法の有用性や実際にアライメントを行っていくうえでの課題点等をまとめ、今後の布石とすることを目的とする。

本章では、携帯電話事業者関係会社から提供していただいた一般のスマートフォンユーザーの GPS データを活用して分析を行う。前章までで検証に用いていた時空間行動データは、特定の施設内での時空間行動を対象とし、その調査・分析を前提として GPS ロガーを配布、収集したデータである一方、各ユーザーが所持する情報機器を通して収集される時空間行動データの場合、情報機器のバッテリーやユーザーのプライバシー保護の制限のもと、データの測位間隔や空間的な記録範囲は限定されている場合がほとんどである。また、情報機器の電源が入っていない場合や GPS であれば屋内に滞在している場合には測位・記録は行われず、連続した時空間行動データを収集できるとは限らないという問題点がある。

また、都市全体を含むような広域的かつ連続的な時空間行動に対して SAM の適用を行う際も、前章までの試みとは異なる課題点が存在する。対象となる空間が不明瞭であるため、文字列化するためのエリアの分割と設定を、分析の初めから適切に行うことが難しい点が挙げられる。単位時間の設定についても同様であるが、こちらは収集された時空間行動データそのものから制約を受ける。調査・分析の目的を設定したうえで、基準とするエリア分割のスケールを設定し、サイズを大小に変更した段階的な類型化を行っていくことが有用であろうと考えられる。

上述の問題点をふまえ、都市全体を含むような広域的な時空間行動の類型化を行っていくうえで、予め以下の2点に留意する必要がある。まず、あるユーザーの時空間行動データが連続して複数記録されている必要があり、そのデータが類型化の対象となる時空間行動を再現するに足るだけの頻度・密度と数・時間だけ必要となる点が挙げられる。つまり、時空間行動データの精度によって取り扱うことができる時空間行動は制約を受けることになる。次に、類型化の対象となる“類似した時空間行動”を行っているユーザーが複数存在しなければ、クラスターとして抽出することはできない点も重

要な点である。同時に、類似度の高いクラスターを抽出できなければ、特異な行動例を抽出することもできないことになる。4.4でも指摘しているように、SAMではアライメントに同時に投入するサンプルの組み合わせによって類型化の結果が変わり、文字列の構造が大きく異なるサンプルを同時に投入しても有益な類型化結果を得ることはできない。つまり、予め類型化の対象とする時空間行動により置き換えられる文字列の構造を想定し、投入するサンプル群の文字列化作業を行う必要がある。

## 6.2 携帯電話事業者関係会社提供のGPSデータ

本章では、株式会社Agoop提供のGPSデータを使用してSAMによる類型化手法の適用と検証を行う。このGPSデータはスマートフォンアプリケーションを通して、広く一般のスマートフォンユーザーから収集されたものであり、本章では、2015年9月8日（火）に東京都市町村部（23区及び島しょ部を除いた地域）に1度でも滞在した記録を有する対象者の1日分のGPSデータを提供していただき、使用する。

この時空間行動データの特徴には以下の点が挙げられる。①対象者の行動範囲は限定されていない。ただし、東京都市町村部を必ず通過するか、滞在をしている。②対象者の行動の目的に関する情報や年齢・性別などのフェイス情報は記録されていない。③GPSデータの記録は30分に1度周期的に記録される場合と、対象者の移動・スマートフォンの操作に基づき記録される場合があり、データの間隔や密度はそれぞれの対象者により異なる。④対象者の1日中の行動が記録されているとは限らない。⑤前後の日付のGPSデータと対象者を同定することはできない。

表6.1に、本章で使用するGPSデータのログ数の概要を示す。対象者に割り振られたDailyIDごとのログ数では、最少では1、最多では701と非常に開きがあり、平均ログ数や中央値からもデータの密度・数が不揃いであることがわかる。

表 6.1 Agoop 提供 GPS データのログ数の概要

総 GPS ログ数	603108	
DailyID 数 (対象者数)	14684	
DailyID ごとの	最少ログ数	1
	最多ログ数	701
集計	平均ログ数	41.07
	ログ数中央値	37

## 6.3 都市全体を含む一日の活動をとらえた時空間行動データの類型化と分析

### 6.3.1 対象とする時空間行動

本節では、Agoop提供GPSデータを用いて、対象者のある平日一日の活動をとらえ、都市交通において大きな割合を占めうる通勤行動を中心とする、日常生活に伴う市区町村間の移動に着目した時空間行動の類型化と分析を試みる。

本章1節で指摘した時空間行動ビッグデータへSAMを適用するうえで2つの留意点と、本章2節に示したAgoop提供GPSデータの特徴をふまえ、SAMの適用対象として、以下の条件のもとサン

ルの抽出を行った。

- ・ 東京都市町村部から記録が始まり，同じ市町村で記録が終了する
- ・ 文字列化する単位時間を 1 時間とし，12 時間分以上の記録がある

抽出したサンプルを記録開始終了地点の市町村別に集計した結果を表 6.2 に示す。類似度の高い時空間行動が多く含まれている必要がある観点から，最もサンプル数が多い八王子市を記録開始終了地点とする 352 サンプルを対象とすることとした。八王子市を対象とした場合，JR 中央線あるいは京王電鉄京王線及び相模原線にて都心部に通勤する人や JR 横浜線等で神奈川県方面に移動する人，JR 八高線で埼玉県方面に移動する人など，様々な都市交通としての移動タイプの存在が期待できる。また，市内の市街地も広く，大学も多数存在するなど，八王子市内での多様な移動行動の存在も期待できる。

表 6.2 記録開始終了地点市町村別のサンプル数

市町村名	サンプル数	市町村名	サンプル数	市町村名	サンプル数
あきる野市	30	日の出町	7	三鷹市	116
昭島市	69	日野市	115	瑞穂町	26
調布市	153	稲城市	73	武蔵村山市	63
府中市	186	清瀬市	42	武蔵野市	76
福生市	45	小平市	124	西東京市	118
八王子市	352	小金井市	99	奥多摩町	1
羽村市	41	国分寺市	54	青梅市	72
東久留米市	80	狛江市	48	立川市	108
東村山市	86	国立市	43	多摩市	108
東大和市	51	町田市	272	総計	2658

### 6.3.2 対象空間の分割と GPS データの文字列化

GPS データを文字列化するため，東京都市町村部を中心に，市町村，特別区，近隣県と各地方に分けてそれぞれエリアとして定め（表 6.3），各々に文字を設定した（表 6.4）。

表 6.3 各エリアとエリア数

各エリア	エリア数
東京都の市町村の各市町村	30 エリア
東京都区部の各区	23 エリア
神奈川県，埼玉県，千葉県	3 エリア
北関東（群馬県，栃木県，茨城県）	1 エリア
北海道，東北地方，中部地方，近畿地方，中国地方，四国地方，九州地方，沖縄県	8 エリア
総計	65 エリア

また，GPS データを文字列化する際，単位時間 1 時間中に複数のログが存在する場合は，最も早い時刻のログを採用するものとし，また空白となる時間にはインデルとしてギャップ（空白）を挿入し

た. 対象となる **GPS** ログを地図上にプロットし, それぞれのエリアを表す文字に置き換え, 順に並べて文字列化を行った. 以上の文字列化作業の結果, 一つのサンプルを構成する文字が全て八王子市であった 179 サンプルを一旦除外し, 次項では残る 173 サンプルについて **SAM** による類型化と分析を行う.



表 6.4 各エリアを表す文字一覧

エリア名	対応文字	エリア名	対応文字	エリア名	対応文字
昭島市	A s s	足立区	A d k	神奈川県	K a p
あきる野市	A r s	荒川区	A k k	埼玉県	S a p
稲城市	I n s	板橋区	I t k	千葉県	C b p
青梅市	O m s	江戸川区	E d k	北関東	K k r
奥多摩町	O t m	大田区	O t k	北海道	H o p
清瀬市	K y s	葛飾区	K s k	東北地方	T h r
国立市	K t s	北区	K i k	中部地方	C u r
小金井市	K g s	江東区	K t k	近畿地方	K i r
国分寺市	K k s	品川区	S g k	中国地方	C g r
小平市	K d s	渋谷区	S b k	四国地方	S i r
狛江市	K m s	新宿区	S j k	九州地方	K y r
立川市	T c s	杉並区	S n k	沖縄県	O k p
多摩市	T m s	墨田区	S m k		
調布市	C f s	世田谷区	S t k		
西東京市	N t s	台東区	T t k		
八王子市	H c s	中央区	C o k		
羽村市	H m s	千代田区	C y k		
東久留米市	H k s	豊島区	T m k		
東村山市	H g s	中野区	N k k		
東大和市	H y s	練馬区	N m k		
日野市	H n s	文京区	B k k		
日の出町	H d m	港区	M n k		
檜原村	H h m	目黒区	M g k		
府中市	F c s				
福生市	F s s				
町田市	M c s				
瑞穂町	M z m				
三鷹市	M t s				
武蔵野市	M s s				
武蔵村山市	M m s				

### 6.3.3 類型化の結果と考察

本節での SAM によるアライメントでは、対象者の空間遷移の類似度のみを扱うため、アライメントにはアプリケーション ClustalG (Wilson et al. 1999<sup>[50]</sup>) を用いた。アライメントの結果、得られた樹状図を図 6.1 及び 6.2 に示す。図 6.1 の樹状図では、各枝の右端に各サンプルを表す ID が置かれ、類似度の高いサンプル同士が順に線で結ばれている。また、各サンプルの類似度はそのサンプル間を結ぶ水平方向の線の長さの合計値により表現されている。図 6.2 は、図 6.1 と同様に各サンプルの類似度が結ばれる順番と線の長さにより表現されているが、根を持たず、円状に表現した図となっている。投入されたサンプル全体のアライメントを行うマルチプルアライメントの出力値である、各サンプルの違いを表す指標である distance 値を参考に、樹状図の枝をわけ、それぞれクラスターを得た。distance 値の平均値よりも高い値をもつ距離の遠いサンプル同士が同じクラスターにならないように分岐点で枝をわけ、それぞれのクラスターとして図中の大文字のアルファベットを割り当てた。ただし、樹状図の接続から細分化され過ぎてしまう場合は図示や樹状図としての理解が困難になるため、大分類としてひとつのクラスターとし、それぞれのクラスター内で小分類として解釈するものとした。

それぞれのクラスターについて、アライメント前の文字列 (別紙資料 6.1) や時空間パスによる可視化などによって、その特徴を分析した。各クラスターの特徴と目的地と推測される市区町村等を表 6.5 に示す。一部を除く各クラスターの多くは、9 時ごろから 20 時ごろまでに、同じひとつの文字による連続を有していた。これは、通勤の目的地のある市区町村等への移動・帰宅行動であると推測される。これに加え、目的地前後の通過・立ち寄り地点、八王子市に戻る時間帯によってクラスターが分かれていると解釈することができた。

クラスター E, F, H は目的地と推測できる市区町村ごとにシンプルに類型化されている。クラスター D は、八王子市内に戻る時間帯の類似によって類型化されているとかがえた。これは、八王子市を表す文字の増加と、文字列後半での一致による影響であると推察できる。また、クラスター J には、通常の通勤行動とはやや異なるサンプルが集められている。クラスター J に含まれるサンプルの活動は、通学や通院、短時間での勤務や買い物行動などであると推測される。これらの時空間行動では、八王子市を表す文字の占有率が通常の通勤行動よりも高くなる一方、活動の目的地と推測できる市区町村での文字の連続が評価され、八王子市を中心に活動するクラスターとは別の類型を成していると考えられる。以上から、目的地への移動と帰宅という空間的な変化の違いだけでなく、その時間的な連続を定量的に評価して類型化がなされていることが示唆される。

以上の結果をふまえ、異なる日付の GPS データのプロファイリングを行うなど、類型化の対象とするサンプルを増やしていくことで、より明確な類型を得ていくことができると考察する。また、この結果をもとに一部のクラスターに対してより詳細な類型化を試みることができる。例えば、神奈川県を目的地とするクラスター H のサンプル群に対しては、神奈川県内をエリア分けした文字列を用いた更なる時空間行動分析を行っていくことが可能になる。

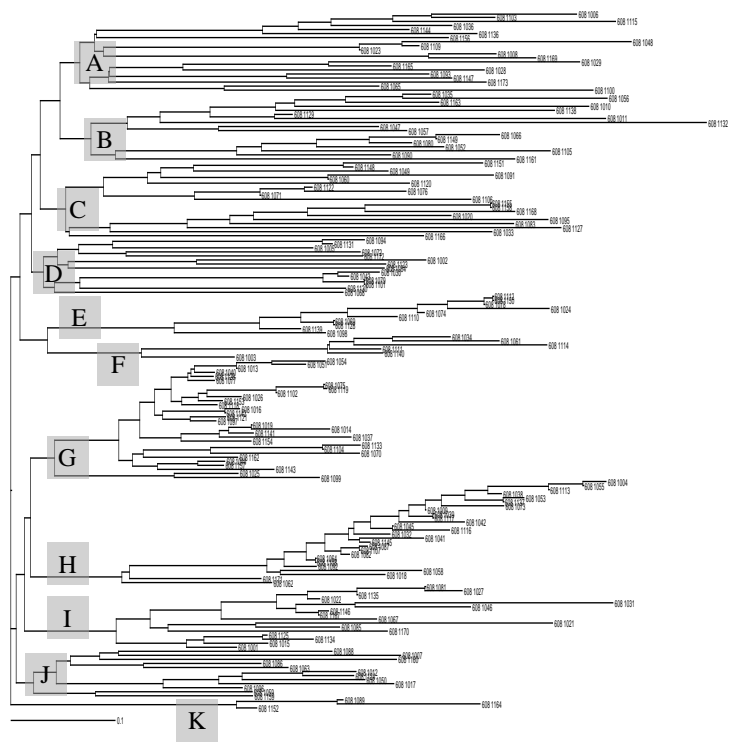


図 6.1 八王子市発着時空間行動の樹状図 (Phylogram)

