

Title	歩行者の流れに関する可視化モデルの研究(芸術のプロジェクト)
Sub Title	A Study on the Visual Model of Pedestrian Flow(Projects Art)
Author	三宅, 理一(MIYAKE, Riichi) 鈴木, 拓夫(SUZUKI, Takuo)
Publisher	
Publication year	2004
Jtitle	Booklet Vol.11, (2004.) ,p.19- 30
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA11893297-0000011-04211278

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

歩行者の流れに関する可視化モデルの研究

三宅 理一 鈴木 拓夫

1. はじめに

本論考は、都市空間における人間の移動の問題に着目し、特に歩行者の移動に際する人間と空間の関係を問うものである。本来、人間にとって都市の空間は、自由に動き回ることができ、散策、くつろぎ、買い物など、各人のライフスタイルに合わせた行動を保障するものでなければならない。しかし、この半世紀ほどの間に、都市への極端な人口集中、モータリゼーションの驚異的な進展、人間無視の建設行為（たとえば歩道橋）、見苦しい景観などが顕著となり、前にも増して居心地が悪く人間らしさを欠いた環境となっている場合が少なくない。当然、歩行空間の再生は都市計画上の焦点の課題として認識されているが、問題は地域性や文化的背景を無視して一律のスタンダードを適用するわけにはいかないということである。それぞれの文化圏にふさわしい歩行者のための空間のあり方を考え、地域の人々が満足できる環境整備が必要である。誰もが日常的に経験している歩行という行為が、実はきわめて多様で意味深いものであることを認識し、その実態を正確に把握することに努めなければならない。本論考は、このような問題意識を前提に、歩行者と物理的環境の相互の影響関係を明らかにし、歩行行動の特性を把握した上で、その可視化モデルを通して人間にやさしい新たな歩行空間創出の可能性を探ることを目的としている^{★1}。

2. 研究の背景

都市空間の中で人間や車の移動を把握し、その可視化モデルを通して流れを制御しようという考え方は、今日「ナビゲーション」というかたちで交通計画に不可欠の領域をかたちづくりつつある。移動の可視化の試みは1960年ごろからアメリカの空間心理学の分野で実験的に行われるようになり、「イメージ・マップ」(ケヴン・リンチ)や「ノーテーション」(フィリップ・シール)といった表示モデルが注目を集めた。知覚と行動の関係に着目して人間の動きを捉えるこの方法は、環境心理学として飛躍的に発展して

いく。その後、シミュレーション技術の発展にともなってコンピュータ上でのモデル化が進み、さらには1980年代に入ってアフォーダンス理論が提唱されて人間と空間の相互作用性を前提とした空間知覚の方法が注目を集めることとなる。現実の都市空間の中で人や車の動きを瞬時に把握してその制御を可能にするシステムは、大容量の演算が可能なデジタル・ツールの開発ができて初めて可能となった。本論考においては、従来の可視化モデルを検証し、空間内における人と車の関係を具体的かつ即時に可視化することを目標として、そのためのツールを開発し、さらにその応用を介して現実の都市空間の測定と分析を行う。

3. 歩行空間の測定に向けた仮説の整理

歩行者の空間は、都市の建築物以外の余白、さらには移動の場としてのみ把握されることも多いが、本来的には都市におけるパブリックなオープンスペースとして定義することが必要であり、人間のさまざまな行為を誘発する場として、高いポテンシャルをもった空間とならなければならない。これは必ずしも空間の大きさによるものではなく、場と人間の親密度によって規定される場合が多い。たとえばパリのシャンゼリゼ大通りは幅員が100メートルとなり、その間に街路樹やストリートファニチャー、カフェやブティックという機能を複合させ、人々がくつろげる場所として機能してきた。逆に東京の下町（台東区根岸、墨田区京島など）では、狭い路地を挟んで長屋と長屋が軒を接するように建ち並び、その距離感が人々の密度の高いコミュニケーションを誘発している。

歩行空間をこのように人間を惹き付けさまざまな行為を誘発する空間として捉え、人間とその周囲の物理的環境との関係を定性的かつ定量的に把握するためには、肌理こまやかな測定を行わなければならない。時間に応じて刻々と変化する街路の流れを観察し記述する方法が必要なのである。これまで歩行空間の分析・記述の手法としては、主にカウントによる交通量調査、アンケートやヒヤリングによるOD調査、あるいは、D/H比を介した空間の記述などが一般的であったが、測定者の一方的な観測ではなく、動的な要素としての歩行者、静的な要因としての環境の双方を含んだ空間の測定法が打ち立てられれば、人間主体の新たな空間のナビゲーション・システムの可能性が開けるということである。

