

GPSを用いた観光行動調査の課題と分析手法の検討

An agenda on tourist activity survey using GPS and investigation of analysis methods

矢部 直人*・有馬 貴之**・岡村 祐*・角野 貴信*
Naoto Yabe, Takayuki Arima, Yu Okamura, Atsunobu Kadono

摘要

本研究では、GPSを用いた行動調査について既存の研究動向を整理し、課題を展望した。また、GPSを用いた行動調査の分析手法について、さまざまな可視化の手法に注目してその有効性を検討した。GPSを用いた既存の研究については、CiNiiより「GPS」、「行動」という言葉を含む研究を検索し、対象とする論文を抽出した。GPSを用いた研究は、情報・通信、建築・土木といった分野で多く行われている。2000年にはアメリカがGPSの精度を向上する施策を実施したため、GPSを用いた研究の数・分野とも2000年以降に本格的に増加する傾向にある。研究の主な内容は、1) GPSの利用可能性、2) 人間を対象とした行動調査、3) 動物を対象とした行動調査、4) 分析手法の提案、5) システム開発などの応用、といった5分野に分けることができる。2000年以降の研究の増加に伴って、行動調査にGPSを用いる有効性が実証され、様々な分析手法も提案されてきた。しかしながら、しばしば膨大な量となるGPSのデータを分析する手法については、まだまだ洗練されていない。これは、分析方法が各学問分野の中のみで参照されており、学問領域を超えて参照される機会が少ないことが一つの要因であると考えられる。膨大な量のGPSデータから、観光者の行動パターンなどの有益な知見を引き出すためには、さしあたり探索的な分析手法が有効であろう。そこで、GISソフトを用いてデータを可視化することで、パターンを発見する手法について検討を加えた。2次元、3次元および多次元の可視化手法については、それぞれ対話的な操作を繰り返すことで有益な行動パターンの発見につながる。また、観光者の行動を文字列に変換することで、配列解析などの計量的な分析方法を援用することが可能になる。今後は、観光行動に関する分析手法について、実証研究を進める中で知見を蓄積していく必要がある。

1. はじめに

観光学では、観光行動のより詳細な把握とその解明が古くから迫られている。早稲田大学池原研究室(1972)は、人間の行動把握が人間と空間システムの解明につながるとし、豊島園における来園者の行動から、観光行動と空間構成の関係を考察した。また、橋本(1993)では飛騨高山における外国人観光者の観光行動が、橋本(1996)では東京ディズニーランドにおける修学旅行生の観光行動が調査され、考察された。近年になっても観光行動に関する研究は多く行われている(羽生ほか 2002, 鈴木 2007, 小島 2008 など)。

観光行動の詳細な把握ができ、その仕組みが解明されたとするならば、それは観光施設や観光地にとって非常に有用な知見となる(橋本 1997)。

一方、今日の携帯電話やノートパソコンなどの電子機器の発展は著しく、電子機器の高精度化、小型化が刻々と進んでいる。なかでも、移動体の位置情報を短時間で取得できるGPS(Global Positioning System)機器(以下GPS)は、カーナビの普及や携帯電話への標準内装などによって、一般にもよく知られるようになった。学術的にも、観光者に限らず、人間や動物などの行動を把握できるものとして注目されており、調査・研究における利用と新たな知見獲得の可能性が期待視されている(高坂・関根 2005:105)。

本研究では、日本におけるGPS¹⁾を用いた行動調査の研究動向を概観し、課題を検討するとともに、2009年7月に多摩動物公園で行った行動調査²⁾をもとに、調査の取り組み、分析手法について検討する。

* 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 観光科学域
〒192-0364 東京都八王子市南大沢2-2 パオレビル10階
e-mail: yabebeya@tmu.ac.jp

** 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 地理環境科学
専攻 博士後期課程・日本学術振興会特別研究員 DC1

II. GPS を用いた研究の展望

表1 学問分野別の研究数

学問分野	N	割合
情報・通信 ¹⁾	38	37.3%
建築・土木 ²⁾	28	27.5%
生態・農学 ³⁾	21	20.6%
地理・造園 ⁴⁾	11	10.8%
医療 ⁵⁾	4	3.9%

1) 電子情報通信学会研究報告, 情報処理学会研究報告など

2) 日本建築学会学術講演梗概集など

3) 日本生態学会誌, 日本草地学会誌など

4) 地学雑誌, ランドスケープ研究など

5) 理学療法学会, 地域環境保健福祉研究など

2.1 研究の分野と内容

本章では GPS などによって得られた位置情報を用いた調査・研究について検討する。本章では、学術論文情報ウェブサイトである CiNii において論文の検索³⁾を行い、レビューの対象となる論文を抽出した。検索の結果、1996年から2009年までの合計148件の論文が抽出された。それらのなかから、本研究と直接関係のないものや、同一著者による同一タイトルの論文などを整理し、102件の論文を対象とした。

抽出された論文数を、学問分野別に示したものが表1である。最も多くの論文が発表されているのは、情報・通信分野であることがわかる。これらには GPS を利用したシステム開発や、位置情報の分析手法提案などの研究が多く含まれている。続いて、建築・土木分野での研究が多い。建築・土木分野では、GPS を利用した人間の行動把握によって、行動と空間構成の関係を探る研究が多い。生態・農学分野では、家畜や野生動物を対象とした研究がほとんどである。地理・造園分野では、建築・土木分野と同様に行動と空間構成の考察に重点が置かれるものが多い。しかし、調査対象は人間から動物、またその分析手法も移動履歴の把握から統計や GIS を用いた解析と、他の分野と比べて学際的で幅広いことが地理・造園分野の特徴といえる。医療分野では GPS によって身体活動の把握を行った研究がみられる。

GPS を利用した行動の研究は多くの学問分野で行われているが、研究の内容から、それらは大きく五つの研究に分けられる。それらは GPS の利用可能性に関する研究、GPS を用いた人間の行動把握、GPS を用いた人間以外の動物の行動把握、GPS から得られる位置情報の分析手法を提案する研究、GPS を使用したシステムや機器の開発をおこなう応用研究の5つである。

2.2 研究内容の推移

図1は発行年別の論文数の推移を示したものである。これをみると、1996年から2008年まで論文数が増加傾向にあることがわかる。なお、2009年には、10月1日現在で8本の論文が発行されている。

本研究では、1996年から2009年までを、1990年代後半、2000年代前半、2000年代後半の3つ年代に区分し、それぞれの年代における研究動向を考察した。なお、考察にあたっては、前節で五つに大別した研究の内容に沿って検討していく形をとった(表2)。

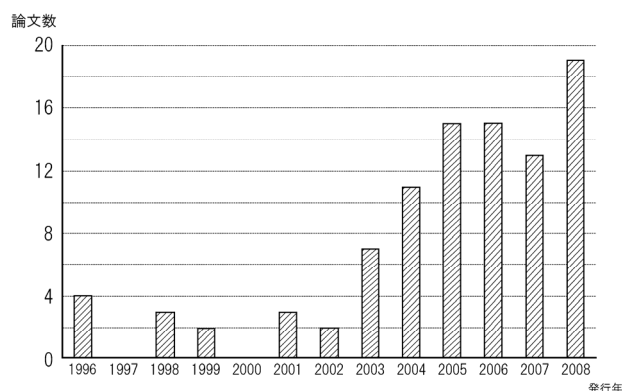


図1 GPS 行動調査・研究数の推移

(CiNii の検索結果より作成)

