

## 人の空間行動の計測と利用

柴崎亮介、趙卉菁、中村克行、金杉洋、鶴岡政子  
(東京大学・空間情報科学研究センター)

要旨： 実空間内での人間の行動を計測する技術は多数存在するが、それらをさまざまな応用に結びつける際には、各応用分野で蓄積されてきた人間行動に関するモデルなどとの整合性を考慮しながら、計測技術やデータの処理・統合技術をリンクし直す必要がある。本稿では交通など行動計測から利用に至る流れが比較的整備されている分野を例として、人間活動の支援に寄与する空間行動計測技術のこれからの方向性を論ずる。

### Monitoring Technologies of Human Behavior in Space and their Applications.

Ryosuke SHIBASAKI, Huijing ZHAO, Katsuyuki NAKAMURA, Hiroshi KANASUGI,  
Masako TSURUOKA (Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo)

Abstract: There are many monitoring and measurement technologies of human behavior in a real world space. However, to establish better linkage to applications, the integration of the monitoring/measurement technologies and behavioral data analysis/modeling techniques have to be made based on the accumulation of scientific knowledge on human behavior in each application domain. This paper discusses how the integration can be effectively made to provide context-aware services to support human behavior taking examples of possible integrations in transportation, and marketing, and so forth, where quantitative data have been collected and analyzed for modeling human behavior

#### 1. 空間行動計測の目的

本稿では、人間行動のトラッキングといった行動計測技術をどのような目的に利用するかという視点から、今後、どのように技術をインテグレーションするのか、特に行動データの解析やモデリング技術との関連から整理する。人間行動の計測が利用できる分野は、リハビリなどの医工学からコンピュータゲームなどのエンターテインメント、不審者監視などのセキュリティ管理、交通情報の提供などきわめて多岐にわたる。そのため、それらをすべて網羅的にカバーすることはできないが、「人の行動を支援する」という視点から計測技術を眺めることとする。行動支援は工学的なアプリケーションでは中心的概念であり、この軸で整理することで、それなりに広い領域をカバーできると考える。

#### 2. 空間行動とは

空間内での人間の物理的な移動やそこで行う活動を空間行動としよう。すると日本国内

を飛び回る出張も、スーパーマーケットでの買い物も空間行動として捉えることができる。行動は一般に、探索などにより得られる行動オプション(選択肢集合)から一つの行動を選び取るプロセスとしてモデル化される。その際、所得や利用できる時間などの制約条件に加え、どの行動オプションを選択とするとどの程度の満足度、金銭的なリターン、すなわち「効用」が得られるかが考慮されていると考える。いわゆる制約条件下での効用関数の最人化である。また、朝起きて会社に行き、得意先を回り、打ち合わせに出席し、夜は友人と会って食事する、というように人間の行動は、さまざまな行動の連鎖でもある。そのため、個別行動の局面で、それぞれ効用関数が最適化されるというだけでなく、一連の行動連鎖を通じて、全体として効用が最大化されると考え方が取られることもある。

空間行動を計測・把握する場合には、対象者が実空間上のどこにいてどのように移動しているかという情報だけではなく、どのよう

な目的・意図を持ち、どのような行動オプションの中から、どのような制約に基づいてその行動を選んでいるのか？という背景も把握する必要がある。

### 3. 「意味・目的空間」での空間行動

なぜ、目的、行動オプションなどを理解する必要があるのであるだろうか？同じ場所にいる人間でも、会議に遅刻しそうになって会議場所までの地図を探している人間と、ゆっくり町を見物している観光客では求めているサービスが全く異なるからである。人間行動を効果的に支援するためには、行動の目的、その人間の持っている選択肢などを知ることが必要である。なお、選択肢は予算が足りない、時間が無いという条件から絞り込まれるだけではない。情報が無い（存在すら知らないレストランにはたどり着きようがない）というのも選択肢を狭める大きな要因である。情報サービスは適切な選択肢情報を提供することで大きな貢献ができる。

位置や軌跡で表現される空間行動が「実空間」での行動と呼べるとしたら、自分が認識している選択肢集合の中から、目的に適合した行動選択を行うという「行動」は、「意味・目的空間」での行動と呼ぶことができよう。ここでは、その人間が認識している世界を「意味空間」になぞらえ、さらに行動が「目的」により駆動されていることを考えて、「意味・目的空間」内での行動とした。目的が異なる行動の連鎖は、もちろん実空間内での人間の軌跡として表現できるが、意味・目的空間内での軌跡としても表現できる。

実空間での行動と、意味・目的空間での行動を両方把握することで、その人間の行動をより効果的に支援できる。

### 4. 空間行動の諸様相

上記のような概念的な枠組みを緩やかに共有しながらも、分野により異なるモデルとして表現されている。以下にデータに基づいた定量的な解析やモデリングが比較的行われている分野についてその違いを概観する。