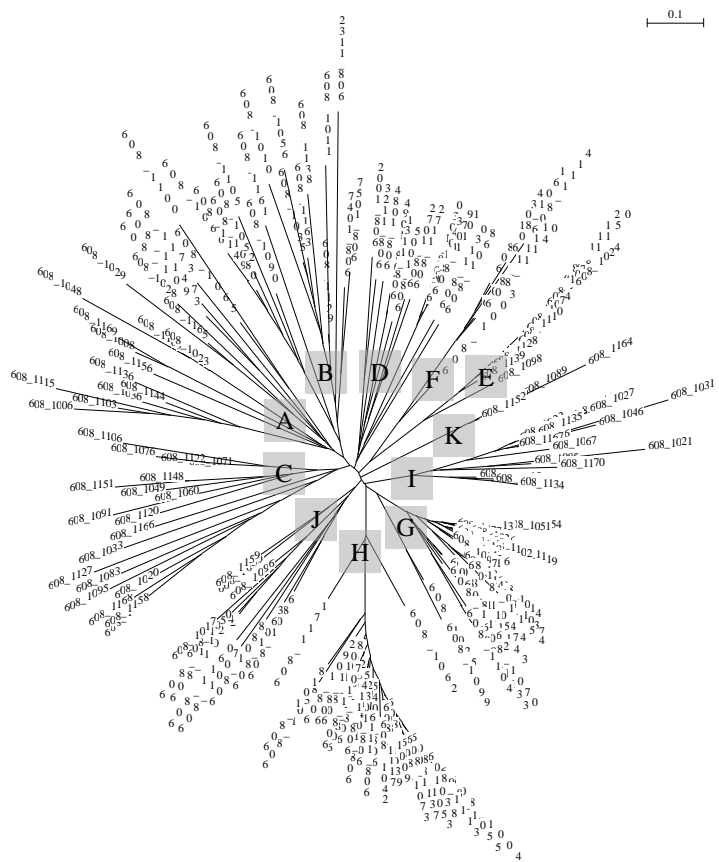


図 6.2 八王子市発着時空間行動の無根系統樹

表 6.5 各クラスターと時空間行動の特徴と目的地

クラスター		サ ン プ ル 数	特徴・目的地
大 分 類	小 分 類		
A	i	6	・八王子に戻る時間が遅い ・移動に時間がかかる目的地が集められたクラスター 主な目的地：港区
	ii	3	主な目的地：調布市,
	iii	2	主な目的地：三鷹市
	iv	3	主な目的地：江東区
	v	2	主な目的地：中央区
	vi	2	その他
B	i	10	・目的地の前後が非常に複雑 目的地：埼玉県
	ii	7	目的地：立川市
C	i	6	・類似度の高い他のサンプルが無いサンプルの集合
	ii	4	目的地：多摩市
	iii	9	・クラスターA よりも八王子に戻る時間が遅い 主な目的地：新宿区
D		14	・八王子市に戻る時刻が早い（19 時ごろ） 主な目的地：昭島市，福生市，瑞穂町，東大和市，武蔵野市
E		10	目的地：府中市
F		6	目的地：千代田区
G		30	・八王子市を中心に活動をするサンプルの集合
H		26	目的地：神奈川県
I		16	・滞在時間が短いサンプルも多数存在 目的地：日野市
J		12	・八王子市を離れる時刻が遅いサンプル， 八王子市に戻る時刻が早いサンプルの集合 主な目的地：新宿区，あきる野市
K		3	目的地：国分寺市

## 6.4 都市内での一日の活動をとらえた時空間行動データの類型化と分析

### 6.4.1 段階的な類型化

SAM を用いた時空間行動分析では、各パラメーターの設定や同時に投入するサンプル群の問題などから段階的に類型化を行っていくことが有効であると考えられる。そこで、前節での類型化の結果を活用し、更なる詳細な時空間行動の類型化と分析を試みる。前節で“八王子市を中心に活動するサン

プルの集合”として抽出したクラスターGの30サンプルについて、事前にアライメントから除外した八王子市から移動しない179サンプルと合わせて八王子市内での移動を中心とした時空間行動の類型化と分析を試みることにした。

#### 6.4.2 八王子市内の移動を表現するGPSデータの文字列化

八王子市内の移動を表す文字列を作成するため、八王子市内を分割し、それぞれの文字を割り当てることとした。対象となる209サンプルのGPSデータを地図上にプロットし、カーネル密度推定図を作成した。密度の高い地点が滞在する人が多く、それぞれに滞在の意味や目的がある地点であると解釈し、できるだけそれぞれの高密度地点が分かれるようにエリア分けを行うものとした。アライメントで扱う文字種の数、駅の立地などを考慮し、1kmメッシュから作成した2kmメッシュをそれぞれのエリアとして、文字を割り当てた(図6.3)。なお、今回はGPSデータが記録されていないメッシュは除外して分析を進める。メッシュの大きさと時間解像度の関係を考慮し、ここではGPSデータから文字列に置き換える単位時間を30分に再設定し、GPSデータを抽出、時空間行動を表す文字列の作成を行った。前節と同様に、単位時間である30分中に複数のログが存在する場合は、最も早い時刻のログを採用し、対象となるログが存在しない時間にはギャップを挿入した。前節では12ログ以上の記録があることをサンプル抽出の条件としていたが、単位時間を半分に再設定したため、本節では、文字列化の結果として有効なログが24に満たないサンプルと、同じメッシュから移動しないサンプルを除外し、110サンプルについて類型化と分析を試みた。



図 6.3 八王子市内の2kmメッシュ

(ArcGIS Data Collection スタンドアードパック 2015 広域地図 及び  
政府統計の総合窓口(e-Stat)<sup>[61]</sup>世界測地系1kmメッシュ から筆者作成)

### 6.4.3 類型化の結果と考察

アライメントの結果得られた樹状図を図 6.4 及び 6.5 に示す. 前節 3 項と同様に, マルチプルアライメントの出力値である distance 値に基づいて樹状図の枝をわけ, クラスタを得た. この類型化で得られた結果では, 類似度の高い集合ごとに非常に細分化されており, それぞれをクラスターとして解釈するものとした.

各クラスターでまとめたアライメント前の文字列 (別紙資料 6.2) から, それぞれのクラスターは活動の中心となるメッシュごとに分かれていると解釈することができた. 八王子市を発着地とする時空間行動のように, 朝に他のメッシュに移動し, 夜に出発メッシュに戻るといったような行動は一部を除いてみられなかった. 唯一, 同様な時空間行動として, メッシュ Hed を目的地とする活動をもつサンプルの集まりを確認することができた. Hed は八王子市の中心市街地である JR 八王子駅・京王八王子駅を含むメッシュで, 出発メッシュは Hdd (JR 西八王子駅付近) あるいは Hfc (JR 北八王子駅付近) といずれも住宅地が多く広がり, 通勤行動として十分に解釈できる. また, いずれのクラスターにも Hed への訪問を確認することができるなど, この時空間行動データから Hed は八王子市住民の活動の中心となっていることがうかがえる. 前節の八王子市発着の類型化で得られたクラスター G に属するサンプルは, それぞれ発着地となるメッシュを中心とするクラスターに含まれる結果となり, 時空間行動としての特徴を有した類型を得ることはできなかった. それぞれのサンプルが非常に少なかったためであると考えられ, サンプルを拡大することで特徴的な類型を得られる可能性は十分にある.

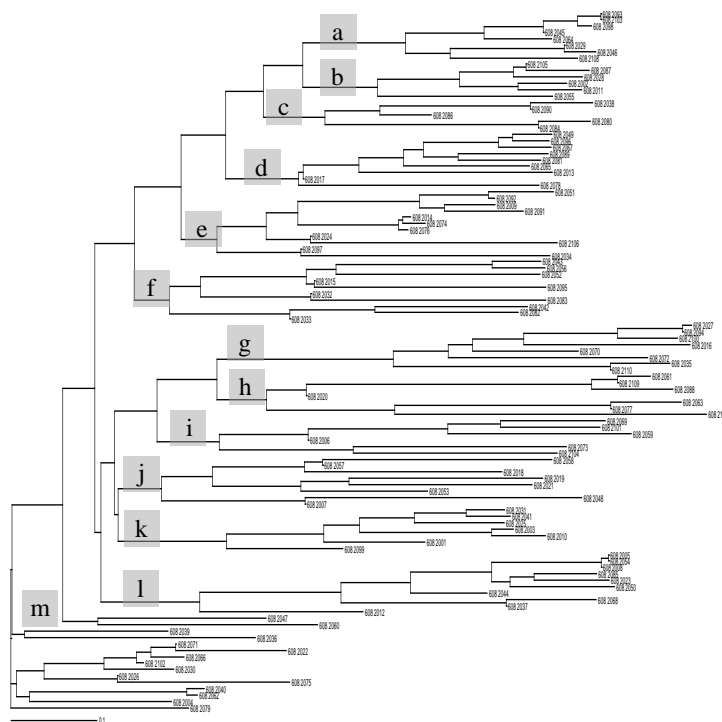


図 6.4 八王子市内の移動を中心とした移動行動の樹状図 (Phylogram)

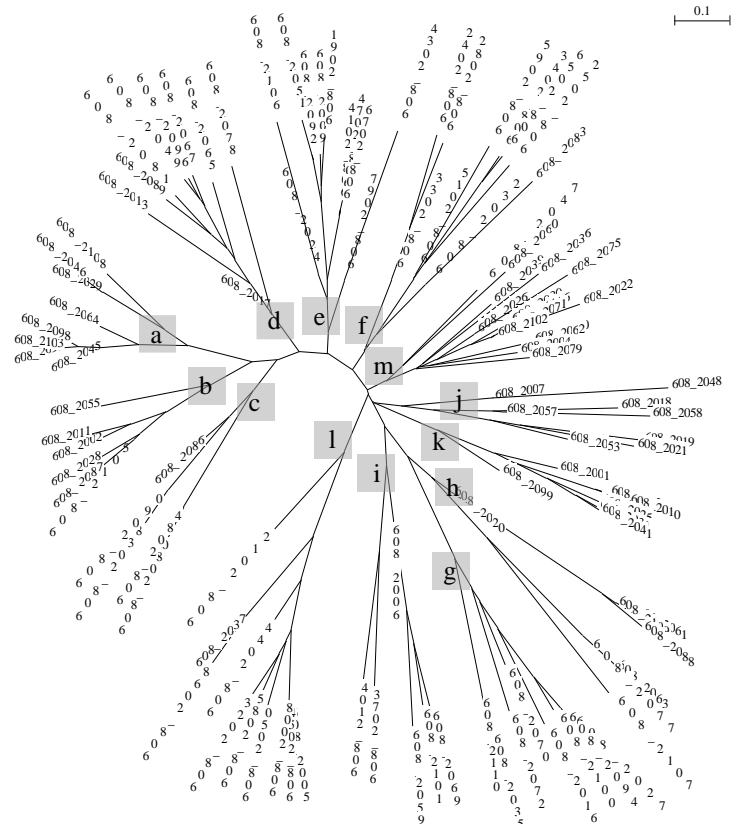


図 6.5 八王子市内を中心とした移動行動の無根系統樹

## 6.5 本章のまとめと考察

本章では、都市を含む広域的な範囲で日常的な活動を行う人々の時空間行動データに対して SAM を適用して検証を行った。携帯電話事業者関係会社提供の GPS データを用いて都市全体を含む広域的な時空間行動の類型化を試み、その有効性と課題点について検討を行った。

スマートフォンユーザーのデータ群から抽出した GPS データのうち、同一の行政単位を発着点とするサンプルの一日の広域的な移動行動に着目し、八王子市を発着点とするサンプルに対する類型化を行ったことで、通勤・通学行動による目的地の違いや、その前後の通過・立ち寄り地点、帰宅時間の違いによる特徴的な類型を得ることができた。この結果から、空間的な変化の類似度だけでなく、その時間的な変化・連続が定量的に評価され類型化されていることが示唆された。また、段階的な分析例として、広域的な類型化の結果得られた八王子市を中心として活動する類型に含まれるサンプルに加え、八王子市内のみを移動するサンプルを合わせて、八王子市内の時空間行動に着目して類型化を試みた。結果として、それぞれの活動の中心となるエリアごとに分けられた類型を得ることができた。また、その中でも通勤・通学行動の目的地となるエリアや八王子市内の活動の中心となるエリアを見出すことができた。

これらの結果をもとに、異なる日付に収集された時空間行動データに対し同様の分析を行い、類似するクラスターを抽出してサンプルをまとめ、新たに段階的な類型化を行っていくなど、類型化を行うデータサイズを増やしていくことについての試みを行っていく必要がある。あるいは、これらの段

階的な類型化や繰り返しについて、効率的な分析システムの構築やプログラムによる自動化などの議論へと発展させることで、都市を中心に大量に集積する時空間行動ビッグデータを用いて、都市の中で活動する人々の時空間行動を様々なスケールで類型化・分析していくことが可能になるであろう。

課題点としては、都市全体を含むような広域的な時空間行動の特徴に合わせた対象空間の分割方法を検討していく必要があると考えられる。限られた空間での時空間行動分析とは異なり、広範囲にわたる時空間行動ビッグデータ及び都市全体を含んだ時空間行動分析では、対象空間の分割を市区町村などの行政区分やメッシュデータなどを活用して決定する方法が基本となるであろう。しかし、第5章で示したように、空間の接続関係などから文字の一致・不一致の重み付けを行うことが時空間行動の類型化に有効であろうと考えられることから、これらの空間分割を出発点として、それぞれの時空間データや調査・分析の目的に合わせた段階的な空間分割方法を蓄積していく必要がある。

なお、本章の内容は、新大都市LP（代表：清水哲夫（観光），分担：伊藤）の成果の一部である。



## 第7章 結論

### 7.1 本研究の成果のまとめ

第1章では、地理情報科学の実世界を抽象化して表現した概念モデルに基づき「“空間”の中での変化」「“属性”情報の活用」「“時間”の中での変化」という3つの点に順に着目して、時空間行動データを扱う既存研究についてレビューした。その結果、時空間行動分析を取り巻く課題点として以下を指摘した。まず、時空間行動データからの具体的な行動内容推定を行う手法についての議論がなされていない点である。次に、時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行う手法についての議論が十分に進められていない。そして、その手法として期待できる配列アライメント手法を用いた時空間行動分析についても、その課題点は明確化されておらず、指摘されている課題点に対する取り組みがなされていない点である。そして、本研究の目的を以下の2点に定めた。

#### ◇時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法の可能性と有用性を示す

時空間行動データから得ることが可能である「移動速度などの情報」「位置の情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」についての情報を用いた具体的な行動内容の推定を試みる。

#### ◇配列アライメント手法を活用した時空間行動類型化手法の有用性を明確化する

時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行う手法として期待される配列アライメント手法について、

- ・時空間行動を分類し、類型化する際の課題点を明確化する
- ・そして、明確化した課題点について、何らかの対策を取る試みを行い、実際の時空間行動データに適用して検証を行う。