表2 内容別 GPS 行動調査・研究数の推移

	1996-2000		2001-2005		2006-2009	
	N	割合	N	割合	N	割合
利用可能性	3	33.3%	3	7.9%	2	3.6%
行動把握(人間)	2	22.2%	8	21.1%	20	36.4%
行動把握(動物)	0	0.0%	13	34.2%	11	20.0%
分析手法	0	0.0%	7	18.4%	6	10.9%
応用	4	44.4%	7	18.4%	16	29.1%
合計	9	100.0%	38	100.0%	55	100.0%

(1) 1990年代後半(1996年から2000年まで)

人間や動物の行動調査において、GPS の利用は1990年後半から始まった⁴⁾。

大森ほか(1999)は、GPS を利用することによって、被験者の移動ルートと速度の日時変化の把握が可能であることを示した。また、徳安ほか(1996)は、水面に上昇する海洋生物の行動を把握するため、GPS の有用性と問題点を論じた。

一方、高倉ほか(1998)はGPS の測位データを用いて、個人用地理情報システムの開発を検討し、原口ほか(1996)は航空機の衝突回避のため、GPS の測位データを用いるアルゴリズムを検討した。

1990年代後半では、一般にGPSがまだ普及しておらず、その精度も確立していなかったため、GPSを用いた研究は多くなかった。また、行われた研究はGPSの利用可能性を検証した研究や、GPSを利用したシステム開発に関する研究であった。1990年代後半は、GPSの有効性が徐々に研究者にも知れわたり始めた時代だと思われる。なお、1990年代にGPSを用いた観光に関する研究はみられなかった。

(2) 2000年代前半（2001年から2005年まで）

2000年代に入ると、GPSを用いた研究は急増した。2000年代前半の論文数は、1990年代後半に比べて約4倍にもなっている。これは、アメリカ合衆国によって加えられていた精度劣化機能SA (Selective Availability) が2000年5月に除去され、GPS機器の精度が飛躍的に向上したことによるものとみられる。

2000年代に入ると、GPSの利用可能性を探るのみの研究は大きな割合を占めなくなった。研究数の増加と共に、GPSの有用性は十分に認識されていったと考えられる。利用可能性に関する研究も使用可能か否かの記述だけではなく、GPSをどのように利用することができるかが言及されるようになった。例えば、森本ほか(2004)はGPSの利用が人間の経路認知、施設探索、方角認知、距離認知といった行動地理学の分野において重要な知見をもたらすと指摘した。

2000年代前半における人間の行動把握についての研究をみると、調査対象者は子どもや高齢者、そして観光者の3者に大きく分けられる。子どもを対象とした研究では、細田・西出(2005)が小学生にGPSを携帯させ、彼らの移動距離と移動速度⁵⁾を把握し、都市における空間の組織化という概念を提唱した。また、高齢者を対象とした研究では、吉田・杉森(2003)がGPSを用いて高齢者の移動速度を把握し、最高移動速度と右握力の相関関係を指摘した。

GPSを用いた観光者の行動把握も2000年代から行われ始めた。2001年から2005年における行動把握(人間)の論文8本のうち、3本が観光者の行動に関する論文であった(野村ほか2004; 藤田ほか2003; 本郷2003)。藤田ほか(2003)は、GPS付き携帯電話を用いて、小田原市を訪れた観光者に対する行動調査を行い、回収したデータから被験者の移動先を把握した。また、2組の被験者の観光ルートを考察し、回遊行動の冗長性⁶⁾の少なさを指摘した。

2000年代前半に最も多く行われた研究は、放牧牛やヤギ、ヒツジといった家畜を対象にした研究であった。

例えば、Chowdappa *et al.* (2005)は、宮崎の異なる2つの放牧地において黒毛和牛にGPSを携帯させ、放牧牛の移動距離を把握した。その結果、放牧牛の移動距離が長いほど、ススキの採食と休息が減る傾向にあることが明らかとなった。モンゴルにおける放牧強度と草量の関係を検討した川村ほか(2005)は、ヒツジに携帯させたGPSのデータから放牧強度分布図を作成した。それを草量分布図と比べることで、放牧強度が高くなると、草量が低くなる傾向⁷⁾を指摘した。また、杉本ほか(2005)は、宮崎で放牧牛にGPSを携帯させ、GISソフトの1つであるArcGIS上でAnimal Movement⁸⁾を用いて解析を行った。その結果、水飲み場の移動が放牧牛の行動圏に影響を与えたことを示唆した。

2000年代前半には、GPSから得られる位置情報の分析手法についての研究も行われた。太田ほか(2001)は位置情報を用いて、ある一定の空間ごとにデータをまとめ、それらをイベントとしてカテゴリ化した。そして、それらイベントの順序関係を考慮した組み合わせから、支持度と確信度という指標を基に、頻出するイベントの組み合わせを抽出する手法を提案した。また、柳沢ほか(2003)は空間を任意のメッシュで区切り、位置情報などから把握されるメッシュ間の移動遷移を基に、同様の利用がなされる空間を統合する手法を提案した⁹⁾。

観光に関する分析手法の研究では、長尾ほか(2004)がGPSの位置情報を用いて、エラーログのフィルタリング手法、滞在・移動判別の手法を提案した。また、実際に北海道内をレンタカーで移動する観光者に対して調査を行い、手法の妥当性と課題を検討した。さらに長尾ほか(2005a)では、長尾ほか(2004)の提案手法を改良し、ロバスト性¹⁰⁾を高めると共に、データの滞在時間情報から市町村別の観光魅力度を算出する手法に言及した。また、長尾ほか(2004)と同様に、北海道においてGPSを用いた調査を行い、各市町村の観光魅力度を算出した。なお、同様の研究は長尾ほか(2005b)でも報告されている。

GPSの精度が確立してくると、GPSを利用した機器やシステムについての研究が行われた。宮井ほか(2005)はGPSの位置情報を用いた宝探しゲームを開発した。また、GPSナビゲーションに対する人々の不安定や確信度を調査した研究もみられた(角尾ほか2005; 若江ほか2005)。

以上、2000年代前半におけるGPSを用いた研究を概観した。2000年代になると、1990年代後半と比較し

て多くの視点を持った研究がなされた。特に、家畜や観光者を対象とした研究で、GPS の利用が高い有効性を発揮した。さらには、データの修正手法や分析手法も提案され、移動の把握だけでなく、統計的解析にも対応した研究が芽生えた時代といえる。

(3) 2000 年後半 (2006 年から現在)

2000 年後半では、2000 年前半からの急激な研究数の増加に後押しされるように、さらに研究数が増加している。

GPS の利用可能性に言及した論文は 2000 年代後半では少ない。例えば、小野ほか (2007) が医療分野における GPS による身体活動の把握の可能性を示した研究などがあげられるのみである。

行動把握についての研究は、2000 年後半に入っても増加している。なかでも、人間の行動把握に GPS を利用した研究が増加している。例えば、南斎ほか (2007) は、京都市内の小学生に GPS を携帯させ、時間と移動距離の関係、交友人数と移動距離の関係を検討し、移動距離が長いと交友人数が減少することなどを指摘した。また、永田ほか (2008) は、長浜市内の小学生を対象にした調査を行い、移動手段や移動距離、滞留場所などを特定することにより、児童が空き地と安全な場所を自ら選んで放課後を過ごしていることを明らかにした。韓ほか (2008) では、長浜市内の複数の小学校児童に対して調査を行い、彼らの移動距離と移動時間を考察した。その結果、学校ごとの放課後行動の差異が明らかにされた。これらの研究に代表されるように、人間の行動把握の研究では、とくに子どもを対象とした研究が多くなっている。