そこで本研究では、都市空間に対し、歩行者、街路、周辺建築物の三つの要素から複合的に対応していくための新たな分析手法として歩行者の流れを可視化するデジタル・ツールを開発し、それを用いて歩行と空間の測定と分析を行っていく。

そのための作業仮説を以下に設定しその整理を行ってみる。

3-1. 群衆流動

群衆流動の把握は、これまでのカウント式の計測では、実質的に不可能

図1 クレグ・レイノルズ「BOIDS」3つのルールによる群れの再現。隣の鳥との、距離、スピード、方向性を合わせるというルールのみで、群れの動きをシミュレーションする。

な分野であった。群衆流動とは歩行者の集合体であるが、純粹に歩行者数が多い状態のみを示しているのではない。群衆流動においては、歩行者は、他者である周りの歩行者にも影響を受けながら歩行している。周囲の物理的環境の条件下（たとえばビルに挟まれた街路）、歩行者同士の相互関係によって、一定のまとまりをもった歩行者群が形成されているのである。このような例は、自然界においては、非常に良く見られることであり、たとえば海中の魚の群れや、空中の鳥の群れ、草原を走る馬の群れなどがそうである。クレグ・レイノルズは「BOIDS」理論によって、この「群れ」をコンピュータ上に再現しているが（図1）、重要なのは、群れとしての移動の際には、絶えず周りの歩行者からも影響を受けているという点である。

3-2. アフォーダンス理論を介したエピ空間

「アフォーダンス」とは、J.J.ギブソンによる造語であり、人間の周りに生成する主体と客体の相互作用圏がかたちづくられていく状態を指す。環境は静止しているものではなく、積極的に動物（人間）の側に働きかけることになる。このアフォーダンス理論を敷衍して、人間と環境の相互関係を表す状態（三次元空間）に時間の連続性を加えて人と空間の四次元「エピ空間」を仮定する。一刻一刻の人間と環境の相互関係は、たとえば配置図の上の人や物の軌跡として表されるが、これは時間軸の上では人と環境を取り巻く時間の連続体（エピ空間）をある一瞬で切り取ったひとつの面にしかすぎない。このような一瞬の状態を「知覚の切片」として捉え、その時間による積分値で人間と空間の相互関係の変化を記述することができる（図2）。言い換えれば、エピ空間とは知覚の積分値である。環境の知覚をエピ空間における「肌理」として把握し、時間軸の中での行動の変化は、肌理の変化によって表される。それによってわれわれの行動は、面と、その面の肌理の勾配によって規定され、また誘発されている、という仮説が打ち立てられる。動画像処理技術を用いてこの仮説を検証することが可能である。

図2 エピ空間の概念図

3-3. 群衆流動とアフォーダンスの関係性

群衆流動にともなって発生する人の流れは、歩行者そのものが周辺環境となつて刻一刻変化することにより、その影響を受けて変化していく。例をあげてみると、歩行空間に歩行者が過密になるにつれて、歩行者を取り巻く環境は街路を規定する建築物などの環境から歩行者そのものへと移り変わる。前方の歩行者の背中を見ながら歩行するという経験は、ラッシュ時の駅などでは、誰しもが経験してきたことである。このような場合、歩行者は、周囲の建築物などを知覚して歩行をするのではなく、自分の周りを歩いている人を互いに認知しながら歩行しているわけである。この歩行者同士の関係は、相互関係にあり、先に述べたクレグ・レイノルズの「BOIDS」の群れのシミュレーションと同様の特質を示す。

3-4. 歩行者同士の相互関係を規定するルール

以上の観点から歩行者の動きが群衆流動に一体化していくプロセス（図3）を、以下のルールにもとづきまとめることができる。

- (1) 他者を障害物として認識する。
- (2) 他の歩行者に対して、衝突を回避しようとする。
- (3) 他の歩行者と自身との隙間を自分が歩行できる領域として認知する。
- (4) 他者への衝突を回避する行動として、自分の歩行速度を他者にあわせて調整しようとする。
- (5) その結果、個人歩行が群衆流動へと統合される。

上：歩行者の数が少ないと、人間は建築物などの周辺環境を認識して歩行を行う。その場合、歩行は周辺環境の変化に依存する度合いが高い。

下：歩行者の密度が過密になると、他の歩行者が自身の周りの環境として認識される。この場合、歩行は他の歩行者との相互関係による度合いが高い。

図3 歩行者と周辺環境

3-5. 認知モデルとしての光学的配列の変化

移動という行為に際して眼に飛び込む視覚情報は、刻一刻変化していく。つまり、歩行にともなって人間が環境を連続的に知覚していく際には、環境情報の配列が変化していくことを前提に考えなければならない。従来の知覚モデルでは、地図や写真などの静止画像的な情報を用いて記述を行っ