#### 1) 交通

交通は行動の計測、モデル化、予測などがもっともシステムティックに行われている分野の一つである。東京都市圏でも10年に一

度ではあるが、90万人に近い人々に対して、一日の空間行動を位置や利用交通機関だけでなく、行動目的までもふくめて調査することが行われている。また、最近話題になることの多くなったプローブカー（GPSなどにより連続的に移動軌跡のわかる車輛から挙動情報を得て、交通渋滞などの空間的・時間的な広がり情報などの推定に利用している。）以外にも、道路利用者へのアンケートを通じて移動ルート、目的などを調査する道路センサスなどがある。交通では多くの場合、空間行動は目的地から目的地への移動と捉えられ、移動の目的は目的地へ着くことで達成される、つまり移動自体を楽しむといった目的は存在しないと想定されている。したがって、「移動ルート」と「目的地（と目的の内容）」の連鎖で交通行動は表現され、この「概念モデル」が交通行動の分析、予測の基礎となっている。

そのため、プローブカーのGPSから得られる情報も座標点列のままでは使えず、まず道路ネットワークに投影して移動ルートとする必要がある、さらにどこが目的地であったのかを推定する必要がある。というのもプローブカーなどから得られる情報は単なる移動の軌跡であり、停車した箇所も数多く含まれているが、その停車箇所のうちどれが本当の目的地であったのか必ずしも明確ではないからである。もっと致命的なことは、車を降りた利用者がそこで何をしたかがわからないことで、そのため「目的」が何であったのかは、停車箇所周辺の建物名称などから類推する他はない。

しかし、これまで交通分野での最大の関心事は渋滞予測であり、渋滞は多くの場合通勤といった日常交通で引き起こされることから、調査対象者が朝、家を出て勤務地周辺で停車したらこれは通勤目的の交通であるというように、調査対象者の属性情報と「日常の行動」を組み合わせることで推定精度の向上が計られている。

#### 2) 買い物

買い物も多くの交通行動と同じく日常的な活動である。また目的も明確であるが、掘り出し物を探すというのでもわかるように、交通と異なり目的と目的地（店舗、売り場）が固定的に対応しているわけではない。そのた

め、移動の目的は早く着く、だけではなく、情報を得る・探索することであり、移動しながらどのような情報を得たか（たとえば、どの広告が見えたか、どのような商品を手を取ったか）という情報が重要になる。そのため、マーケティングの現場では、探しながら移動しているのか、単に次の売り場に移るために移動しているのか、どこで立ち止まってどの商品を見たか、手に取ったか、最終的に買ったのは何か、という一連の行動チェーンを得ることが重要になっている。

また、買い物客は相対的に情報が不足している状況にあることから、買い物の意図や客の好みを考慮した情報サービスは効果があると考えられる。

### 3) 観光

観光は非日常的である。つまり移動者側に相対的に情報が十分でなく、探索しながらの行動になる。また各行動だけを見ると目的がショッピング、見物、食事、休憩、探索などと連鎖的に変化する。そうした目的の連鎖が、一つの物語となって総体として観光者の満足度を高めると言える。その意味で、観光に関しては目的の連鎖がどのように連なっていくのが最も重要である。ちょっと見て面白そうだったので、そこに立ち寄りということでもわかるように目的の連鎖そのものも外部から情報の影響を受けやすく、外部環境（何が見えるか、どんな観光ガイド情報が得られたかなど）と目的の連鎖とはインタラクションがある。

### 4) 避難行動

避難行動もまた非日常的であるが、行動目的が「生命と身体の安全のために逃げること」であり、きわめて単純であるため、目的の連鎖といったような課題はない。しかし、行動選択にあたっては周辺状況の不確実性が最も大きく、かつ避難者の認知能力が損なわれることも少なくないことから、避難者の行動把握ばかりでなく、周辺状況のモニタリングと、避難者への情報（最適行動オプション）の提供が重要な課題となる。

### 5. 何を計測するのか

ここまで明らかになったように、空間行動の計測において位置がわかるというだけでは、人の滞留密度を算定するといったきわめて限

定的な利用しかないことがわかる。しかし、リアルタイムにさまざまな状況を計測できるセンシング技術が人間の行動支援に結びつけば、大きな社会貢献となることは明らかであり、両者を直接リンクさせる努力が望まれている。

重要なことは、対象者の移動を実空間内だけでなく、意味・目的空間へマッピングすることである。対象者の行動目的を知ることができれば、提供すべきサービスの内容を大きく絞り込むことができる。さらに対象者が、周辺の空間・状況をどのように認知しているか、あるいはどの程度の知識を持っているかを知ることができれば、それを補完する選択肢情報を提供することができる。

そのためには本人の年齢、訪問履歴などの属性情報が必要となるが、それ以外にも対象者の「内面」を間接的に表す情報を得ることができる計測技術が登場するかも知れない。

また、対象者周辺の状況を計測することも必要となる。周辺状況の把握のためには一般に地図情報などが用いられているが、「人が並んでいるのでつい並んでしまう」ように人の行動はその瞬間の微視的な周辺状況により影響されることも少なくない。また避難誘導に代表される対象者の安全確保サービスでは周辺に危険がないことを確認することが重要であり、行動計測と同時に周辺状況の把握も重要である。