子ども以外を対象にしたものでは、李ほか (2008) が中国安徽省の住宅団地を調査地として調査を行った研究があげられる。李ほか (2008) は、移動距離から移動パターンを分類し、それらの特徴を、周辺の空間構成要素¹¹⁾によって説明した。さらに、これまでにみられなかった行動把握の研究として、西村ほか (2008) が GPS を用いたラオスの農民の生活行動調査を行っている。農民が携帯した GPS から得られた位置情報を地図上にプロットし、聞き取り調査によって得られた情報と照合するなどして、活動内容と土地利用の関係を明らかにした。

観光者に対する調査では野村・岸本 (2006) と山本ほか (2006) の 2 本がみられる。野村・岸本 (2006) は、鎌倉の観光者に GPS を携帯させ、歩行者流動の可視化を行った。具体的には位置情報の線分表示、密度

表示、速度表示などの可視化の手法を検討し、歩行者速度点分布という新たな手法を提案した。そして、可視化された図から、滞留の程度や信号待ちによる歩行者の停滞などを読み取った。山本ほか (2006) は、新宿御苑の来苑者を対象にした調査を行い、エリアごとの通過の有無から行動パターンを分類した。その結果、来苑者の経験が苑内での移動の仕方に寄与していることを指摘した。

動物の行動把握に関する研究は、2000 年前半と同程度数の研究が行われている。ただ、2000 年前半には、放牧牛などの家畜に対する調査が大半を占めていたのに対し、2000 年後半には、野生動物に対する調査が目立つようになってきている。例えば、Fujii *et al.* (2006) は、GPS を含む複数の機器を北海道襟裳岬のアザラシに携帯させることにより、アザラシが既知の上陸場を利用していることを明らかにした。また、泉山ほか (2009) は、南アルプスのニホンジカに GPS を携帯させ、季節ごとの位置の把握を行い、林道の緑化や、越冬時における落葉広葉樹林帯、展葉前線¹²⁾、急傾斜地などがニホンジカの行動に影響を与えていることを示唆した。

2000 年代後半における分析手法に関する研究はさほど多くないが、隠れマルコフモデルを用いた移動パターンの自動分類を提案した研究 (鈴木ほか 2006 ; 鈴木ほか 2007) や、GPS データにクラスター分析を施しデータをまとめ、滞在空間の系列から行動の頻出パターンを抽出する手法を提案した研究 (西野ほか 2008) などがあげられる¹³⁾。

一方、観光者の行動に関する分析手法の研究として古谷 (2006) の研究がある。古谷 (2006) は箱根地域の観光者に対し、GPS 付き携帯電話を使用した調査を行った。その結果得られたデータに対し、カーネル密度をもとにしたクラスター分析と、属性を含めたクラスター分析を行って観光行動の特徴的パターンを抽出した。

GPS を利用した応用研究は、2000 年代後半になって急増した。興梠・蔵田 (2006) は、GPS 以外に IC タグを用いることで、より高精度な位置情報の取得の可能性を検討した。また、藤野ほか (2007) は、GPS 携帯を用いた Web ベースの個人情報記録システムを構築した。渡邊ほか (2007) は、GPS を利用した子どもの見守り支援システムの構築を行った。2000 年代後半になって、GPS を利用したより多くのシステムや機器が開発されている状況がこれらの研究動向からも伺える。

2000 年代後半には、さらに GPS を利用した研究が

表3 研究内容別 使用GPS メーカー

	メーカー							なし	不明
	Garmin	San Jose ¹⁾	携帯電話会社	Sony	Televilt	その他(国内) ²⁾	その他(海外) ³⁾		
利用可能性	2	0	1	2	0	0	1	2	1
行動把握(人間)	6	5	4	0	0	2	0	0	7
行動把握(動物)	6	0	1	2	5	3	7	0	0
分析手法	1	0	2	1	0	0	1	4	2
応用	1	1	2	2	0	0	1	6	7
合計	16	6	10	7	5	5	10	12	17

1) San Jose Navigation

2) I-O Data, Secom など

3) Trimble, Lotekn など

増加、拡大し、多くの場面や対象に使用されるようになってきている。特に、人間を対象とする研究が増加したことから、被験者となる人々のGPSに対する理解も深まっていると考えられ、GPSを利用した研究の可能性は新たな局面を迎えているといえる。

2.3 使用されたGPS

本節では研究で使用されたGPSについて検討する。研究で使用されたGPSのメーカーについて示したものが表3である。これによれば、最も多く使用されているのはGarmin社のGPSであった。Garmin社のGPSは、登山者など一般にも広く利用されており、低価格なものから高価格なものまで幅広い種類がある。また、日本語表示が可能なGPSも取り扱っている。そのため、Garmin社のGPSの利用が高くなっていると推察される。一方、Garmin社以外の国内外メーカーのGPSも研究では使用されている。特に、家畜や野生動物に対する調査ではTelevilt社のGPSが多く利用されている。これはTelevilt社が動物用の首輪型GPSを開発しているためと考えられる¹⁴⁾。ただ、首輪型GPSは一般に市販されているGPSよりも数倍高額なため、研究によってはTrimble社やSony社などの対人用GPSが援用されている。

本節では調査に使用されたGPSについて検討したが、論文内で使用したGPSについての記載がなく、使用GPSが不明な研究も多く見受けられた。小型で軽量であるGPSは利用しやすく、精度も年々向上しているが、その精度は機種や内蔵されているGPSチップ¹⁵⁾によっても大きく異なっている。精度検証までの必要性はないと思われるが、各研究においては使用GPSについての記載を行う必要性が求められる。

2.4 調査数

表4は研究内容別にGPSによる調査数(被験者数)を示したものである。調査を行う上では、それぞれの

表4 研究内容別調査数

	最小調査数	最大調査数	平均調査数
利用可能性	0	28	6.3
行動把握(人間)	1	417	110.0
行動把握(動物)	1	12	3.8
分析手法	0	149	21.9
応用	0	32	7.3

研究の目的や内容などによって、目標となる調査数を決定しなければならない。本節では、これまで行われてきた研究から、研究内容別の調査数について検討する。

GPSの利用可能性を検討する研究では、実際に大規模な調査を行う必要性はないと考えられる。研究の内容もGPSの精度や調査の提案を行うものであり、調査数は10件程度あれば、研究が可能である。

最も多くの調査数を確保しているのが、人間の行動把握を行う研究群である。都市や観光地などにおいて、人々がどのように空間を利用するのかという空間利用の研究においては、調査結果に一般性を持たせるため、多くの被験者を得る必要があるものと推測される。これらの研究では100件以上¹⁶⁾の調査数が妥当といえる。

一方、行動把握の研究においても、動物を対象とする場合、調査数は最高でも12件と、人間を対象とする研究に比べて少ない。これは一般に動物の捕獲が困難であることや、調査に使われる首輪型GPSが高価であることに起因する。少数の調査でも、そのデータを詳細に考察することによって、研究の質は確保されているといえる。具体的には、データの代表性を確保できる3件以上の調査数を得ることが望ましいと考えられる。

分析手法の提案などを行う研究では、調査数はその研究内容に大きく左右される。実際のデータを用いて分析手法を実証するためには、多くのデータ数が必要となるが、分析手法の提案という趣旨の内容であれば、極端にはデータ数0件でも可能である。

機器開発やシステム開発を中心とする応用研究には、

その目的に提案を含んでいるものが多い。そのため、実際にデータを取得し、提案を検証する必要性の無いもの、もしくは検証が不可能なものであれば、調査数は少なくとも問題視されない。