てきたが、こと歩行に着目する限り、このような静止画像的な情報では人間と環境の相互作用を十分に把握することはできない。移動にともなって環境の「変形」が知覚に働きかけることを加味しなければならない。静止状態においては、良くわからない遠くの影が動き出すことで影の正体を認識することができることは誰しも知っているであろう。虫や動物は、防御のため、敵がくると静止することで環境に同化するという習性があるが、動物行動学的に言えば、敵に認識させないため静止するということである。

4. MMD (Mass Movement Diagram) の提案

上記の仮説を前提に、人間と環境の相互関係を表示するツールの開発を行う。歩行空間の人間の歩行を捉えた動画を「エピソード空間」の原理に従って処理し、時間軸に沿って歩行者が空間に対してどのような行動をとっているかを測定し視覚化するものである。動いている歩行者やその他の物(車など)と静止している環境(建築など)の関係、あるいは歩行者同士の相互関係のすべてを視覚化し、分析するツールである。ここではこのツールを歩行者運動視覚化システムMass Movement Diagram (以下MMD)と名付けて提案する。

4-1. MMD モデルとは

歩行運動の現状把握に関する従来の都市計画上の手法は、都市内の主要ポイントに調査員を配置して歩行者数をカウントすることによって数量化する方法に頼っていた。これに対して、歩行者運動視覚化システム「MMD」は、数量化のみでは捉えることが不可能である歩行運動について、歩行運動を画像情報から再構成し、歩行空間と流れを二次元グラフ(ダイアグラム)として表示することでその実態を簡略かつ即時に基本情報とする。

4-2. MMD モデル化のプロセス

- (1) 対象となる歩行空間のビデオを用いて斜上部が動画を撮影し、それを動的情報としてコンピュータに取り込む(図4)。

図4 動画の撮影

- (2) 動的情報を画素毎の静止画に変換する(図5)。

図5 連続する静止画像

- (3) 静止画像を時系列に並べ、画素の積層モデル（環境連続体）へと積分する（図6）。

図6 画素の積層モデル化

- (4) この積層モデルを適当な地点で切断し、断面を作成する。その際、大容量のデータ処理が可能なJAVAのアルゴリズムと連動させ、計算時間を短縮する。この断面図がMMDを表示する（図7）。

図7 積層モデルの切断による断面図作成

4-3. MMD 情報の特徴

上記のプロセスを経て作成されたMMDは、縦軸が位置、横軸が時間を示すグラフ（ダイアグラム）として表示される。対象地の環境の光学的情報（色彩など）がそのまま映りこむため、さながら岩石の標本モデルのようにさまざまな色彩の肌理が浮かび上がってくるが、そのひとつひとつが対象（歩行者と周辺環境）の情報となっている。歩行速度は勾配として表され、このダイアグラムから歩行者の数、密度、速度、相互の距離、断面交通量、経路が即座に把握できる（図8）。

図8 MMD表示の例（原宿・竹下通り）

図9 JAVA アルゴリズムによる MMD 測定

4-4. 従来の測定法に対する MMD の利点

このように開発された歩行者運動視覚化システム MMD は、従来の測定法と較べると以下のようなメリットがある

- ①歩行者や車の軌跡が二次元ダイアグラムとして表示されるため分析が容易である。
- ②斜上部から撮影されたビデオからの分析のため、歩行者に調査を知られない。つまり、歩行者の無意識の行動パターンを観察することができる。
- ③任意の空間上の地点で MMD 作成が可能であるため、撮影したビデオの結果にもとづいて必要と判断された地点ならびに時刻の MMD を自由に作成することができる。
- ④MMD 作成をコンピュータで行うことが可能なアルゴリズムを開発したため、ビデオ画像から 1 つの MMD 作成にかかる処理時間は約 1 分である (図9)。

5. 都市空間での MMD による測定

5-1. 歩行空間調査の実施

以上のプロセスを経て開発された MMD モデルを用いて、2000 年秋に東京、上海、ソウルのさまざまな場所において群衆流動の比較分析を行った。歩行行動のダイアグラム化をはかり、さらに地域や文化圏によって人々の歩行行動がどのような特徴を示すかを比較するのが目的である。ここではこれらの調査の中から 3 例を絞り、東京では歩行者空間として知られる渋谷区原宿、上海では都心の交通量の多い淮海中路、韓国のソウルでは市場の雰囲気を残す明洞商店街でのデータを示す。いずれも都心の活気ある商店街であるが、町の特質や歩行者の雰囲気は大きく異なる。渋谷区原宿では、若年層の散策 (ショッピング) 行動が目立ち、逆に上海淮海中路では自転車の通行が大きな要素となっている。ソウル明洞商店街では、密度がきわめて高く、あふれんばかりの活気が特徴的であった。