これによって、配列アライメント手法を活用した時空間行動の類型化手法を整備し、手法の有用性の明確化を図る。

この研究目的に従い、まず、時空間行動データからの具体的な行動内容推定を第2章で行った。次に、配列アライメント手法の概要と特徴、既存研究とそこで指摘されている課題点のまとめを第3章で、実際のGPSデータへの適用による配列アライメント手法を用いた時空間行動分析の課題点の明確化を続く第4章で行った。そして課題点に対する新たな手法の提案と、GPSデータへの適用と検証を第5章で行った。また既存研究では扱われていない都市全体を含む広域的な時空間行動データへの配列アライメント手法の適用と検証を第6章で行った。

第2章では、時空間行動データからの具体的な行動内容推定の可能性と有用性を示すべく、GPSデータからの具体的な観覧行動推定手法の提案と検証を行った。動物園での観覧行動については、ビデオカメラで記録した実際の観覧行動とGPSデータとを対応させ、GPSデータから得ることができる対象者の歩行速度、加速度、最も近い動物展示との距離とその変化量を説明変数としてロジスティック回帰モデルを用いることで、高い確率で各時刻において展示を観覧していたか否かを推定することが可能であることが示された。このような統計モデルを大量に収集可能なGPSデータへ適用することで大規模かつ継続可能な具体的な観覧行動の推定が可能になるであろうと考えられる。

第3章では、時空間行動における“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的に類型化を行う手法として有用であると考えられる配列アライメント手法について、その手法の特徴、既存研究と課題点についてまとめた。時空間行動分析に配列アライメント手法を適用する際の課題点としては、配列アライメント手法のアルゴリズムにおける、文字の一致・不一致スコアやギャップペナルティの設定手法が確立されていない点、時空間行動データを文字に置き換える単位時間と文字を設定する対象空間の分割の仕方から受ける影響について検討が必要である点、大量に収集される時空間行動データへの適用例がなく、課題点などが不明である点が挙げられた。

第4章では、第3章でまとめた課題点をふまえ、実際のGPSデータを用いた配列アライメント手法の適用による類型化と分析の試みを通し、いくつかの検討とそれによる課題点の明確化を行った。まず、エリアの分割に応じて適切に単位時間を設定し配列アライメント手法による類型化を行うことで、有益な結果を得ることができることを確認した。また、単位時間を変更することで、時空間行動の類型化についての異なるスケールに焦点を当てることが可能であることも示された。一方、この空間の分割と単位時間の設定により、時空間行動データを文字列化した際、実際の特徴的な時空間行動が再現されず、たとえば、ある一つのエリア内の一か所に留まっていた場合でも、そのエリア内を移動し続けていた場合でも同様に文字化されてしまうという問題が確認された。次に、配列アライメント手法においては、アライメントに同時に投入するサンプル群の設計が類型化の結果に大きく影響することを確認した。また、アライメントのパラメーターの一つであるギャップペナルティの設定の変更による類型化結果の比較を行った結果、訪れるエリアの組み合わせや順序が重要である場合は低く設定して、全体の傾向をとらえたうえで、分析を進めていくことが望ましいと考えられた。一方で、各対象での滞在時間の長短についても重要である場合は、ギャップペナルティを高く設定することで、局所的な一致を重視することが期待できることが示された。

第5章では、第4章で明らかとなった、ある一つのエリア内の一か所に留まっていた場合でも、そのエリア内を移動し続けていた場合でも同様に文字化されてしまうという問題点、及びあるエリアでの滞在が単位時間に満たない場合に文字列では表現されないという課題点に対応するべく、第3章での具体的な行動内容推定手法の検討結果もふまえ、対象者の状態を加味した類似度の算出と、エリアを表す文字の不一致スコアの重み付けによる新たな手法の提案と検証を行った。動物園来園者のGPSデータに対して、対象者の状態を“歩行速度”と“最も近い動物展示との距離”により定め、同じエリアに滞在していた場合にその状態により異なる類似度として算出されるようにした。さらに、隣接エリア同士の不一致と離れたエリア間の不一致とでスコアに差を設けることで類似度を重み付けした。その適用と検証の結果、空間遷移の連続のみを扱ったアライメントを行った場合とは異なり、対象者の状態により特徴づけられ、より実際の時空間行動に近づいた類型を得ることができた。各スコアの設定については詳細な検討を重ねていく必要性が課題点として挙げられた。また、この提案手法は観覧行動推定以外にも応用させていくことが可能だと指摘した。

第6章では、都市全体を含む広域的な範囲での日常的な活動を行う人々の時空間行動データに対しての配列アライメント手法の適用による類型化と分析について、スマートフォンユーザーのGPSデータを用いて検証と検討、課題点の指摘を行った。東京都市町村部に滞在歴があるスマートフォンユーザーの一日分のGPSデータのうち、八王子市を発着点とするサンプルを抽出し、通勤をはじめとする一日

の移動行動の類型化を行った。目的地の違いや、その前後の通過・立ち寄り地点、帰宅時間の違いによる特徴的な類型を得ることができた。また、段階的な類型化の例として、八王子市を中心として活動するクラスターに含まれたサンプルと八王子市外に出ないサンプルに対して、八王子市内での時空間行動に焦点を当てた類型化を試みた。これらの結果をもとに、異なる日付のデータを追加した類型化や、段階的な類型化を行うことで、都市の中で活動する人々の時空間行動を様々なスケールで類型化・分析していくことが可能になるであろうと結論付けた。

以上のように、時空間行動分析に関する課題点について、具体的な行動内容の推定と配列アライメント手法を用いた時空間行動の類型化手法について横断的な試みを示してきた。時空間行動データからの具体的な行動内容の推定と、配列アライメント手法による“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえた定量的な類型化手法を合わせることで、人々の実際の行動に則した時空間行動分析に近づけていくことができた。

## 7.2 考察

### 7.2.1 時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法についての考察

本研究では1つ目の研究目的に「時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法の可能性を示す」ことを挙げている。そこで、第2章では、GPSデータからの観覧行動推定を行った。動物園での観覧行動では、GPSデータから得ることができる対象者の歩行速度、加速度、最も近い動物展示との距離とその変化量から「観覧していたか否か」を推定できるという結論に至った。まず、時空間行動データから具体的な行動内容を推定することは可能であるということが言える。

そしてこの研究目的に対応する既存研究の課題点は、以下の2点であった。

- ・時空間行動データからの具体的な行動内容推定を行う手法についての議論がなされていない
- ・「移動速度などの情報」「位置の情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」とを合わせた具体的な行動内容推定の試みが行われていない

本研究の行動推定で説明変数として用いた、対象者の歩行速度、加速度、最も近い動物展示との距離とその変化量は、全てGPSデータから得られる値である。これらを用いて「具体的な行動内容」の一つである観覧行動が推定可能であることが示されたことで、時空間行動データから具体的な行動内容を推定する手法についての議論は一つ進められたことになる。

本研究では、「移動速度などの情報」として歩行速度と加速度が、「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」として最も近い動物展示との距離とその変化量が実際に推定に採用されたことになる。

歩行速度と加速度は、観覧を行う対象者の身体的な活動状態を表す指標であると考えられる。また、最も近い展示との距離とその変化量は、観覧する対象者と観覧対象物との関係性を物理的な距離によって表した指標である。人々の様々な「具体的な行動内容」のうち、身体的な活動状態と周囲の地物との物理的な関係性とで定まる行動であれば、時空間行動データからの推定を行うことが可能であろうと考えられる。

一方で、「位置の情報」そのものは今回の推定には組み込まれていない。しかし、時空間行動データと、それから推定される具体的な行動内容の情報とを蓄積していくことで、それぞれの「位置」がもつ具体的な行動内容との関係性を明らかにしていくことも可能であると考えられる。たとえば、動物園での観覧行動であれば、どの箇所ですべて実際に観覧していたかという情報を多くの来園者の時空間行動データを用いて蓄積し、分析することで、動物展示周辺の各箇所での観覧が行われる確率を求めることができる。その情報を実際の観覧行動推定に用いることで、より判別精度を高めた観覧行動推定が可能になると期待できる。

また、「具体的な行動内容」の時系列を考慮して分析していくことも有用な視点であると考えられる。今回の推定では、観覧を行う各時点に着目し、その前後の時点との関係を考慮した説明変数を用いているものの、観覧行動の部分的あるいは全体的な時系列を考慮してはいない。しかし、具体的な行動内容の時系列を考慮することは、行動推定には有用であると考えられる。たとえば相ほか (2016) <sup>[62]</sup>は、GPS データを用いて歩行速度変化の時系列を考慮することで散策行動の判定を行っている。動物園での観覧行動を鑑みれば、「動物展示に近づいていくとき」「動物展示に沿って移動するとき」「動物展示から離れていく時」の3段階に観覧行動を分けて考え、それぞれの中での観覧行動や歩行速度の時系列的な変化に着目していくことで、より高い精度の観覧行動が可能になると考えられる。

しかし、これらを実現するためには、時空間行動データの精度が手法発展の障害になりえる。時空間行動の詳細な時系列を考慮した分析には、GPS データなどの測位精度の誤差は大きな影響を及ぼす可能性がある。本研究で用いた GPS ロガーは概ね誤差 3m 以内程度の測位精度を有しているが (注 2.1)、動物展示との距離の時系列的な変化を詳細に追っていくには不十分であると考えられる。そこで第 1 章で示したように、今後の準天頂衛星システムの整備によって高精度の時空間行動データが取得できるようになると、この障害が軽減されることが期待できる。高精度時空間行動データ取得の社会基盤整備が、今後の時空間行動データからの行動推定に大きな良い影響を及ぼすことが予想される。

また、時空間行動データの時系列に着目して具体的な行動内容の推定を行う場合に、膨大な正解データが必要になると考えられる。仮に、観覧行動を「動物展示に近づいていくとき」「動物展示に沿って移動するとき」「動物展示から離れていく時」の3段階に分けたとしても、それぞれの段階において、様々な観覧行動パターンに応じて、様々な歩行速度の変化パターンや展示との距離の変化のパターンが存在すると考えられる。これらを「観覧していたか否か」という正解データとともに蓄積していく必要があり、その量は膨大になると考えられる。一方で、本研究で提案した手法による適用結果では、少人数の対象者についての GPS ロガーによる位置の情報とビデオカメラによる観覧行動記録とを用いて推定したモデルを、多くの人々の GPS データに適用することで「観覧していたか否か」という観覧行動推定が可能となることを示しており、調査・分析に必要な費用対効果の面でメリットがあると言える。

## 7.2.2 配列アライメント手法を活用した時空間行動類型化についての考察

本研究では、2つ目の目的に配列アライメント手法を活用した時空間行動類型化手法の有用性の明確化を挙げている。この目的に対応する既存研究の課題点は以下の2点であった。

- ・時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行う手法についての議論が十分に進められていない
- ・その手法として期待される配列アライメント手法の活用した時空間行動分析について、課題点の明確化がされておらず、また既に指摘されている課題点についても対策を取る試みが行われていない

そこでまず、配列アライメント手法を活用した時空間行動分析について、既存研究のまとめ、課題点の明確化、課題点に対処する手法提案、まだ試みられていない時空間行動への適用に順番に取り組んできた。次に、配列アライメント手法の概要と特徴をまとめ、実際の GPS データへの適用を通し、時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえて類似度を算出できることを示した。そして、具体的な観覧行動の推定結果をふまえ、動物園での対象者の“観覧状態”を「歩行速度」と「動物展示との距離」から算出し、類似度算出過程に取り入れ、さらに文字の不一致スコアというパラメータを変化させることで、より実際の時空間行動に近づいた類型を得ることができた。既存研究で用いられた空間遷移の類似による類型化に加え、対象者の状態とその変化も加味した類型が得られるようになったことは、手法として活用の幅を広げる大きな進歩である。

配列アライメント手法を用いて適切な時空間行動分析を行うために最も重要な点は、人々の時空間行動のどの部分に共通点を見出そうとしているのか、あるいは見出すことができるのかを慎重に判断することである。本研究で扱った配列アライメント手法を用いた時空間行動分析においては、時空間行動データを文字列化するために、対象となる空間を複数のエリアに分割してそれぞれのエリアに文字を割り当て、単位時間ごとに滞在エリアを表す文字に時空間行動データを置き換え、順に並べている。この空間の分割の仕方と単位時間の設定を変更することで、様々なスケールや焦点を以てして人々の時空間行動を分析することができることはこの手法の優れた特徴の一つであり、第4章で示したように、これらを適切に設定することで有益な分析結果を得ることができる。

しかし、これらの設定を誤れば人々の時空間行動の共通点を見出すことは難しくなる。たとえば動物園での観覧行動を分析する際、園内全体での時空間行動を分析する場合には、本研究の第4～6章での空間分割のように数十 m サイズでエリアを分割する手法が有用である。一方、ある特定の展示周辺での行動を分析する場合には、その展示の大きさに合わせ数 m サイズのエリアに分けていくことが適切であろうと考えられる。これは、単位時間についても同様で、数 m サイズのエリアを行き来する時空間行動を対象とする場合には、それに応じて単位時間を短く設定する必要がある。逆に、本研究の第6章で提案した対象者の“状態”を加味した分析を行う際には、その“状態”が変化するスパンに合わせて単位時間を設定し、空間分割を適切に設定する方法も有用であろうと考えられる。

人々の時空間行動のどの部分に共通点を見出そうとしているのかを慎重に判断して、空間の分割と単位時間の設定が適切に行われていなければ、ギャップペナルティの設定に応じて適切に類型を得ることは期待できない。たとえば、ギャップペナルティを大きな値に設定して、局所的に文字の連続が一致している箇所を見出そうとしても、適切に時空間行動が文字列化されていなければ、その局所的な文字の連続が表す時空間行動を解釈することができず、有益な結果を得ることは期待できない。

また、対象空間を分割して各エリアを設定し文字を割り当てる手法では、詳細な移動から広域的な移動までの全てを一括して評価することは難しい。人々の時空間行動のどの部分の共通点を見出すかに応

じて、広域的な類型化から詳細な時空間行動に着目した類型化まで、段階的に類型化を行っていくことが有用であると結論付けた。

以上のように、本研究で扱った手法を用いて適切に分析を行っていくためには、人々の時空間行動のどの部分に着目して特徴をとらえ、類型化を行いたいのかを強く意識し、慎重に判断することが重要となる。