本節では GPS を利用した研究の調査数について検討してきたが、各々の研究の内容以外に、実際には受け入れ態勢や周辺環境といった調査地固有の、または被験者固有の条件によっても、取得可能な調査数は決定される。そのため、一概に調査数の量だけで判断することは好ましくない。実際に調査を行う際には、目安として各研究内容別の平均調査数を参考にすればよいと思われる。

2.5 小括と今後の課題

GPS を利用した行動把握の研究は年々増加の傾向にある。GPS については、被験者、また研究者ともに理解が進んでおり、その有用性は保証されているといえる。しかし、GPS の機器による違いが、どのような結果の違いをもたらすのかについての研究は検証されておらず、この点については今後の課題がみえる。

GPS 調査では、これまでの行動調査に比べて、より多くのデータを収集することが利点である。しかし、それらのデータを考察する手段自体が未だ少ないため、膨大なデータが事象の把握のみに使われてしまうことも少なくない。したがって、膨大なデータを効率的に解析する有効な分析手法の開発が急務である。例えば、GPS 調査で得られたデータを地図上に可視化する手法も確立されているとは言い難いのが現状である。

なお、2.2 節でもみてきたように、データの分析手法はすでにいくつか提案されている。しかし、それぞれの学問分野が異なるためか、学問分野を超えた研究の引用が少なく、それぞれの研究が活かしていない。今後は、学問分野を越えた学際的な研究が必要といえる。

一方、人間や動物の行動把握の研究にみられるように、GPS で得られたデータの解釈や、適した分析手法の導入には、生態学や建築学、地理学などの専門知識を必要とする。例えば、なぜある場所で動物が滞在しているのかの解釈には、動物の生態の知識や、エサ場となる植生や地形の知識などを必要とする。これらの GPS によるデータから得られるものと、GPS では得られないデータの照合もさらに必要であろう。

最後に、本章で行ったレビュー自体の課題として、CiNii に掲載されていない論文、および海外の論文の動向をみていくことをあげる。

III. GPS を用いた調査の計画と実施

II で見てきたように、GPS を用いた調査には様々な目的があり、それにより調査の設計や調査に用いる機器も大きく変わってくる。本章では、GPS を用いた調査の設計や機器の選定方法、データの補正方法などについて検討を加える。また、GPS を用いた調査の事例として、2009 年 7、8 月に多摩動物公園で行った調査の概要について述べる。

3.1 GPS 機器の選定

GPS を調査に用いる際には、リアルタイムでデータを取得する必要性の有無や、データ収集のコスト、被験者への負担などを検討する必要がある。

双方向でデータをやりとりする調査を行う際には、通信機能付きの GPS 端末が必須である。羽藤ほか (2002) では、サッカー W 杯開催時の交通需要を予測して情報を配信するため、リアルタイムで GPS データを取得・分析している。近年の携帯電話端末には GPS 機能が標準搭載されており、リアルタイムで GPS データを取得したり、情報を配信したりする際に有用である。GPS データを通信回線経由でサーバーに蓄積するため、端末と PC を直接接続してデータを取り込む手間が省けるというメリットもある。被験者の携帯電話に位置情報を取得するアプリケーションソフトを直接配信すれば、携帯端末を配布・回収する必要もない。また携帯電話を用いた調査では、被験者の位置情報の他に、被験者の属性や活動内容などを尋ねるアンケート調査も、携帯電話を用いて調査することが可能である (中里ほか 2004)。このように携帯電話を利用した調査を行う際には、データ収集に関するコストが低くなるという点で調査者側にメリットが大きい。その反面、携帯電話に組み込むアプリケーションソフトを開発することや、サーバーを用意することなど、様々なコストがかかるというデメリットがある。また、GPS 機能を利用することで携帯電話の電池の消耗が激しくなるため、長時間連続して短時間間隔の位置情報を取得することには向かない。

一方、リアルタイムでデータを取得する必要がなく、被験者の行動データの分析を後で行う場合には、Garmin 社のハンディ GPS などの汎用 GPS が調査に用いられている。汎用 GPS を調査に用いると、携帯電話を用いる際のメリット・デメリットがちょうど逆の関係になるように思われる。汎用 GPS は比較的低価格で入手可能であり、使用方法も簡便であることが多い。特

に位置情報の記録に特化した GPS ロガーは、液晶ディスプレイがついていないことから小型・軽量であり、被験者が機器を携行する負担も軽い。電池の持続時間も比較的長く、短時間間隔のログを長時間にわたって記録することも可能である。その代わり通信機能を内蔵していないため、しばしば膨大な量のデータを GPS ロガーから PC に取り込み、管理するという作業が必要になる。また、被験者の属性を尋ねるアンケート調査を同時に行った場合、GPS ログとアンケート票の対応づけが必要になるなど、調査者側の人為的なエラーが起きる可能性を完全に排除することは困難である。GPS ロガーを配布、回収する手間も存在する。被験者の行動を把握する調査を行う際には、対象地域の入口で GPS ロガーを配布し、漏れのないように出口で回収する必要がある。したがって、明確な出入口のあるテーマパークなどでは調査を行いやすい反面、出入口が複数あるような市街地で、不特定多数の被験者を対象に調査を行うことは困難である。

このように、GPS を用いた調査を実施するには、調査の目的や対象地域の特性、様々なコストなどによって、調査に用いる GPS 機器を選定する必要があるといえよう。

3.2 GPS データの補正

GPS により取得した位置データは、2000 年の SA の解除以降、数メートル程度の精度を持つ。また、地上局での観測により GPS システムの系統的な誤差を除去するディファレンシャル GPS¹⁷⁾を利用すれば、精度はさらに向上する。しかしながら、樹木の陰や市街地のビルの谷間など GPS 衛星からの信号の受信状態が悪化する場合や、上空の GPS 衛星の配置状態などにより、しばしば許容範囲を超えた誤差が表れる場合がある。誤差を少なくするために様々な補正情報を受信し、外部アンテナを装着することで、精度を 1 m 以下にまで高める GPS 機器も存在するが、高価であることや重量が重いことなどから観光行動の調査には向かないと思われる。そのため、GPS データの分析を行う際には、誤差を除去して GPS データを補正する必要がある。

最も単純な補正方法として、記録された GPS データのうち、信頼性の低いデータを除去する方法がある。例えば、観光地内部における観光者の歩行行動を調査した場合、通常考えられる範囲の歩行速度や歩行加速度を上回る地点や、歩行可能な範囲外の地点を除去するのである。また、GPS 衛星の配置状態から、信頼性の低いデータを除去する方法もある。信号を受信して

いる GPS 衛星が上空の一カ所に固まっていたり、直線上に並んでいたりするときには位置情報の信頼性が低くなる。このような衛星の配置状態を指数化した PDOP (Position Dilution of Precision) や、その水平成分である HDOP (Horizontal Dilution of Precision)、垂直成分である VDOP (Vertical Dilution of Precision) などのデータも、GPS 機器によっては記録することが可能である。これらの値が許容範囲を超えた地点を、信頼性が低いとみなして除去するのである。しかしながら、特に位置情報の取得間隔が長い場合、信頼性の低いデータを除去する方法では時に有益な情報も除去されてしまう可能性がある。分析に要求される精度に応じてデータを補正していくことが必要であろう。

道路などの地図情報を利用して、データを補正する方法もある。道路ネットワーク上の歩行者行動データなどを補正する際には、対象となる道路ネットワークにデータを吸着して、位置情報を補正するのである。これは、対象となる道路ネットワークが小縮尺の空間スケールである場合には有効な方法であるといえる。その反面、GPS データの水平誤差に近い、大縮尺の詳細な道路ネットワークを対象とした場合には、実際の位置とは異なる道路に吸着させてしまう危険性もある。大縮尺の道路ネットワーク上で高い精度の行動データが要求される場合には、上記の信頼性の低いデータを除去する方法と組み合わせることも考えられる。