### 6. どのような計測技術が望まれているのか？

1) 意味・目的空間内での行動を計測する技術  
意味・目的空間内での行動を直接的に計測することは容易ではない。そこで直接計測できる実空間内での行動結果から、対象者を意味・目的空間にマッピングできる技術が必要である。

一方、人間の心理状態、生理学的な状態を測る方法としては、ウェアラブルセンサなどを利用して心拍や血圧、脈波、呼吸量、皮膚電気活動などの計測手法がある。さらに加速度計などのデータから体の微少な揺らぎを検出し、身体状況を把握する方法などもある。工場内での作業のように、作業そのものが基準化され、目的の揺れなどを考慮する必要がない場合においては、こうしたセンシング技術を、いわゆる人のトラッキング技術などと組み合わせることで、

作業員が現在どのような作業を行っているのか、ミスはしていないかなどを検知し、警告情報などを出すことも可能である。しかし、より一般的な場合には、対象者の属性情報などを加味して推定を行うことが不可欠にある。

交通や観光などの分野では、実空間での行動軌跡と行動目的とを関連づけたデータが存在するので、それらを使って、行動軌跡から行動目的を推定することは可能である。しかし、従来の多くの分析では、多数の対象者から得られたサンプルデータを集計して、傾向を分析する方法が一般的に用いられている。この方法では、たとえば1000人に共通する傾向は見いだせるが、一般にそうした傾向は統計的な優位性も低く、実際のサービス提供には役に立たないことが多い。個人の行動の背景には、嗜好、経験など多くの「個別的」要因があり、多数のサンプル平均ではこうした傾向がノイズとなってしまいうためと考えられる。

一方、情報技術の強みは個人の特性に応じた1対1サービスを提供できることである。たとえば、各利用者について過去から現在までの履歴に着目し、現在までの行動結果データから次の行動や目的を推定できれば、さまざまなサービスの提供ができよう。また個人の嗜好が比較的安定していることなどを考えると、個人に着目した推定モデルがかえって有効である可能性もある。

またリアルタイム計測技術があれば、個人の行動を蓄積、モニターして、その推定モデルを介して、次の行動を推定するという実験を繰り返して、モデルの精度を実証的に向上させることができる。

## 2) データの統合技術

データの統合は二つの側面で重要になる。一つは広域のカバーである。多くの場合単一のセンサでカバーできる範囲は限られており、広い領域をカバーするためにはデータを統合せざるを得ない。その際、各センサデータの中で同じ人を確認できることが重要である。

たとえば筆者らのグループではレーザーレーダを利用したトラッキングシステムを開発してきており、比較的広い範囲をセンサ統合によりカバーすることができている。しかし、対象者の同一性の判定は困難であり、カメラなどの組み合わせが不可欠であるというのが結論である (Zhao 2002)。

もう一つは、行動軌跡や過去の履歴などの属性情報、心拍などの生体情報などを統合する技術である。基本的には、行動・生体反応モデルをベースとした統合が中心になると予想される。これは対象者の意味・目的空間内における行動をトラッキングするためのものである。多数のセンサデータから広域の人の動きを再現する場合にも、実空間内の人間の移動傾向に関するモデルを使うことで、再現精度を上げることが可能であるという研究 (関本 2003) もあり、そうした統合も必要となろう。

## 3) 周辺環境の計測技術

最後に周辺環境の計測技術がある。たとえばGPSによる行動トラッキングは屋内などにおいて使えないと言うことを除けば、個人を同定しつつ、常にその行動をモニタリングでき、かつ心拍計なども組み合わせることで、生体情報なども得ることができ、行動モニタリング技術としては、大変優れているが、行動データを分析・解釈する際に、周辺状況がわからないために、問題が発生することも少なくない。周辺の混雑状況、対象者が何を見てどのような情報を周辺から得ているかなどを知ることができれば、意味・目的空間での行動トラッキングは大きく進歩する。

## 6. まとめ

人を見ること、その行動を背景も含めて理解することは、適切な支援サービスを実現する上で不可欠である。一方、人間の行動解析分野も、行動に関するデータが十分ないことが、発展のための課題となっており、計測技術と行動解析技術を組み合わせることは、今後非常に重要である。計測技術の進展とそれに見合った解析手法、行動モデリング手法の発展が期待される。

## 参考文献

[1] Zhao, H., Shibasaki, R., Ishihara, N., 2002. Pedestrian Tracking Using Single-row Laser Range Scanners. Proceedings of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 158-162.

[2] 関本義秀, 柴崎亮介, 多様な観測データや知識を用いた地物の時空間変化の再構成手法, GIS-理論と応用, Vol.11(2), pp.123-132, 2003.