### 7.2.3 本研究での成果の意義

#### ■時空間行動データからの具体的な行動内容推定について

これまでの人々の時空間行動の推定では行われていなかった、GPS データから得ることが可能な「移動速度などの情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」についての情報を用いて人々の具体的な行動内容の推定手法の提案と検証を通し、時空間行動データからの具体的な行動内容を推定する手法の可能性と有用性を示すことができた。本研究の提案手法によって推定された統計モデルを、多くの人々から収集した GPS データに適用することで大規模な観覧行動調査を行うことが可能になる。個々人の行動を行動観察調査などによって記録するよりも、大幅に低コストで大規模に行動調査が可能になる点は非常に有用であると言える。提案した手法のように、時空間行動データから人々の具体的な行動内容を推定する手法を発展させ、実社会で活用していくことができれば、様々に社会への影響をもたらすであろう。

たとえば、より詳細に、あるいは様々な状況で“観る”行動を推定できるようになれば、動物園などの観覧施設での分析に限らず、街や商業施設における広告効果の推定や、建築物のデザイン・緑環境などによる“観る”行動への影響の分析を通した都市や観光地などの包括的な分析など、様々に展開させていくことができる。GPS データの歩行速度の活用に限らず、スマートフォンやウェアラブル端末により収集される行動データの活用がこれには必要であろう。

本研究で提案した具体的な行動内容を推定する手法は、GPS データと観覧行動に対してのみでしか適用と検証を行っていない。様々な時空間行動データと具体的な行動内容の推定への適用と検証を行っていくことで、本研究の意義をより明確にしていくことができると考える。

#### ■配列アライメント手法を活用した時空間行動分析について

本研究での成果から、配列アライメント手法を用いた時空間行動の類型化手法の整備が進み、また、分析手法としての有用性がより明確化された。

空間分割と単位時間の設定については、既存研究で重要な検討事項の一つとして挙げられていたが、実際にこれらを変更がどのように分析結果に影響するのことは示されていなかった。単位時間の設定によって類型化の結果が異なることや、空間の遷移や特徴的な時空間行動が正しく文字列に反映されない問題が生じることを明らかとしたことは重要な点である。またこの問題の影響を軽減する手法の提案を行ったことは、手法の整備という点で大きな意義がある。

同様に既存研究で重要な検討事項の一つとして挙げられているギャップペナルティを段階的に変更し、類型化の結果を比較することで時空間行動の類型化に対する影響を検討したことも重要な成果であ

る。適切に時空間行動データが文字列化されていることが前提となるが、ギャップペナルティを小さくすることで時空間行動全体の類似を、ギャップペナルティを大きくすることで局所的な一致が重視された類型を得ることが期待できる点は、分析全体を設計するうえで有用な情報である。

“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえた時空間行動の類型化は、観光ルートや商業施設内での移動ルートの分析による施設配置整備、鉄道駅とスポーツ競技場などの大規模集客施設とを含む空間での行動分析による混雑緩和や利便性を向上させるための整備などに活用することができる。また、広域的な行動を継続して分析することにより、施設再配置や道路整備などによる影響を考察することもできるであろう。また、このような類型化手法の発展により、時空間行動データから具体的な行動内容を推定する手法を適用する対象者を明確にすることができ、その推定精度の向上が期待できる。

### 7.3 今後の課題と展望

#### ■具体的な行動内容推定に関する課題点

観覧行動推定についての今後の課題点は、2.4 で示したように、「観覧していたか否か」の記録の厳密性の検証、データの独立性の検証、対象者と周囲の地物との関係で定まる説明変数の値についての検討が挙げられる。

また、前節で示したように、時空間行動の時系列を考慮した推定は、データの独立性の検証とともに重要な課題点であると考えられる。この手法を汎用性のあるものとし、様々な観覧行動分析に応用するためには、以上の点について慎重な検証と検討を行うことが重要となる。

#### ■配列アライメント手法を活用した時空間行動分析に関する課題点

今後の課題点として、3.3.1 で指摘したように、時空間行動分析を行ううえでの、配列アライメント手法の各パラメーターの設定手法は本研究においてもその全てを確立できてはいない。4.5 で部分的な検証として最も重要なパラメーターの一つであるギャップペナルティについて検証を行ったが、その他についてはまだ多くの検証を残している。第5章において、文字の一致・不一致のスコアを相対的に変化させることで類似度の重み付けを行う手法を用いている。しかし、実際に文字が一致した場合、不一致だった場合の文字の組み合わせごとにスコアを適切に設定していく手法については、様々な試みによって知見を蓄積していく必要があるであろう。さらにこのスコアの設定に合わせて、ギャップペナルティの設定についても再検討する必要がある。

また、時空間行動データを置き換えた文字列が長い場合や、一度にアライメントを行うサンプル数が多い場合に、動的計画法を用いた類似度算出アライメントの計算過程が複雑になり、その計算過程や計算結果を詳細に確認することが難しいことも問題点として挙げられる。これは、類型化の結果や各パラメーター設定の妥当性を考察するうえで障害となる。計算過程や結果を詳細に確認できなければ、詳細な検討を行わないまま、成果として取り上げることを助長する可能性があり、大きな問題となり得る。この点については、今後慎重な検討が必要となる。本研究では、SAM を実際に行うアプリケーションとして累進法を用いた ClustalTXY 及び ClustalG を使用しているが、累進法以外の様々な SAM のアルゴリズムを時空間行動分析へ活用することも有益な試みであろうと考えられる。

## 7.4 結語

本研究では、まず GPS データを用いた観覧行動推定手法の提案と検証を通して、時空間行動データから得ることが可能な「移動速度などの情報」「位置の情報から導かれる周囲の地物との定量的な関係性」などの情報を用いて具体的な行動内容が推定可能であることを示した。また、時空間行動の“空間”と“時間”の変化の両面を包括的にとらえ、定量的な類似度算出と分類を行うことが可能な配列アライメント手法の課題点の明確化と改善の試みを行った。時空間行動のどの部分に共通点を見出そうとしているのかを慎重に判断して、空間の分割と単位時間、ギャップペナルティの設定を行うことが重要であることを示した。また、対象者の歩行速度や周囲の地物との関係を行動の“状態”として配列アライメント手法の類似度算出に組み込むことで、実際の時空間行動の特徴を的確に表現できる類型を得ることが可能となった。



## 参 考 文 献

- [1] 矢部直人・有馬貴之・岡村祐・角野貴信 (2010) GPS を用いた観光行動調査の課題と分析手法の検討. 観光科学研究, 3, 17-30.
- [2] 井坪慎二・羽藤英二・中嶋康博 (2005) 情報技術の活用による交通行動調査の効率化・高度化に関する研究. 土木計画学研究・講演集, (31), 212 (CD-ROM).
- [3] 株式会社 Agoop <<https://www.agoop.co.jp/>> (2017年12月6日アクセス)
- [4] 株式会社ドコモ・インサイトマーケティング, モバイル空間統計  
<[http://www.dcm-im.com/service/area\\_marketing/mobile\\_spatial\\_statistics/](http://www.dcm-im.com/service/area_marketing/mobile_spatial_statistics/)> (2017年12月6日アクセス)
- [5] 株式会社サーベイリサーチセンター <<https://www.surece.co.jp/>> (2017年12月6日アクセス)
- [6] 中谷友樹・谷村晋・二瓶直子・堀越洋一 (2004) 保健医療のための GIS. 古今書院, 23-34.
- [7] 観光庁 HP, 観光ビッグデータを活用した観光振興／GPS を利用した観光行動の調査分析  
<<http://www.mlit.go.jp/kankocho/shisaku/kankochi/gps.html>> (2017年12月6日アクセス)
- [8] 関本義秀・柴崎亮介 (2011) 携帯電話を活用した人々の流動解析技術の潮流. 情報処理, 52(12), 1522-1530.
- [9] 関本義秀 (2013) 人の流動と時空間データセット最前線. オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, 58(1), 24-29.
- [10] 電子政府の総合窓口 e-Gov, 地理空間情報活用推進基本法  
<[http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws\\_search/lsg0500/detail?lawId=419AC1000000063&openErCode=1](http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=419AC1000000063&openErCode=1)> (2017年12月6日アクセス)
- [11] G 空間 EXPO2016 地理情報科学で未来をつくる, G 空間社会って, なに?  
<<http://g-expo.jp/2016/gspace/>> (2017年12月6日アクセス)
- [12] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局, みちびき (準天頂衛星システム) GPS と一体運用可能なみちびきで位置情報を高精度測位 <<http://qzss.go.jp/>> (2017年12月6日アクセス)
- [13] インフォメーションバンクコンソーシアム <<http://www.information-bank.net/index.html>> (2017年12月6日アクセス).
- [14] 井上亮・塚原元英 (2016) 時空間上の近傍関係に基づく滞在の符号化を利用した移動履歴分類の提案. 地理情報システム学会講演論文集, 25, E-6-2 (CD-ROM).
- [15] 岡部篤行 (2015) 地理情報科学. 『地理情報科学—GIS スタンダード—』(浅見泰司・矢野桂司・貞広幸雄・湯田ミノリ編), 古今書院, 1-7.
- [16] 相尚寿・岡部篤行・貞広幸雄・太田守重 (2008) 時空間解析における基礎概念と解析事例の体系的整理手法, GIS 理論と応用, 16(2), 89-98.
- [17] 岡部篤行 (2001) 『空間情報科学の挑戦』, 岩波科学ライブラリー.
- [18] Nagao, M., Kawamura, H., Yamamoto, M., and Ohuchi, A. (2004) Acquisition of personal tourism activity information based on GPS log mining method. In Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 37, 1-37.
- [19] 有馬貴之 (2010) 動物園来園者の空間利用とその特性—上野動物園と多摩動物公園の比較—. 地理学評論, 83, 353-374.

- [20] 佐藤貴大・円山琢也 (2015) スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析. 都市計画論文集, 50(3), 345-351.
- [21] 野村幸子・岸本達也 (2006) GPS・GIS を用いた鎌倉市における観光客の歩行行動調査とアクティビティの分析(第 4 部 学術論文, 情報化の視点からみた建築・都市のフロンティア). 総合論文誌, (4), 72-77.
- [22] 杉本興運・岡野祐弥・菊地俊夫 (2013) レンタサイクル利用による観光回遊行動の実—長野県安曇野市における GPS・GIS 支援による調査とデータ解析—. 観光研究, 24(2), 15-27.
- [23] 古谷知之 (2006) 携帯型位置情報端末を用いた観光行動動態の時空間データマイニング. 都市計画論文集, 41, 1-6.
- [24] Thornton, P. R., Williams, A. M., and Shaw, G. (1997) Revisiting Time—Space Diaries: An Exploratory Case Study of Tourist Behaviour in Cornwall, England. *Environment and Planning A*, 29(10), 1847-1867.
- [25] 松波晴人 (2013) 中国人観光客の行動視察 - 実態とインサイトに基づく「提供すべき価値とは」 -, サービス学会第 1 回国内大会講演会論文集, PDF.
- [26] 勝田悦子・内山彰・山口弘純・東野輝夫 (2011) GPS 受信状態を用いた屋内外判定法. 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), 2011(18), 1-8.
- [27] 矢部直人・有馬貴之・岡村祐・角野貴信 (2009) 上野動物園における GPS を用いた来園者行動の分析. 日本観光研究学会第 24 回全国大会論文集, 229-232.
- [28] 川瀬純也・岡野雄気・神田八枝・窪村麻里子・小池拓矢・真栄田晃・倉田陽平・矢部直人 (2011) GPS を用いた来園者行動調査とその課題 - 多摩動物公園での調査から -, 第 8 回観光情報学会全国大会発表概要集, 16-17.
- [29] 藤澤将貴・杉村博・高見澤聖子・松本一教 (2013) データマイニング手法によるセンサーデータからの行動推定. 研究報告コンシューマ・デバイス & システム (CDS), 2013(30), 1-5
- [30] 鈴木彩香・阿部亨・菅沼拓夫 (2013) 小型携帯端末による複数センサを用いた行動推定手法の検討. 第 75 回全国大会講演論文集, 53-54.
- [31] 福山祥代・羽藤英二 (2016) 確率的活動領域に着目した歩行者の速度・角度選択問題, 都市計画論文集, 51(3), 688-694.
- [32] 長尾光悦・川村秀憲・山本雅人・大内東 (2004) 観光動態情報の獲得を意図した GPS ログデータマイニング. 情報処理学会研究報告知能と複雑系 (ICS), 2004-ICS-135(2), 7-12.
- [33] Hägerstrand, T. (1970) What about people in regional science?. *Papers in regional science*, 24(1), 7-24.
- [34] Asakura, Y., and Iryo, T. (2007) Analysis of tourist behaviour based on the tracking data collected using a mobile communication instrument. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(7), 684-690.
- [35] Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G. (2012) *Pattern classification*. New York, John Wiley & Sons, 538-542.
- [36] Berndt, D. J. and Clifford, J. (1994) Using dynamic time warping to find patterns in time series. In *KDD workshop*, 10(16), 359-370.
- [37] 神田崇行・塩見昌裕・野村竜也・石黒浩・萩田紀博 (2008) RFID タグを用いた科学館来館者の移動軌跡の分析. 情報処理学会論文誌, 49(5), 1727-1742.