2010 年度に打ち上げが予定されている準天頂衛星の運用が始まれば、GPS システムのさらなる精度および感度が向上することが期待でき、補正する必要のある GPS データは相対的に減少すると思われる。この準天頂衛星により、日本上空にほぼ静止した状態の衛星が追加されることになる。これにより、例えば、建物の壁面に信号が反射されて誤差の要因となっていたようなマルチパスが改善されて精度が向上する可能性がある。また、準天頂衛星から GPS 衛星の軌道情報が配信されることにより、現在地の測位を完了するまでの時間が短縮される。これは、GPS の信号を受信できない屋内から屋外へ出たときに、現在地を素早く特定できることにつながる。このことから、屋外に建物が点在するような観光地などでは、さらに詳細な観光者の行動を記録できるようになることが期待される。

3.3 事例調査の概要

多摩動物公園で行った調査は、来園者に GPS ロガーを配布して歩行軌跡を記録する調査、および来園者の属性などを尋ねるアンケート調査である。本調査は来

園者の行動の実態を把握することが目的であるため、リアルタイムで位置情報を取得する必要がない。そこで、調査には汎用の GPS ロガーを用いた。調査に用いた GPS ロガーは、Qstarz 社の Black Gold 1300 であり、上空が開けていることなど最適な条件のもとでは水平誤差が 3 m の精度を持つ。また、重量が 22 g と軽く、一回の充電での連続動作時間は 12 時間程度である。調査には 39 台の GPS ロガーを用い、1 秒間隔で歩行軌跡を記録した。通常、歩行軌跡を記録する場合には速度が遅いため、記録時間の間隔は 5 秒程度でも問題はない。しかしながら、信頼性の低いデータを除去するデータ補正方法を用いる予定であったため、補正後も十分な情報量を確保するために 1 秒間隔で記録を行った。

多摩動物公園の出入り口は正門の一角所だけであるため、GPS ロガーは正門で配布し、正門で回収した。回収と同時に、紙の調査票によるアンケート調査を行った。調査日時は、2009 年 7 月 9 日 (木) ~12 日 (日) の 4 日間、調査時間はいずれも開園~閉園までの時間である。また、8 月 1 日 (土) には、閉園時間を延長するナイト・ゾーンが実施されていたため、16 時~閉園までの時間帯で調査を行った。

7 月 9 日~12 日の 4 日間では、合計 247 の有効な GPS ログを取得することができた。調査日の天候はいずれも晴れまたは曇りであり、気象庁のアメダス観測所(八王子)のデータによると、各日の最高気温は 30.5°C (9 日)、31.6°C (10 日)、27.3°C (11 日)、28.6°C (12 日) となっている。

8 月 1 日の調査は閉園時間を延長するナイト・ゾーン開催時に合わせた調査である。夕方 16 時~閉園の 20 時まで調査を行い、合計 38 の有効な GPS ログを取得することができた。調査時の天候は晴れ。アメダス観測所(八王子)のデータによると、この日最高気温を記録したのは 16 時の時点で、27.9°C であった。

取得した GPS データには加速度および速度の両方で補正を行った。具体的には、加速度 $-1.5 \sim 1 \text{ m/sec}^2$ の範囲外のデータを異常値とみなして除去した上で、速度 60 km/h 以上の地点を除去した。さらに、動物園内の来園者が通行可能な通路から 3 m 以上離れた地点も除去した。

IV. GPS データの探索的分析

調査によって取得した GPS データはしばしば膨大な量となり、そこから観光者の行動パターンなどの有

益な情報を抽出するには、さしあたって探索的な分析手法が有効になるであろう。本章では、GPS データを探索的に分析する手法について概観する。これまでの GPS を利用した研究では様々な分析手法が用いられてきたが、本章では主に GIS ソフトを使って GPS データを可視化する手法に注目し、各手法の有効性を検討したい。事例として、2009 年 7、8 月に多摩動物公園で行った調査のデータを用いる。

4.1 2次元の可視化手法

最も簡単に GPS データを可視化する方法は、2次元の地図上に GPS により取得した点、あるいはそれらの点を線でつないだ軌跡を表示することである。これにより、被験者がどの経路を通過して、どこへ行ったのかが分かる。この方法は 1 人、あるいは 1 グループの軌跡を表示する分には問題ないが、行動パターンを発見する目的で、複数の被験者を対象に大量のデータを重ねて描画すると判別が容易ではなくなる。

このような場合、GPS ロガーで取得した点のカーネル密度を計算して表示することで、簡潔に行動パターンを発見することができる(有馬 2009)。カーネル密度は、密度を計算する地点を中心として、任意に指定した検索半径内の点密度を、計算地点からの距離減衰効果による重み付けを伴って計算する手法である(中谷ほか 2004)。カーネル密度の計算においては、検索半径が重要なパラメータであり、検索半径が短いと局所的な傾向、検索半径が長いと広域的な傾向を表すことになる。カーネル密度は、代表的な GIS ソフトである ArcGIS のエクステンション、Spatial Analyst の機能を用いて計算できる。

一定時間間隔でログを記録していた場合には、密度が高い地点は 1 人の被験者が長時間滞留する地点、もしくは多数の被験者が訪れる地点である。これにより、滞在時間が長いのか、多数の被験者が訪れる人気地点を抽出することが可能となる。

多摩動物公園の調査結果から任意の 5 グループのログを抽出して、開園から閉園までの全時間帯のデータを対象にカーネル密度を計算した(図 2)。検索半径は 10 m である。密度が高い部分が、GPS で取得した点が集中し、被験者の滞在時間が長い箇所である。ウォッチングセンター前やカンガルー前広場において密度が高いことが明らかである。来園者がこれらの場所で休憩しているため、滞在時間が長くなっているものと思われる。次いで密度が高い部分がチーターの前である。これは、チーターを撮影するカメラマンが被験者に含

まれていた可能性が高い。動物を撮影するカメラマンは、特定の動物を撮影対象として、一日中その前から動かないというような行動をとる場合もあるためである。ほかに密度の高さが目立つのは、ライオン、オランウータン、ユキヒョウの前である。計算対象とした5グループの中ではこれらの動物は平均的に人気が高く、これらの動物展示の前で一定時間立ち止まって観覧していたのであろう。また、ライオンバス乗り場でも比較的高い密度がみられる。多摩動物公園の目玉でもあるライオンバスは、休日ともなるとしばしば長蛇の行列ができる。行列の待ち時間が長いために、密度が高くなっているのである。

カーネル密度には欠点もある。1人のログの密度を計算する場合には密度の高さは滞在時間の長さを表すが、複数人のログの密度を計算した場合、密度の高さはある1人の滞在時間が長いことを表すのか、多数の人が立ち寄ることを表すのか、判別がつかないという点である¹⁸⁾。また、カーネル密度は任意の一時点、もしくは一定の時間間隔で区切った点の密度を計算するため、密度の時間変化を検討するには、密度を計算した地図が何枚も必要になる。

4.2 3次元の可視化手法

GPS データには、2次元の位置情報の他に時間情報も属性として記録されている。この時間情報を利用して、2次元のXY座標で表された空間に、時間軸Zを

加えて3次元で軌跡を表現する方法がある。この表現方法は時間地理学で用いられてきた時空間パスとして有名である (Kwan 2000)。

そこで、8月1日のナイト・ズー開催時の調査より、調査を行った16~20時までを対象に、全39グループのログを重ねて時空間パスを描いた(図3)。3次元の時空間パスは、ArcGISのエクステンションである3D Analystを使って描くことができる。この時空間パスから分かる来園者の特徴的な行動は、ナイト・ズーを実施している園内東側のアフリカ園ではなく、通常の営業時間で閉園してしまう西側のオーストラリア園、アジア園に先に向かうことである。その後、通常の閉園時間である18時を境として、ナイト・ズー実施時間に開園しているアフリカ園に来園者が集中し、特に休憩所が混雑している様子が見られる。このように来園者の時空間パスを重ねて描くことで、来園者の時空間的な行動を記述し、時間帯による局所的な来園者の集中度合いなどを判断できるのである。

時空間パスは、PCのディスプレイ上で回転させるなどの対話的操作を行うと、集中箇所を発見することがより容易になる。しかしながら、描画するパスの数が多くなってくると、パターンを発見するのが難しくなるのも事実である。この点に関しては、2次元のカーネル密度を3次元の空間に拡張する試みも行われており(中谷・矢野 2008)、時空間的な行動パターンの発見に活用されていくことが期待される。

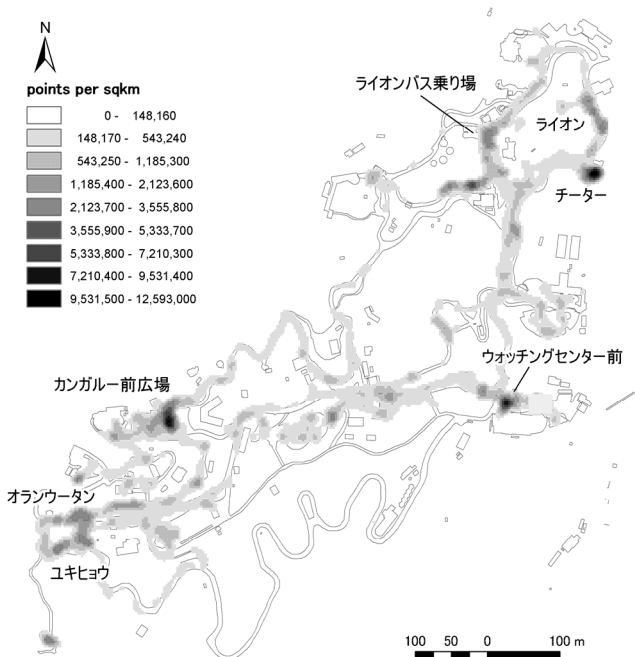


図2 多摩動物公園における来園者のカーネル密度

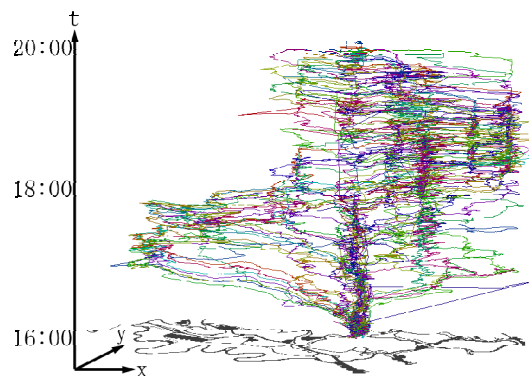


図3 多摩動物公園ナイト・ズー開催時における来園者の時空間パス

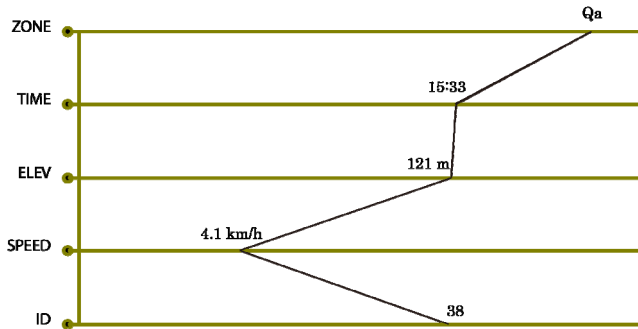


図4 PCPの例

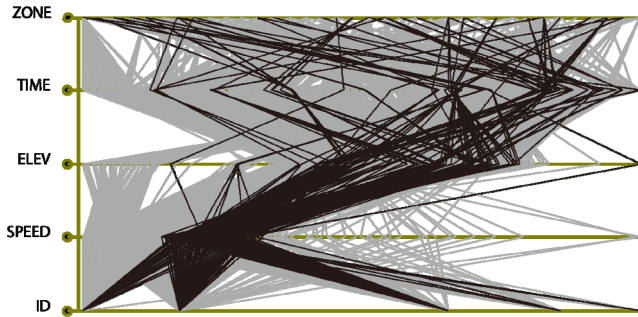


図5 多摩動物公園来園者のPCP

注) 太線は選択後に強調表示されたデータ

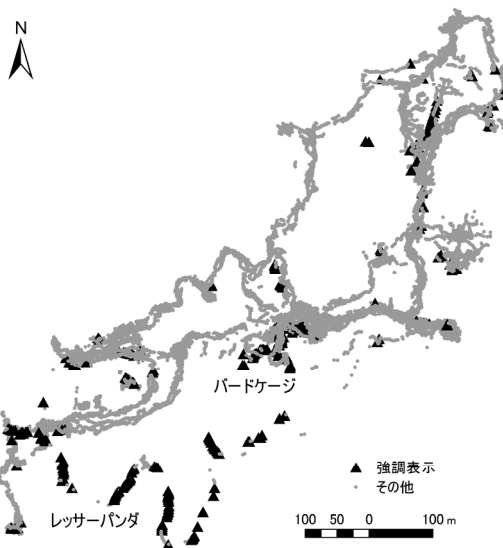


図6 PCPと連動した地図表示

4.3 多次元の可視化手法

空間・時間の3次元に加えて、GPS調査では高度や、速度などのデータも取得できる。また、アンケート調査で観光者の属性や観光資源への評価などを取得した場合、これら複数の属性は多次元のデータとなる。時間地理学分野では、これら多次元のデータを可視化し、人の活動を表現する手段として、Parallel Coordinate Plot (以下、PCP) という手法が援用されている (Couclelis 2009)。ここでは、散布図のような直交座標上にデータをプロットするのではなく、平行座標上

にデータを表現する。

PCPの例として、多摩動物公園で取得したデータから、任意の被験者の属性データをGISソフトのOpenGeoDa¹⁹⁾を用いてプロットした(図4)。ここからは、ID番号38の被験者が15時33分に、動物園を31に分割したゾーンのうちQaゾーン内において、標高が121mの地点を速度4.1km/hで移動していたことが読み取れる。さらに、多摩動物公園の調査結果のうち、任意に抽出した5グループの開園から閉園までのデータをPCPで表現した(図5)。PCPでは、グラフ上で対話的に任意のデータを選択して、強調表示することができる。ここでは、比較的速い速度である3~5km/hで移動しているデータを強調表示した。この強調表示からは、速い速度で移動している地点と標高の高さには相関があること、15時以降の時間帯に速い速度で移動している地点が多いことなどが読み取れる。また、OpenGeoDaのように、GISソフトの中にPCPの機能が組み込まれている場合、PCP上の強調表示を地図表示と連動させることができる。つまり、PCP上でデータを選択すると、対応するデータが地図上で強調表示されるのである。地図からは、速い速度で移動している地点がユキヒョウ~レッサーパンダ、バードケージなどの動物展示付近にあることが読み取れる(図6)。これらの結果を合わせると、午前中に来園した場合には15時以降には園内の滞在時間が長くなっていること、さらに閉園時間が近づいていることもあり、動物展示の前であまりじっくりと立ち止まらず、早めに移動することが読み取れる。