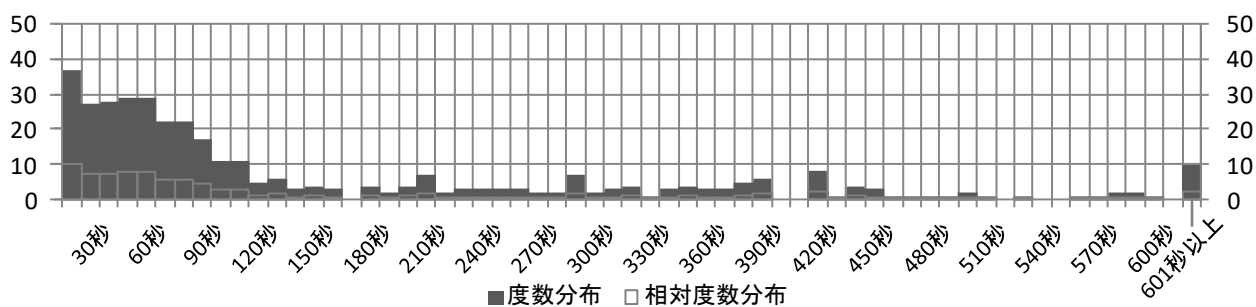
- [38] Long, J. A. and Nelson, T. A. (2013) A review of quantitative methods for movement data. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(2), 292-318.
- [39] Bargeman, B., Joh, C. H. and Timmermans, H. (2002) Vacation behavior using a sequence alignment method. *Annals of Tourism Research*, 29(2), 320-337.
- [40] Shoval, N. and Isaacson, M. (2007) Sequence alignment as a method for human activity analysis in space and time. *Annals of the Association of American geographers*, 97(2), 282-297.
- [41] 荒井修 (1992) GPS のドップラ効果による速度計測について. *航海*, 113, 39-45.
- [42] Kaplan, E.D., and Hegarty, C.J. ed. (2005) *Understanding GPS: principles and applications*. Norwood, MA: Artech house.
- [43] Dobson, A. J. 著, 田中豊・森川敏彦・山中竹春・富田訳 (2008) 一般化線形モデル入門. 共立出版, 227-252.
- [44] 深澤圭太・石濱史子・小熊宏之・武田知己・田中信行・竹中明夫 (2009) 条件付自己回帰モデルによる空間自己相関を考慮した生物の分布データ解析 (< 特集 2> 始めよう! ベイズ推定によるデータ解析). *日本生態学会誌*, 59(2), 171-186.
- [45] 丹後俊郎・山岡和枝・高木晴良 (2013) 新版ロジスティック回帰分析—SAS を利用した統計解析の実際, 朝倉書店, 48-51.
- [46] Lesk, A. (2013) *Introduction to bioinformatics*. Oxford University Press, 254-265.
- [47] マウント, D. W. 著, 岡崎康司・坊農秀雅監訳 (2005) *バイオインフォマティクス第2版 ゲノム配列から機能解析へ*. *メディカル・サイエンス・インターナショナル*, 62-108 及び 262-300.
- [48] Rosenberg, M. S. ed. (2009) *Sequence alignment: methods, models, concepts, and strategies*. University of California Press, 1-22.
- [49] Wilson, W. C. (1998) Activity pattern analysis by means of sequence-alignment methods. *Environment and Planning A*, 30(6), 1017-1038.
- [50] Wilson, C., Harvey, A., and Thompson, J. (1999) ClustalG: Software for analysis of activities and sequential events. In *IATUR Conference Proceedings*.
- [51] Wilson, C. (2008) Activity patterns in space and time: calculating representative Hagerstrand trajectories. *Transportation*, 35(4), 485-499.
- [52] Lee, H. J., and Joh, C. H. (2010) Tourism behaviour in Seoul: An analysis of tourism activity sequence using multidimensional sequence alignments. *Tourism Geographies*, 12(4), 487-504.
- [53] Shoval, N., McKercher, B., Birenboim, A. and Ng, E. (2015) The application of a sequence alignment method to the creation of typologies of tourist activity in time and space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 42(1), 76-94.
- [54] 原辰徳・矢部直人・青山和浩・倉田陽平・村山慶太・大泉和也・嶋田敏 (2012) サービス工学は観光立国に貢献できるか? —GPS ロガーを用いた訪日旅行者の行動調査とその活かし方. *デジタルプラクティス*, 3(4), 262-271.
- [55] Delafontaine, M., Versichele, M., Neutens, T. and Van de Weghe, N. (2012) Analysing spatiotemporal sequences in Bluetooth tracking data. *Applied Geography*, 34, 659-668.

- [56] 矢部直人 (2010) GPS データに対する配列解析の援用. 地理情報システム学会講演論文集, 19, 181-190.
- [57] マウント, D. W. 著, 岡崎康司・坊農秀雅監訳 (2005) バイオインフォマティクス第2版 ゲノム配列から機能解析へ. メディカル・サイエンス・インターナショナル, 76.
- [58] Wilson, C. (2006) Reliability of sequence-alignment analysis of social processes: Monte Carlo tests of ClustalG software. *Environment and Planning A*, 38(1), 187-204.
- [59] Shoval, N. and Isaacson, M. (2009) *Tourist mobility and advanced tracking technologies*, London, Routledge, 104-138.
- [60] Thompson, J.D., Gibson, T.J., Plewniak, F., Jeanmougin, F. and Higgins, D.G. (1997) The ClustalX windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Research*, 24, 4876-4882.
- [61] Thompson, J.D., Higgins, D.G. and Gibson, T.J. (1994) CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, positions-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22, 4673-4680.
- [62] Saitou, N., and Nei, M. (1987) The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular biology and evolution*, 4(4), 406-425.
- [63] マウント, D. W. 著, 岡崎康司・坊農秀雅監訳 (2005) バイオインフォマティクス第2版 ゲノム配列から機能解析へ. メディカル・サイエンス・インターナショナル, .
- [64] Waterman, M. S. (1995). *Introduction to computational biology: maps, sequences and genomes*, London, CRC Press, 184-232.
- [65] Needleman, S. B., and Wunsch, C. D. (1970) A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins. *Journal of molecular biology*, 48(3), 443-453.
- [66] マウント, D. W. 著, 岡崎康司・坊農秀雅監訳 (2005) バイオインフォマティクス第2版 ゲノム配列から機能解析へ. メディカル・サイエンス・インターナショナル, 66.
- [67] 佐田達典 (2003) GPS 測量技術. オーム社, 32-33 及び 155.
- [68] 佐田達典・江上翔悟・村山盛行 (2008) RTK-GPS による移動体測位の特性に関する基礎的研究. 土木情報システム論文集, 17(0), 195-202.
- [69] Dekking, F. M. (2005) *A Modern Introduction to Probability and Statistics: Understanding why and how*. Berlin, Springer Science & Business Media, 234-237.
- [60] Thompson-Maaloum, J. and Wilson, C. (2005) CLUSTALG Multiple Sequence Alignment Program: A Hand Worked Example. PDF.
- [61] 政府統計の総合窓口(e-Stat) 〈<https://www.e-stat.go.jp/>〉 (2017年11月23日アクセス)
- [62] 相尚寿・直井岳人・倉田陽平・田中昂助 (2016) GPS ログを用いた歩行散策行動の自動判別 : 歩行速度の個人差を考慮した判別ルール修正, 観光科学研究, 9, 75-82.

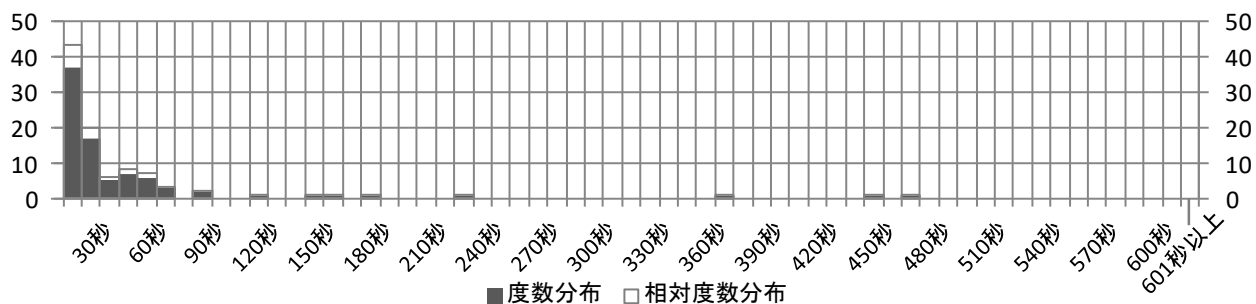
## 別紙資料目次

別紙資料 4.1	各エリアでの滞在時間の度数分布図 .....	102
別紙資料 6.1	八王子市発着時空間行動のクラスター別アライメント前の文字列 .....	110
別紙資料 6.2	八王子市を中心としたクラスター別アライメント前の文字列 .....	117

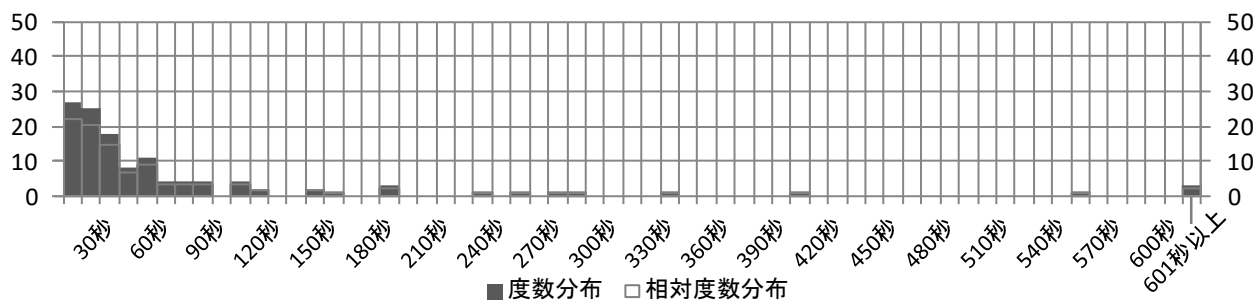
別紙資料 4.1 各エリアでの滞在時間の度数分布図



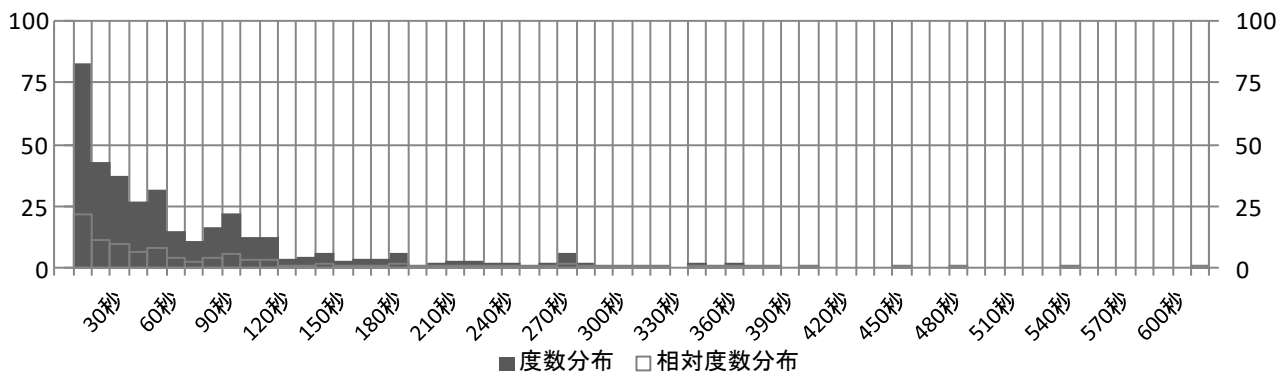
Ea エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 371 回)



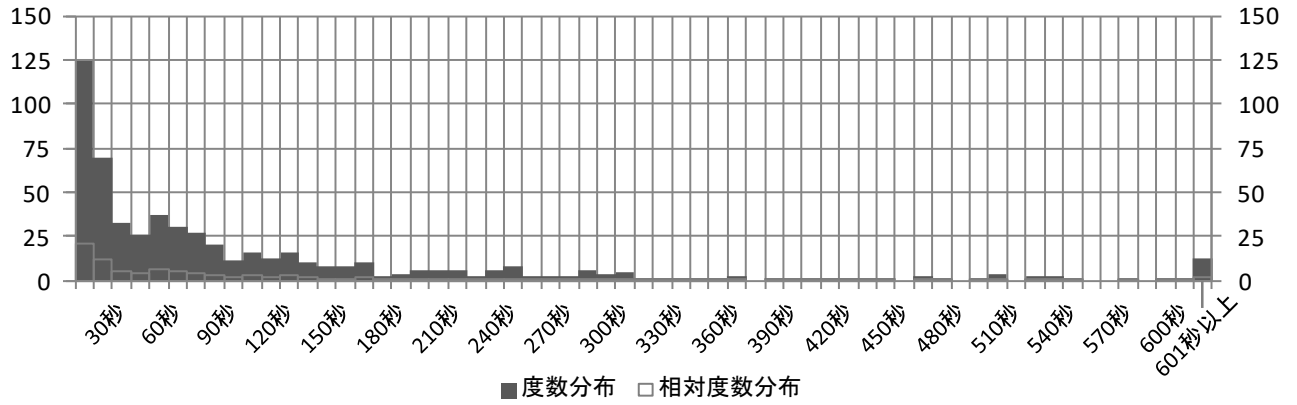
Eb エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 85 回)



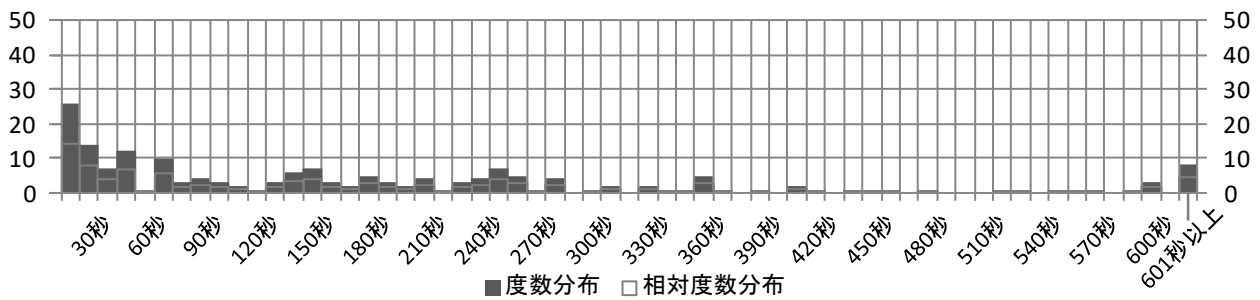
Ec エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 123 回)



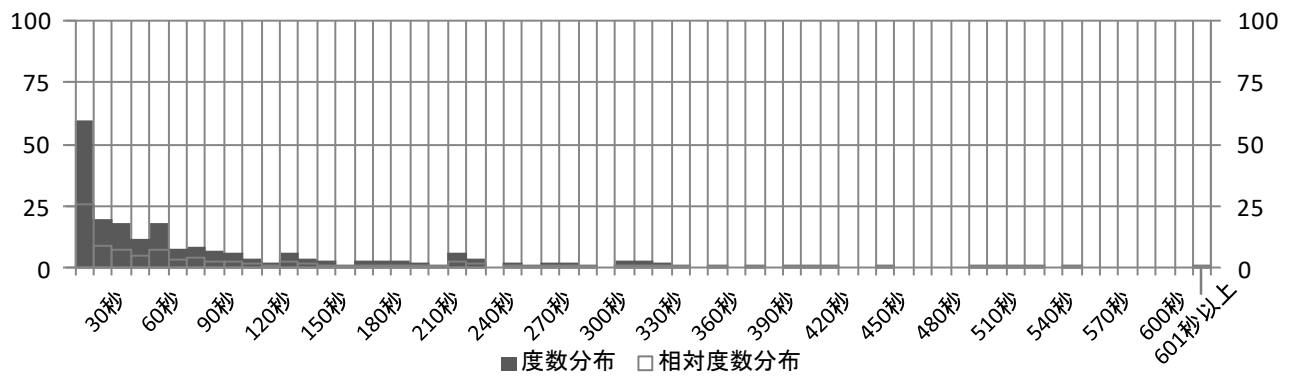
Ed エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 385 回)