4.4 文字列への変換

被験者の行動は、一連の文字列として表現することも可能である。行動を文字列に変換する際には、睡眠や昼食、仕事などの活動内容を任意の文字として表し、それらの文字を配列する方法がよく用いられる。一方で、対象地域をいくつかのゾーンに区切ってそれぞれのゾーンに文字を割り振り、被験者が滞在したゾーンを時系列で文字列化する方法もある。GPSを用いた行動調査では、活動内容を尋ねる調査を別に行わない限り、対象地域をゾーンに区切って文字列を作成することになる。

事例調査では、活動内容を尋ねる調査は行わなかったため、滞在したゾーンを文字列としてコード化する手法を試みた。まず、多摩動物公園を31のゾーンに区分した(図7)。このゾーンのデータと、来園者の歩行軌跡をGIS上で空間結合し、来園者が滞在したゾーン

- 4) 1990 年前半には、移動に限らず、GPS を利用した調査自体がほとんどみられなかったが、南極調査を行った岩田ほか (1991:393) が、GPS が小型で軽量であり、短時間での測位が可能であったため、調査の効率化に役立ったことを報告した。
- 5) 細田・西出 (2005) では、単位距離あたりの滞在時間と表記されているが、これは移動速度に該当するものと推測される。
- 6) 荒川・兼田 (2002) によれば、回遊行動における冗長性とは、ある回遊行動における回り道や寄り道、順序計画とのズレを示すもの、またその度合と理解される。
- 7) 川村ほか (2005) は他にも、放牧強度と 2 つの植物群落別総量との関係を考察し、休息や反芻などの影響に比べて、採食のほう草量に与える影響がより強いことを指摘している。
- 8) Animal Movement については、website (http://www.abc.usgs.gov/giba/gistools/animal_mvmt.htm) を参照のこと (Hooge and Eichenlaub 1997)。Animal Movement を利用した研究は他に石塚ほか (2007) などがある。
- 9) 2000 年代前半に提案された分析手法は、Web ページの巡回パターン発見などによく用いられるシーケンスマイニングと呼ばれる手法 (柳沢ほか 2003) によって、移動遷移情報を分析するものが多かった。
- 10) ロバスト性とは、工学や情報学の分野などで使用される用語で、誤ったデータや、データのノイズに対しても、システムに影響を与えず、安定して動作する度合を示す。
- 11) 李ほか (2008) では、それぞれの空間を断面図で表し、建造物や芝生、水面などの空間構成要素から空間タイプを 9 つにわけ、それぞれの空間タイプと行動パターンの関係を考察している。
- 12) 樹木の芽から葉が広がることを展葉といい、それらが開始する時期を線上に結んだもの。
- 13) 2000 年代後半に提案された手法は、クラスター分析などの手法を用いて、滞在空間のまとまりを分類することに重きを置いた研究が多い。
- 14) 表 3 において、動物用の首輪型 GPS を販売しているのは、Televilt 社と Lotek 社、Telonics 社などがある。
- 15) アンテナに該当するもの。
- 16) その一方で、GPS の移動軌跡をより細かに考察するものもあり、そのような研究の場合は少数の調査数でも研究は可能である。
- 17) ディファレンシャル GPS の信号を送信する GPS 衛星もあり、日本上空では MSAS が運用されている。
- 18) この点に関しては、被験者ごとに休憩施設や動物展示前における滞在時間を計算し、平均と標準偏差を求める

ことである程度解決することができる。

- 19) Anselin が開発したフリーの地理空間分析ソフト。
<http://geodacenter.asu.edu/software/downloads>

参考文献

- 荒川雅哉・兼田敏之 2002. 名古屋都心域における回遊行動の冗長性に関する分析. 日本建築学会計画系論文集 556: 227-233.
- 有馬貴之 2009. 上野動物園と多摩動物公園における空間利用の時空間変化とその地域的差異. 地理情報システム学会講演論文集 18: 9-14.
- 石塚 謙・川井裕史・大谷新太郎・石井 亘・山本隆彦・八丈幸太郎・片山敦司・松下美郎 2007. 季節、時刻および植生が大阪のニホンジカ (*Cervus nippon*) の行動圏に及ぼす影響. 哺乳類科学 47: 1-9.
- 泉山茂之・望月敬史・瀧井暁子 2009. 南アルプス北部の亜高山帯に生息するニホンジカ (*Cervus nippon*) の GPS テレメトリーによる行動追跡. 信州大学農学部 AFC 報告 7: 63-71.
- 岩田修二・白石和行・海老名頼利・松岡憲知・豊島剛志・大和田正明・長谷川裕彦・Hugo Declair・Frank Pattyn 1991. セールロンダーネ山地地学調査隊報告 1990/91 (JARE-32). 南極資料 35: 355-401.
- 大森宣暁・室町泰徳・原田 昇・太田勝敏 1999. 高精度情報機器を用いた交通行動データ収集の可能性. 都市計画論文集 34:169-174.
- 太田智数・波多野賢治・吉川正俊・植村俊亮 2001. ウェアラブル環境における行動履歴を用いた情報提示. 電子情報通信学会技術研究報告 DE101(110): 1-7.
- 小野 玲・堀山貴之・井上順一郎・平田総一郎 2007. GPS による行動範囲の定量化は身体活動測定に有用か?. 理学療法学 34: 184.
- 角尾嘉頭・楯列哲也・宗本順三・若江直生 2005. 経路探索における「不安度」の変化とその要因—GPS ナビゲーションを用いた経路探索行動の研究その 1. 日本建築学会大会学術概欄集 E-1: 1069-1070.
- 川村健介・秋山 侃・横田浩臣・安田泰輔・堤 道生・渡辺修・汪 詩平 2005. 草原生態系の保全と持続的利用にむけて—衛星モニタリングと GPS/GIS. 日本生態学会誌 55: 327-335.
- 韓 宇寧・南斎衣重・宗本順三・松下大輔・湯川晃平 2008. GPS を用いた長浜市における小学生の放課後の屋外行動その 1. 日本建築学会講演概欄集 E-1: 865-866.
- 高坂宏行・関根智子 2005. 「GIS を利用した社会・経済の空間分析」. 東京: 古今書院.

- 興梠正克・蔵田武志 2006. 組み込み型 GPS・自蔵式センサシステムによる屋内外歩行者ナビ. 電子情報通信学会技術研究報告 MI75: 75-80.
- 小島大輔 2008. 熊本市における観光行動の空間的特性—主要施設来訪者の行動分析から. 地理科学 63: 49-65.
- 杉本安寛・松岡陽平・守屋和幸 2005. 水飲み場の移動が林内放牧牛の行動圏に及ぼす影響. 日本畜産学会報 76(1): 39-49.
- 鈴木直彦・平澤宏祐・田中健一・小林貴訓・佐藤洋一・藤野陽三 2006. Hidden Markov Model を用いた逸脱行動人物検出. 電子情報通信学会技術研究報告 DE106: 43-48.
- 鈴木直彦・平澤宏祐・田中健一・小林貴訓・佐藤洋一・藤野陽三 2007. 人物動線データ分析による逸脱行動人物の検出. 情報処理学会研究報告 CVIM31: 109-115.
- 鈴木富之 2007. 香取市佐原重要伝統的建造物群保存地区来訪者の観光行動の空間特性. 総合観光研究 6 :35-47.
- 高倉弘喜・萬上 裕・上林弥彦 1998. 利用者状況に適応した個人向け地理情報システム. 情報処理学会研究報告データベースシステム 116: 149-156.
- 徳安朋浩・山里敬也・片山正昭・小川 明 1996. 低軌道衛星を用いた海洋生物生態観測システムの一検討. 電子情報通信ソサエティ大会論文集 通信: 541-542.
- 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. 電子情報通信学会技術研究報告 ICS29: 7-12.
- 長尾光悦・川村秀憲・山本雅人・大内 東 2005a. GPS ログからの周遊型観光行動情報の抽出. 情報処理学会研究報告 ICS78: 23-28.
- 長尾光悦・川村秀憲・山本雅人・大内 東 2005b. GPS ログマイニングに基づく観光動態情報の獲得. 観光と情報 1:38-46.
- 中里盛道・大森宣暁・円山琢也・原田 昇 2004. GPS 携帯電話を用いたアクティビティダイアリー調査に関する研究. 交通工学研究発表会論文報告集 24: 261-264.
- 永田未奈美・南斎衣重・宗本順三・松下大輔・石川真美 2008. GPS を用いた G 小学校児童の下校後の屋外行動についての研究—その 2 データから抽出した児童の行動の分析と行動実態の把握. 日本建築学会大会学術講演便概集 E-1: 875-876.
- 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」. 東京: 古今書院.
- 中谷友樹・矢野桂司 2008. 犯罪発生の時空間 3 次元地図—ひたくり犯罪の時空間集積の可視化—. 地学雑誌 117(2): 506-521.
- 南斎衣重・杉原祥平・宗本順三・松下大輔・二江卓磨 2007. GPS を用いた小学生の下校後の屋外行動の研究その 2. 日本建築学会大会学術講演便概集 E-1: 1041-1042.
- 西野正彬・瀬古俊一・青木政勝・山田智広・武藤伸洋・阿部匡伸 2008. 滞在地遷移情報からの行動パターン抽出方式の検討. 情報処理学会研究報告 UBI110: 57-64.
- 西村雄一郎・岡本耕平・ソムキット ブリダム 2008. ラオス首都近郊農村における GPS・GIS を利用した村落住民の生活行動調査. 地学雑誌 117: 568-581.
- 野村幸子・岸本達也・伊藤一秀 2004. GPS 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. 地理情報システム学会講演論文集 13: 113-116.
- 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. 総合論文誌 4: 72-77.
- 橋本俊哉 1993. 徒歩スケールの観光回遊に関する研究—飛騨高山での外国人観光者の回遊実態の分析. 観光研究 5: 11-20.
- 橋本俊哉 1996. テーマパークにおける行動特性に関する研究—東京ディズニーランドにおける回遊実態の分析. 応用社会科学研究 38: 93-106.
- 橋本俊哉 1997. 「観光回遊論—観光行動の社会工学的研究」. 東京: 風間書房.
- 羽藤英二 2003. 交通データとモデル—プローブパーソントリップ調査の実行可能性と課題. 土木計画学研究・講演集 27: CD-ROM.
- 羽藤英二・白石 岳・高野精久・丸山隆英・三谷卓摩 2002. リアルタイム位置データを基にしたクロウンシミュレーション: ワールドカップ札幌会場におけるケーススタディ. 土木計画学研究・講演集 26: CD-ROM.
- 羽生冬佳・黒田乃生・高橋正義 2002. 白川村萩町における観光行動と観光対象としての集落風景に関する研究. ランドスケープ研究 65: 785-788.
- 原口竜也・森川博之・水町守志 1996. 回避行動テーブルを用いる 3 次元衝突回避手法に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告 SANE96: 25-32.
- 藤田 朗・半明照三・山田雅夫・大内 浩・三宅理一 2003. GPS 携帯電話を用いた回遊行動の調査分析—小田原市中心市街地を事例として. 日本建築学会大会学術講演概欄集 F-1:855-856.
- 藤野里美・石澤太祥・渡邊敏央・竹内真理子・小檜山賢二 2007. 携帯情報端末を利用した Field Archiving System の研究開発. 情報処理学会研究報告 MBL14: 45-51.
- 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—箱根地域を事例として. 都市計画論文集 41: 1-6.

- 細田崇介・西出和彦 2005. コドモの行動に見る空間の組織化に関する研究. 日本建築学会大会学術講演概欄集 E-1:993-994.
- 本郷達也 2003. GPS による移動データを用いた奈良飛鳥地域での周遊行動の分析. 土木学会年次学術講演会講演集第4部 58:441-442.
- 宮井俊輔・吉野 孝・宗森 純 2005. 位置情報を用いた同期型ゲームシステムの開発. 情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理研究会報告 92: 13-18.
- 森本健弘・村山祐司・近藤浩幸・駒木伸比古 2004. 行動地理学における GPS・GIS の有用性—野外実習を通じて. 人文地理学研究 28: 27-47.
- 柳沢 豊・山田辰美・佐藤哲司 2003. 実世界中で行動する人間の移動軌跡データからの特徴抽出. 情報処理学会研究報告 UBI115: 43-48.
- 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. 第24回日本観光研究学会全国大会学術論文集: 229-232.
- 山本康裕・伊藤 弘・小野良平・下村彰男 2006. GPS を用いた新宿御苑における利用者の行動パターンに関する研究. ランドスケープ研究 69: 601-604.
- 吉田勝美・杉森裕樹 2003. GPS 付き携帯端末及び地理情報システム (GIS) を用いた高齢者行動分析. 千葉大学環境リモートセンシング研究センター年報 8: 32-33.
- 李 早・宗本順三・吉田 哲・唐 ペン 2008. GPS を用いた水辺での行動の研究—中国の住宅団地における水景施設での歩行実験. 日本建築学会計画系論文集 73: 1665-1673.
- 若江直生・楯列哲也・宗本順三・角尾嘉顕 2005. 「確信度」を上昇させるオブジェクト配置—GPS ナビゲーションを用いた経路探索行動の研究その2. 日本建築学会大会学術概欄集 E-1: 1071-1072.
- 早稲田大学池原研究室 1972. 建築計画における行動科学の新展開. 建築文化 11: 129-140.
- 渡邊悠介・富岡健治・藤田 茂・菅原研次・今野 将 2007. 共生コンピューティングの概念に基づく子供の見守り支援システム. 電子情報通信学会技術研究報告 AI106: 65-68.
- Chowdappa, R., Hasegawa, N., Goto, M., Kozono, M., Fujishiro, T., Takahashi, T., Takagi, M., Nogami, K and Sonoda, T. 2005. Behavior and Ruminant Characteristics of Japanese Black Cattle Grazing in Forest of Young Tree Plantation and Native Grassland. *Animal behavior and Management* 41(3): 149-156.
- Couclelis, H. 2009. Rethinking time geography in the information age. *Environment and Planning A* 41: 1556-1575.
- Fuji, K., Suzuki, M., Era, S., Kobayashi, M and Ohtaishi, N. 2006. Tracking Kuril harbor seals (*Phoca vitulina stejnegeri*) at Cape Erimo using a new mobile phone telemetry system. *Animal Behaviour and Management* 42(3): 181-189.
- Hooge, P. N. and Eichenlaub, B. 1997. *Animal movement extension to arcview. ver. 1.1*. Anchorage: Alaska Science Center - Biological Science Office, U.S. Geological Survey.
- Kwan, M. P. 2000. Interactive geovisualization of activity-travel patterns using three-dimensional geographical information systems: a methodological exploration with a large data set. *Transportation Research C* 8: 185-203.
- 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.
- Wilson, C. 2008. Activity patterns in space and time: calculating representative Hagerstrand trajectories. *Transportation* 35: 485-499.

(投稿 : 2009 年 12 月 12 日)

(受理 : 2010 年 1 月 20 日)