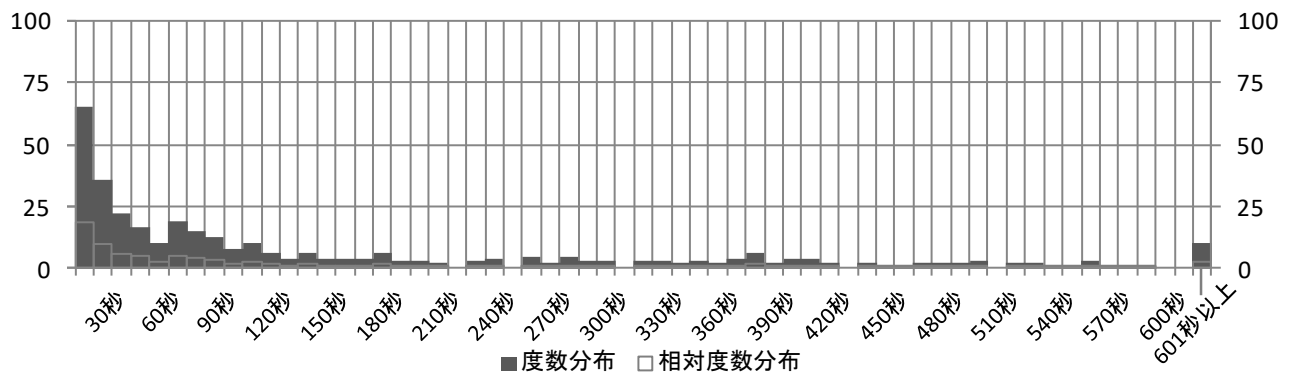
Ee エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 581 回)



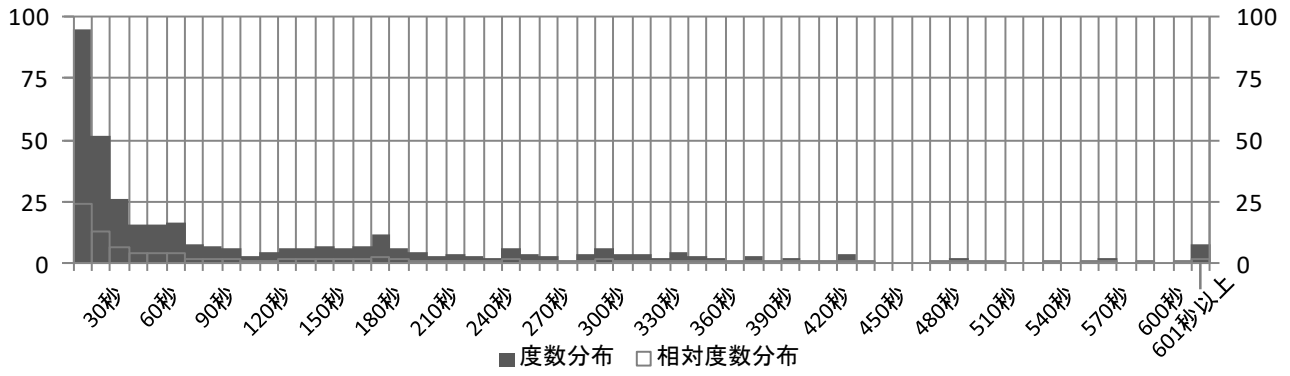
Ef エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 181 回)



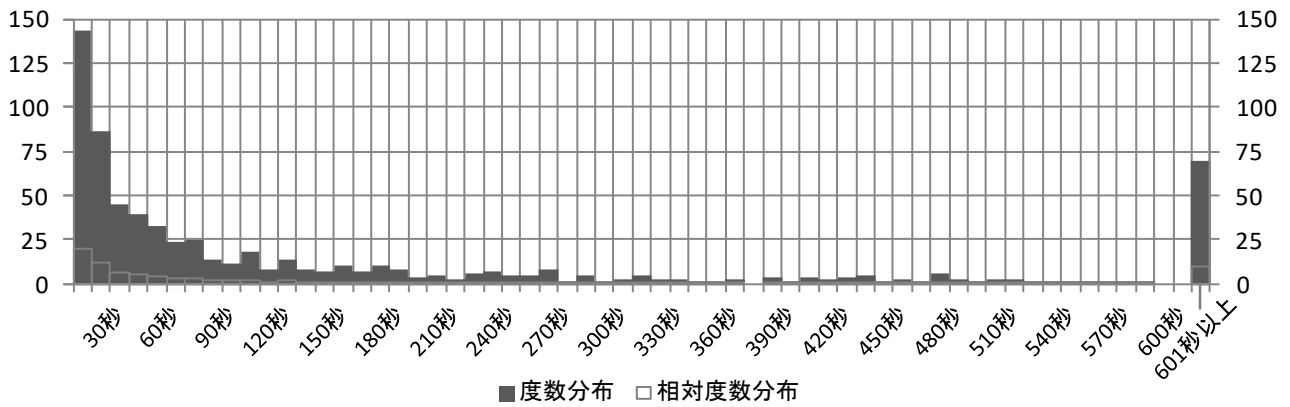
Eg エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 229 回)



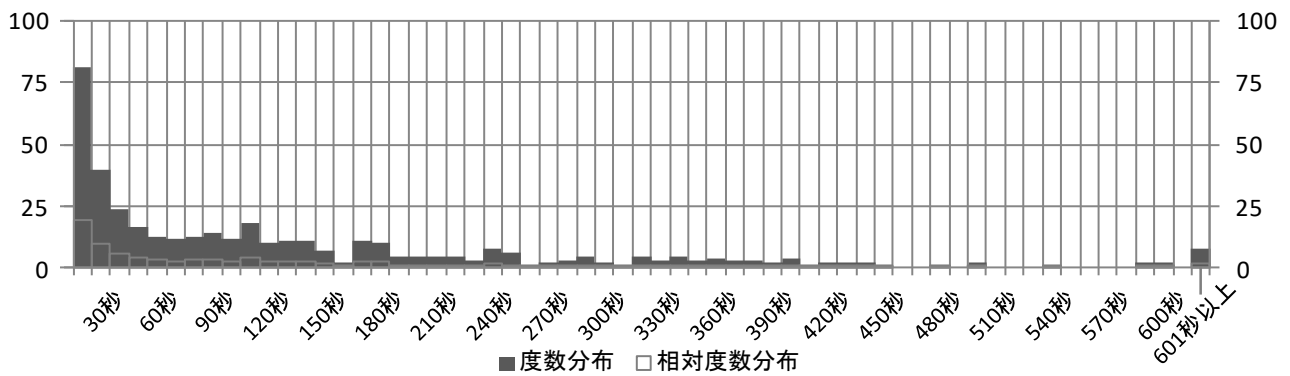
Eh エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 352 回)



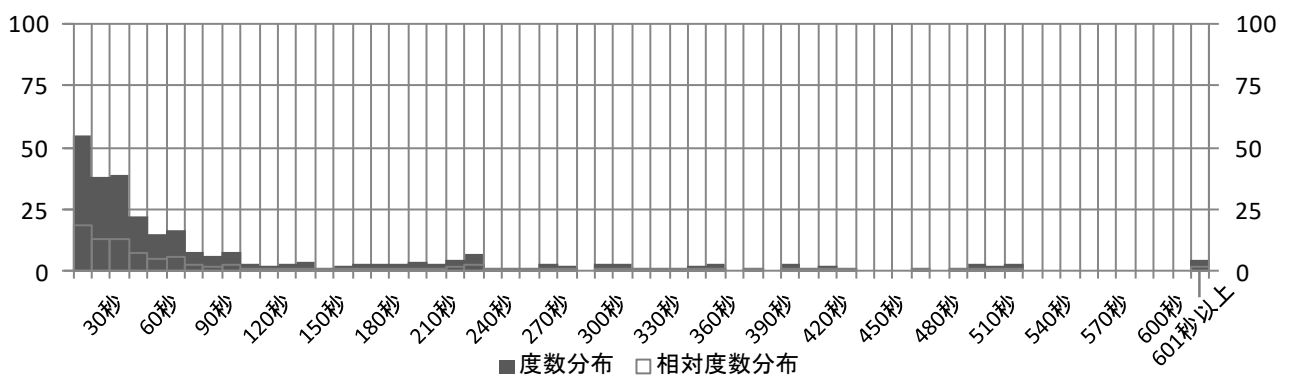
Ei エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 395 回)



Ej エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 708 回)

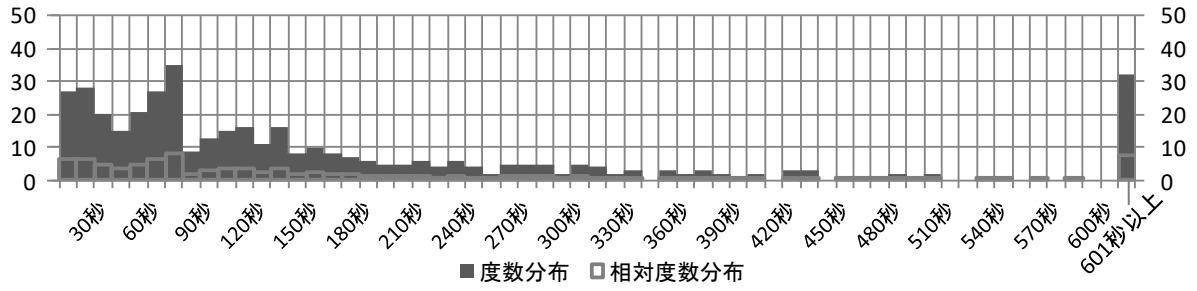


Ek エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 413 回)

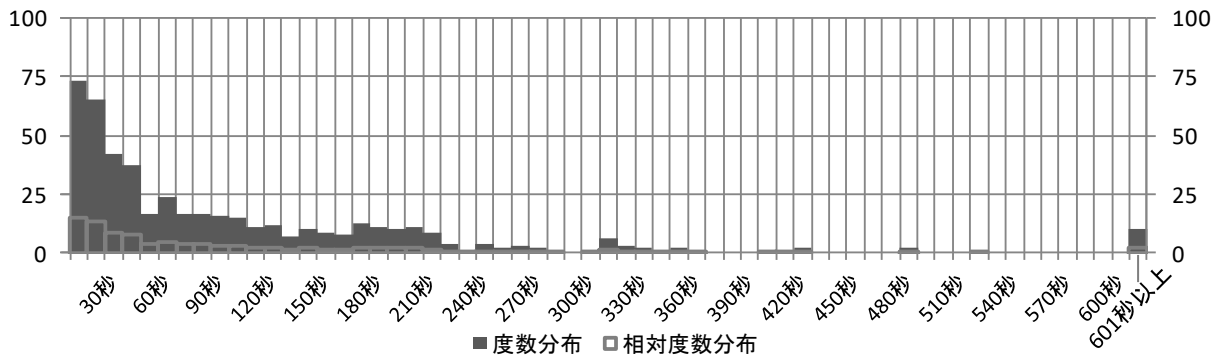


Ei エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 296 回)

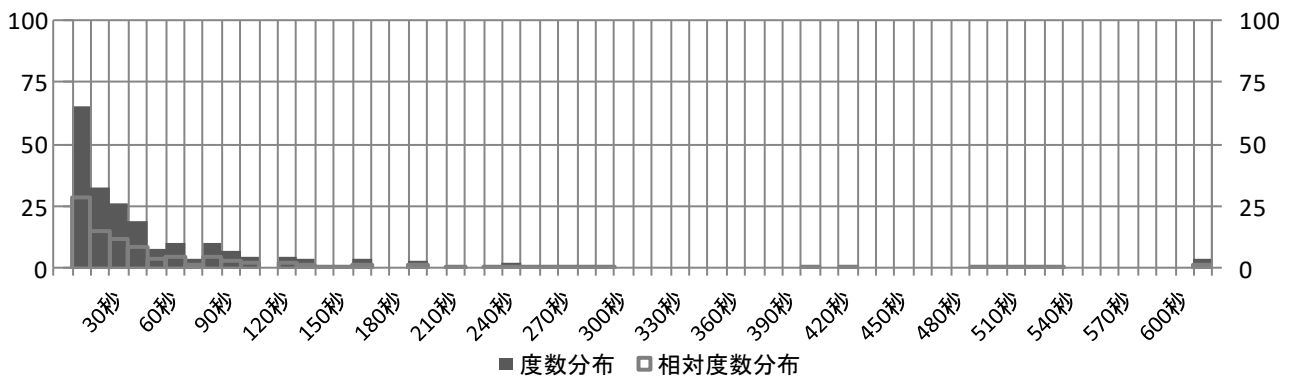




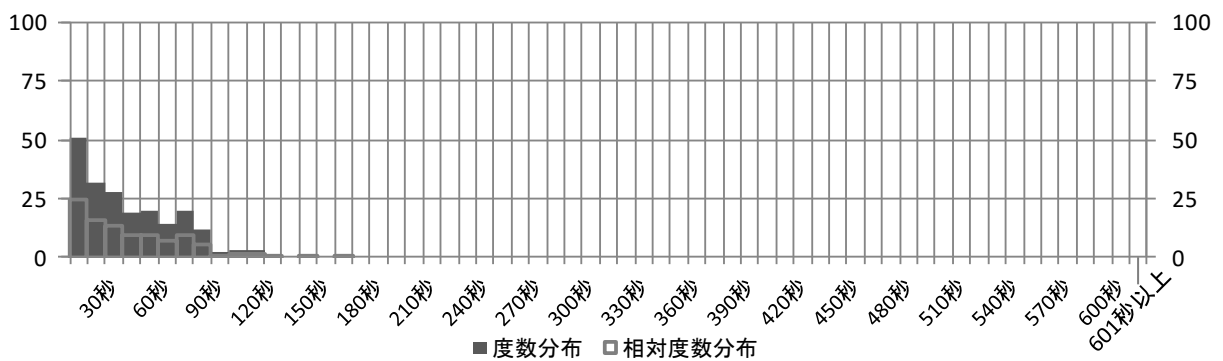
Em エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 418 回)



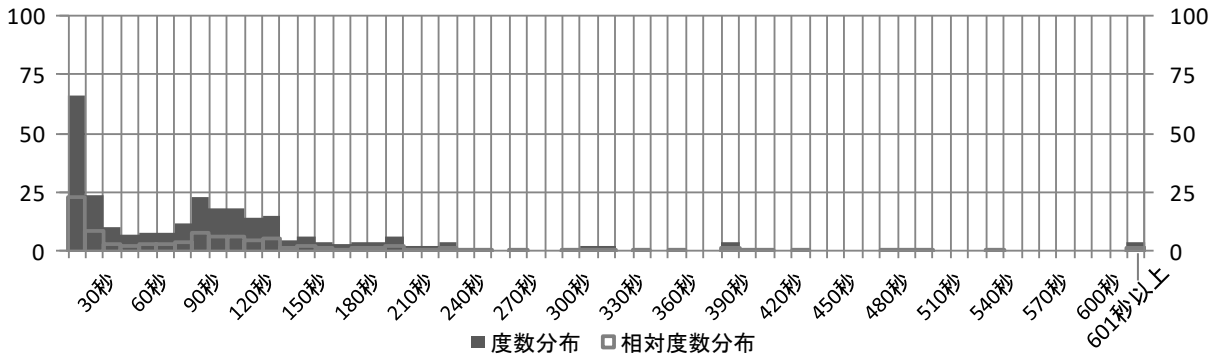
En エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 484 回)



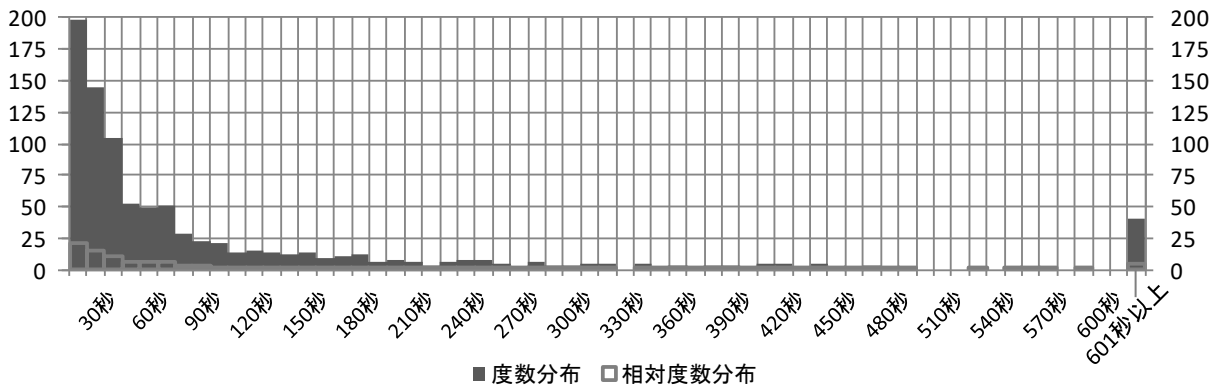
Es エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 225 回)



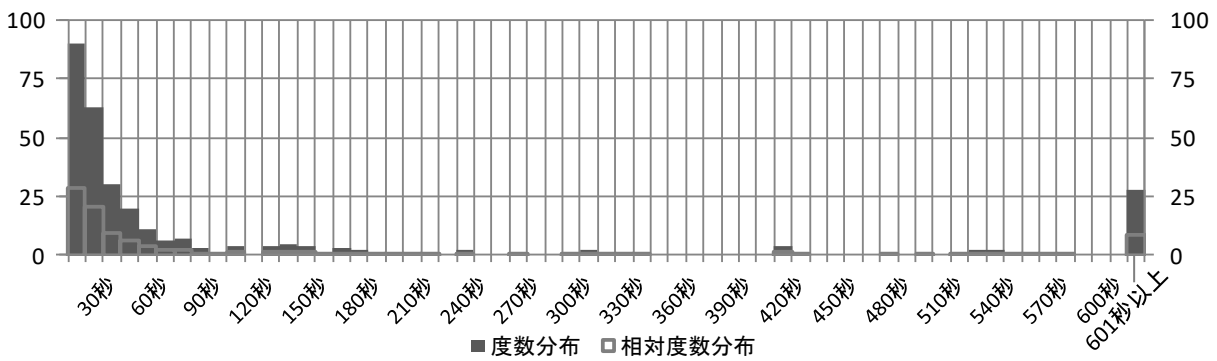
Ba エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 207 回)



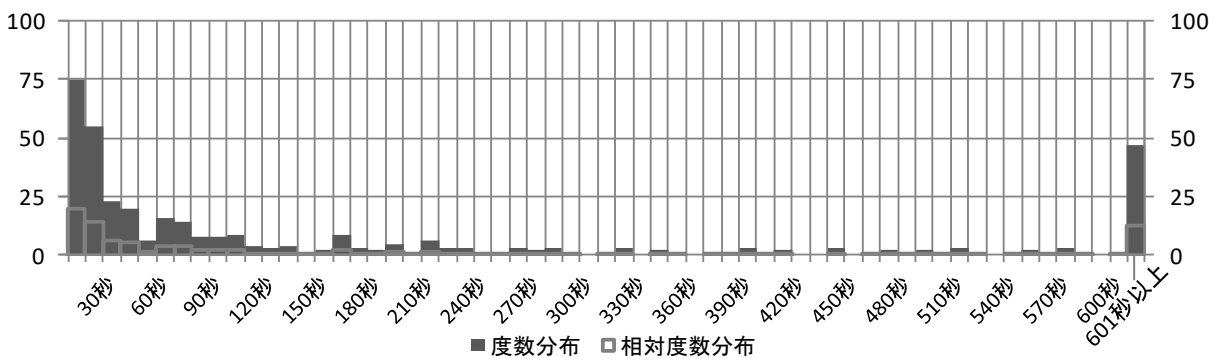
Wa エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 288 回)



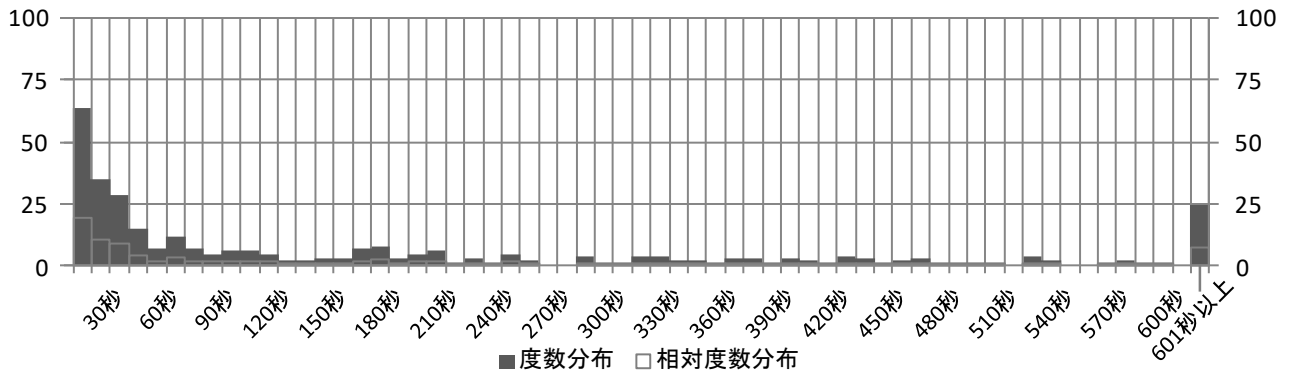
Wb エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 930 回)



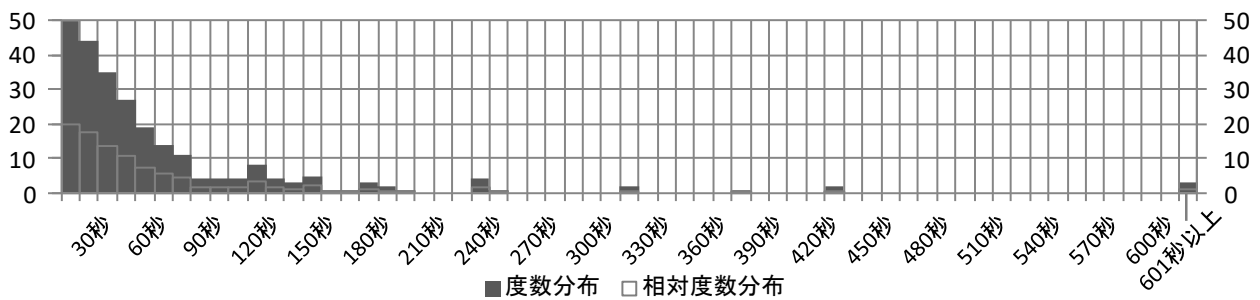
Wc エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 331 回)



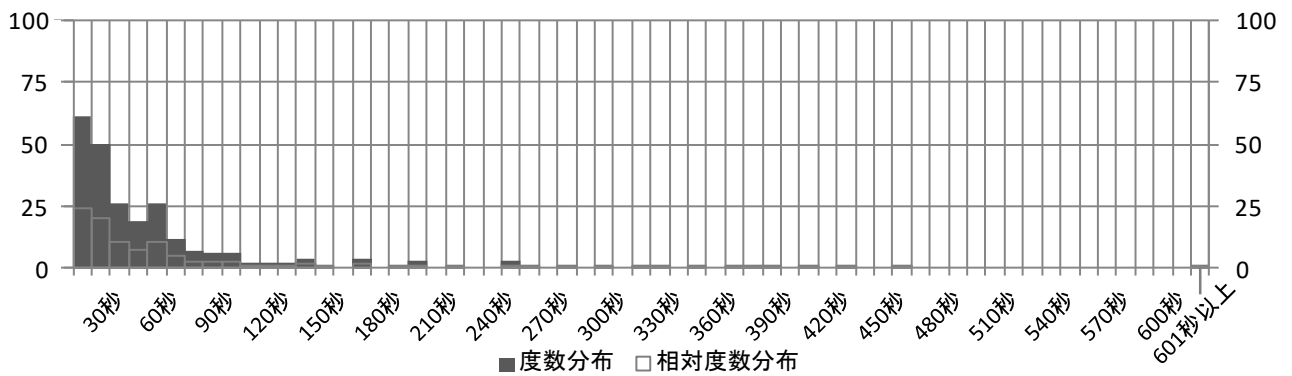
Wd エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 376 回)



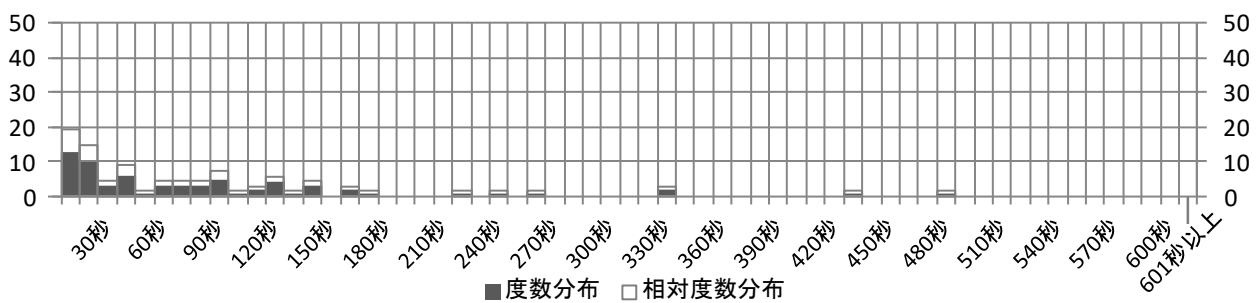
We エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 327 回)



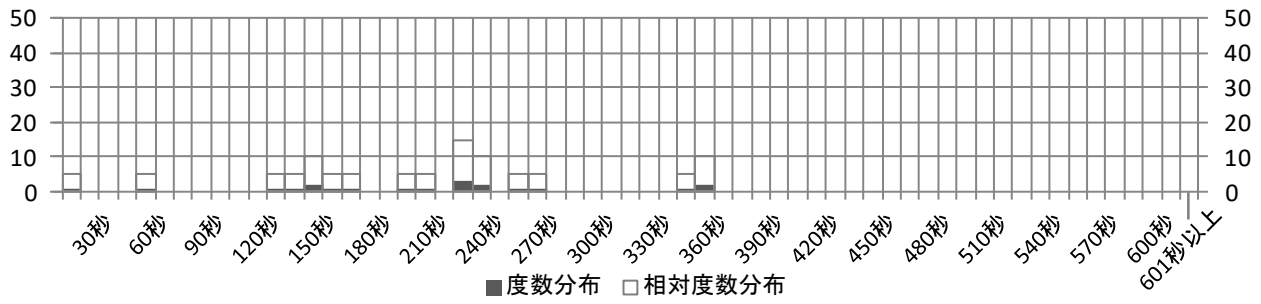
Wf エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 253 回)



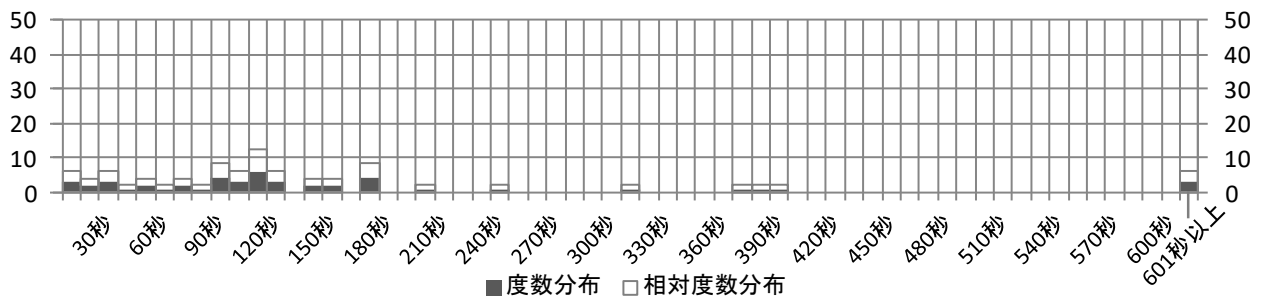
Wg エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 249 回)



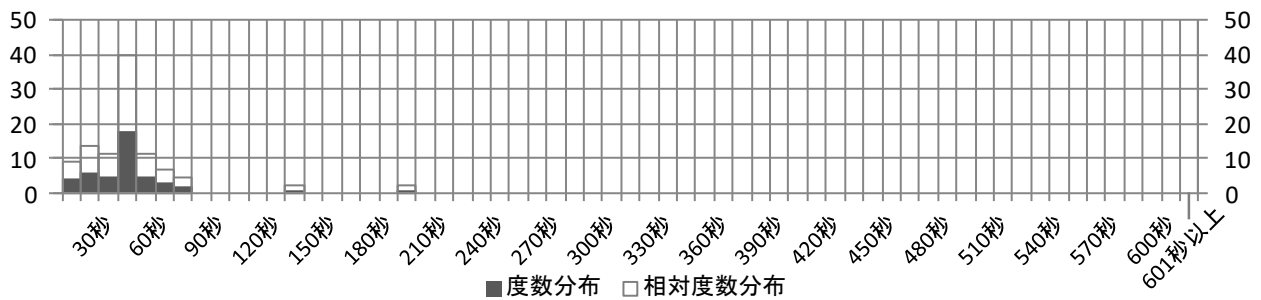
Wh エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 68 回)



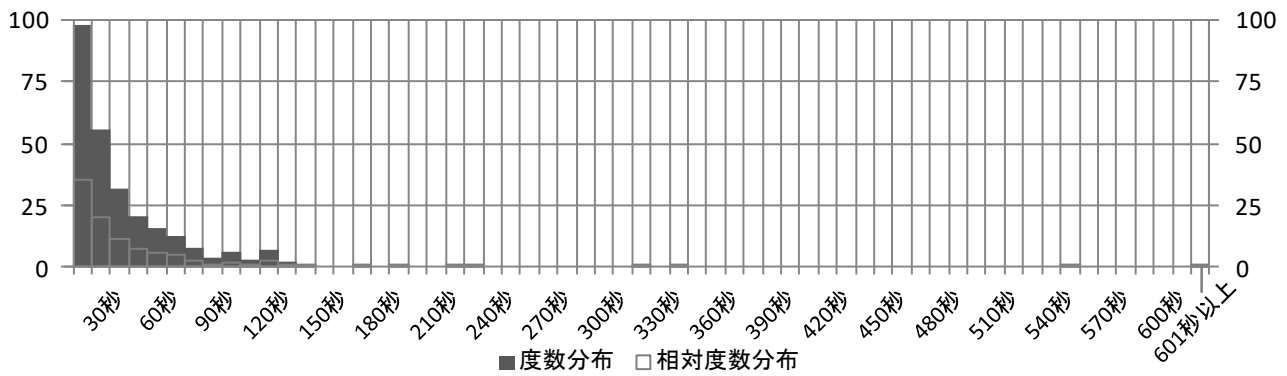
Wi エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 20 回)



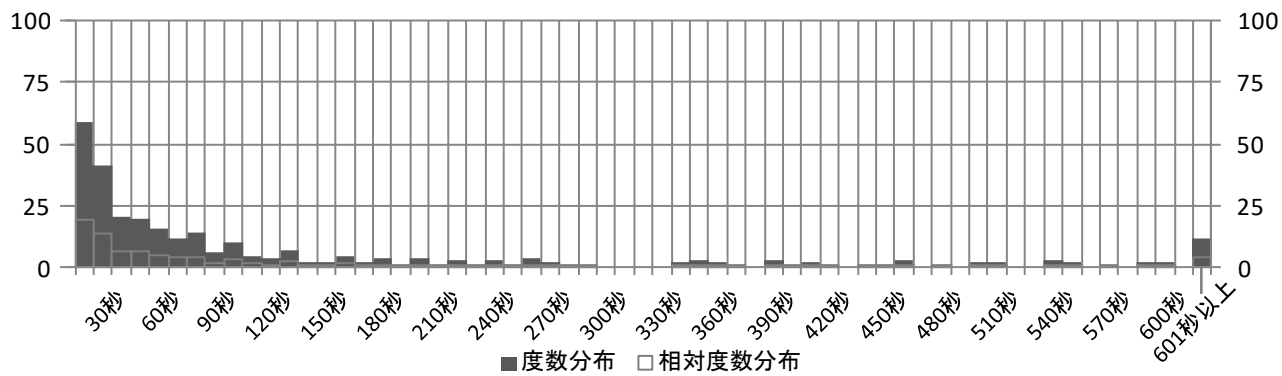
Wj エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 48 回)



Wk エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 45 回)



Ws エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 275 回)



Wv エリアでの滞在時間の度数分布図 (総滞在回数 299 回)



ID	大分類	小分類	時刻																						
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1035	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hns	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1056	B	i	---	---	---	---	---	Hcs	Ar	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	---	Hcs	Hcs
1163	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Ass	Hys	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1010	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Sap	Kkr	Kkr	Kkr	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1138	B	i	---	---	---	---	---	---	Hcs	Fss	Fss	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Oms	Hcs	Hcs	Hcs
1129	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	---	Hcs	Hcs	Hcs
1011	B	i	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Mss	Nis	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Mss	Hcs	Hcs	Hcs
1132	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hns	Cfs	Adk	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Kkr	Sap	Fes	Hcs	Hcs
1047	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Sap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1057	B	i	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Oms	Sap	Sap	Nmk	Nis	Fes	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs
1066	B	ii	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	---	Hcs
1149	B	ii	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Tes	Tes	Tes	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Hcs
1080	B	ii	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Tes	Hcs	Hcs	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Hcs	Hcs
1052	B	ii	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Mes	Mes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Mes	Hcs	Hcs	Hcs
1105	B	ii	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Ass	Sap	Sap	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Tes	Ass	Hcs	Hcs	Hcs
1090	B	ii	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1161	B	iii	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Kts	Cbp	Cbp	Adk	Adk	Adk	Adk	Adk	Adk	Adk	Nmk	Cfs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs

ID	大分類	小分類	時刻																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1151	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tms	Sbk	Sbk	Mgk	Sbk	Sbk	Mgk	---	Mgk	---	Mgk	---	Mgk	Mgk	Sbk	Tms	Hcs
1148	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Cok	Chp	Chp	---	---	---	---	---	Hcs	---	---	---	---	---	---	Hcs
1049	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Sbk	---	Sbk	---	Sbk	Cfs	Hcs	Hcs
1091	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Ttk	---	Ttk	---	Ttk	Cyk	Tcs	Hcs
1060	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Kap	---	Kap	---	Hcs	---	---	---
1120	C	i	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Hcs	---	Hcs	---	Cgr	Cgr	Cgr	Cgr
1122	C	ii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1076	C	ii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1071	C	ii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tms	---	---	---	---	---	---	---	---	Hcs	---	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1106	C	ii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tms	Hcs	Tms	Tms	Tms	Tms	Tms	---	---	Tms	Hcs	Hcs	Tms	---	---	Tms	---
1155	C	iii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Cfs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Akk	Akk	Akk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Hcs
1158	C	iii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Cfs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Akk	Akk	Akk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Hcs
1168	C	iii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Fcs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Mnk	Sjk	Sjk	Fcs	Hcs	Hcs
1020	C	iii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	Sbk	---	Sbk	---	Sjk	Tms	Hcs	Hcs
1095	C	iii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	Tmk	---	Tmk	---	Bkk	Sjk	Sjk	Hcs
1083	C	iii	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	Nkk	---	Nkk	---	Nkk	Sjk	Sjk	Hcs
1127	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	Ktk	---	Ktk	---	Ktk	Sjk	Sjk	Snk
1053	C	i	---	---	---	---	---	---	Tms	Ins	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1166	C	i	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	Kds	---	Kds	---	Kds	Hns	Hcs	Hcs

ID	大分類	小分類	時刻																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1094	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1131	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Ass	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1005	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Fss	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1072	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hms	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1172	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Mzm	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1002	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	
1123	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hys	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	
1084	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Kts	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	
1030	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hns	Hcs	Hcs	
1043	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hns	Hcs	Hcs	
1079	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hns	Hcs	Hcs	
1101	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hns	Hcs	Hcs	
1130	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hns	Hcs	Hcs	
1068	D	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



ID	大分類	小分類	時刻																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1112	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Hcs
1150	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Hcs
1078	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Fcs
1024	E	-																								
1074	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Tms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1110	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Fes	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1069	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1128	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1139	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1098	E	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Mts	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1034	F	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Stk	Mcs	Kap	Hcs	Hcs
1061	F	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Kap	Hcs	Hcs
1114	F	-																								
1111	F	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Hcs	Hcs
1140	F	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Cyk	Hcs	Hcs
1003	F	-																								

ID	大分類	小分類	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1054	G	-								Hcs	---	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hns	Hns	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1051	G	-									Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1013	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1040	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Fss	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1126	G	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Ars	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1077	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Mms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1075	G	-								Hcs	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	
1119	G	-	Hcs	---	---	---	---	Kap	Kap	Hcs	Hcs	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1102	G	-								Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Ass	Hcs	Hcs	Hcs		
1026	G	-						Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Ass	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1153	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1118	G	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Tms
1016	G	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1142	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Sap	Sap	Klk	Kks	Hcs
1121	G	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1097	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	
1019	G	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1014	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hdm	Hdm	Hdm	Hcs	Hcs	Hcs
1141	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Kap	Mcs	Hcs	Hcs	Hcs
1037	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs
1154	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1133	G	-									Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs		
1104	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Mzm	Sap	Mms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs						
1070	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Ars	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kls	Kls	Hcs	Kls	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1162	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Mzm	Mzm	Hms	Hms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1044	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1157	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1143	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1025	G	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1099	G	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	---	Hcs	Fcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs

## 時刻

ID	大分類	小分類	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1004	H	-						Hcs	Mcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Kap	---	Kap	Kap	---	Kap	Kap	Kap		
1055	H	-						Hcs	Mcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Kap	---	Kap	Kap	---	Kap	Kap	Kap	Hcs	
1113	H	-								Hcs	Hcs	---	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Mcs	Hcs	
1038	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Mcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs
1053	H	-						Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	---	---	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs	---	Hns
1137	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs
1073	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Hns	Hcs
1009	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Kap	Hcs
1039	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs
1117	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs
1042	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs
1045	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs
1116	H	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs
1032	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Mcs	Hcs	Hcs	
1041	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Ins	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Tms	Hcs	Hcs	
1145	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	---	---	Kap	---	---	---	Hcs	Hcs
1087	H	-	Hcs	Hcs	---	---	---	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1107	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1082	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Mts	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1064	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1108	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1092	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Tms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1058	H	-	Hcs	---	---	---	---	Kap	Kap	Mcs	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Kap	Kap	---	Kap	Kap	---	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1018	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Fcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Tms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1171	H	-	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	---	---	---	Hcs	Hcs
1062	H	-						Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	---	Hcs	Hcs	Stk	Kap	Kap	Kap	Kap	Kap	---	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs

ID	大分類	小分類	時刻																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1088	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hys	Hys	Hys	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1007	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Chp	Chp	Cur	Cur	Cur	Cur	Cur	Cur	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1160	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Mnk	Mnk	Stk	Kap	Stk	Stk	Fes	Fes	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1086	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Tms	Tms	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1063	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Sgk	Kap	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1012	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sgk	Ktk	Hns	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1124	J	-	Hcs	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sgk	Ktk	Kks	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1050	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1017	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Tcs	Sjk	---	---	---	---	---	---	---	Snk	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1096	J	-	Hcs	Hcs	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Sjk	Fcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1059	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Ars	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Ars	Ars	Ars	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1159	J	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Ars	Ars	Ars	Ars	Ars	Ars	Ars	Ars	Ars	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1089	K	-										Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs
1164	K	-										Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Hcs
1152	K	-	Hcs	---	---	---	---	---	Hcs	Hcs	Hcs	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	Kks	---	Kks	Kks	Kks	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs	Hcs





## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの皆様のご指導、ご協力を賜りました。

主査の首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市システム科学域 教授 伊藤史子先生には、大変多くのご指導を賜りました。研究・分析の根幹から、本論文の骨子となる原著論文の執筆、本論文の執筆までに渡り、多大なるご支援ご指導を賜りましたことに心より感謝を申し上げます。

副査の首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市システム科学域 准教授 杉原陽子先生には、本論文の審査にあたり的確なご指摘とご指導を賜りました。特に統計手法についての確にご指導をいただきました。深く感謝を申し上げます。

同じく副査の首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理環境科学域 准教授 矢部直人先生には、筆者学部生時から継続して多くのご指導をいただいてまいりました。本論文の審査にあたっては、多くの的確なご助言と温かいお言葉を賜りました。謹んで感謝を申し上げます。

首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市システム科学域の先生方からは、論文の進捗報告に際し、様々な視点からの多くのご指摘・ご助言をいただきました。筆者のバックグラウンドである地理情報科学のみに頼らない研究へと進めていくことができました。

首都大学東京大学院都市環境科学研究科観光科学域 准教授 倉田陽平先生には、本論文第2章の骨子をなす修士論文研究、原著論文の執筆にあたり、多くのご指導ご助言をいただきました。また同様に、帝京大学経済学部観光経営学科 講師 有馬貴之先生、東京大学空間情報科学研究センター 助教 相尚寿先生からも多くのご指導とご協力をいただきました。

本論文第2章の実験に関して、多摩動物公園関係者の皆様、調査にご協力いただいた被験者の皆様に心より感謝を申し上げます。第4章から第5章での使用データの収集に関して、上野動物園関係者の皆様、被験者としてご協力いただいた来園者の皆様、調査実施にご協力いただいた首都大学東京大学院都市環境科学研究科観光科学域及び同大学都市環境科学部自然・文化ツーリズムコースの学生の皆様にも心より感謝を申し上げます。

伊藤研究室の先輩・後輩にあたる学生の皆様からは、日ごろから多くのご助言・ご協力をいただきました。特に博士後期課程の先輩である西尾尚子氏の多くのご助言により、博士論文を書き上げることができました。

学部時代から長きにわたり、研究の内外にわたる協力と助言をくださった首都大学東京 自然・文化ツーリズムコース及び観光科学域関係者の皆様、池田拓生氏、岡野雄気氏、中尾来夢氏、窪村麻里子氏、小池拓矢氏、高橋環太郎氏、大島光洋氏にもここで感謝を申し上げます。

最後に、専門外にも関わらず酒を飲みながらいつも研究談議に付き合ってくださいる多くの友人、ビール仲間、そして家族への感謝をここに記します。

2018年 3月 川瀬純也