[場所の選定]

単なる目的地への歩行だけでなく、様々な歩行形態が混在している場所を対象とする。そのため、交通形態や来場者の属性に特徴のある各地の商店街を選定した。

[調査対象地]

東京：原宿竹下通り 上海：淮海中路 ソウル：明洞商店街

[調査方法]

- ①調査対象地の地図データの収集と二次元マップの作成
- ②調査対象地についてデジタルビデオカメラによる動画の撮影
- ③撮影された動画からMMDを作成
- ④各MMDの比較分析

5-2. 歩行空間の比較

(1) 東京・原宿竹下通り

竹下通りの2カ所にビデオカメラを設置し、撮影を行った(図10)。

図10 東京・竹下通りのMMD測定

図11 東京・竹下通りのMMD表示

竹下通りでは、ショッピングを目的とした若い男女が数多く歩行し、それを目当てとした客引きが目立った。歩行者数が過密になると、ひとつの流れが誘発され、通りの左側に流れができるという特性があり、人の流れは規則的かつスムーズに流れている(図11)。[特徴的な歩行パターン：客引き行動、環状回遊行動、左側への集団化、連なり]

(2) ソウル・明洞商店街

商店街のもっとも人の集まる交差点1カ所にビデオカメラを設置、撮影を行った(図12)。

明洞では、市場的な環境で中小の商店が密集し、老若男女が数多く練り出すのが特徴である。歩行者の行動はばらばらで、障害物を回避する際も、

図13 ソウル・明洞
商店街のMMD
表示

図12 ソウル・明洞商店街のMMD測定

ブラウン運動的な動きを保ち、歩行速度を落とさず自然に相手を回避するという特性があった(図13)。**[特徴的な歩行パターン：ばらばらな回避行動、性急な追い越し(自転車/人)]**

(3) 中国 上海・淮海中路

比較的広い交差点にビデオカメラを設置し、撮影を行った(図14)。

図15 上海・淮海中路
のMMD表示

図14 上海・淮海中路のMMD測定

淮海中路においては、歩行者、自転車、車が混在し、それら相互がぎりぎりまで回避のそぶりを見せないで、最後の瞬間に相手をかかわす直前の回避行動が目立った(図15)。**[特徴的な歩行パターン：直交歩行、直前の回避歩行、自転車の連なり]**

6. MMD から導かれる歩行パターンの類型化

アジア3都市において測定した歩行者の行動パターンは地域によって歩行者の特性が大きく異なることを示している。その内容は空間人類学的テーマであるが、ここではとりあえず個々の事例に即して歩行者の行動パターンを類型化し、その特性を考えてみる(図16)。

- ①連なり：同等の歩行速度ゆえに次第に集団化し、周りの環境に適応同化する。
- ②追い越し：異なる歩行速度の混在している状態において、速度の速いものが遅いものを追いつく。
- ③滞留：障害物によるためらい行動、移動の停止などにもなると発生する。交差点などによく見られる。歩行者が多い空間では、あまり発生しない。
- ④客引き・捕獲：他者への働きかけ。街路の中央で待機し、歩行者を捕獲もしくは街路の端へ誘導しようとして自ら障害物となる。
- ⑤回避行動：歩行者密度が少ない場合は、障害物を視覚的に認識して遠方から回避行動を行う。歩行者密度が高い場合は、

図16 MMD から歩行者の軌跡を読む

前方の歩行者の回避行動を察知して回避行動を行う。

以上の5種類の歩行タイプは調査地のいずれにおいても抽出できた一般的なパターンだが、さらに複合したパターンもそれぞれから得られた。

- ①直交交差：道路を交差する場合に顕著であり、道路の向かい側にまっすぐ進むパターンとなる。信号がない方がより直線的である。その際、車が進入してきた時には、一定の間隔をもって回避行動へと転ずる。
- ②散策歩行：ぶらぶらと歩くパターン。この歩行は、裏原宿などの外部空間で発生することもあれば、デパートの地下などの内部空間等で発生することもある。さらに目的が高い場合と低い場合に分けることも可能である。
- ③回遊行動：目的地点まで最短経路をとることなく、歩くこと自体を楽しみ多くの店舗を見ながら回遊するパターン。ひとつの街路を行きつ戻りつするかたちもある。

7. 結——流れからみる都市空間

MMDを用い人間や物の空間内での動きを軌跡として表示することによって都市空間内における人間の行動パターンの解析が客観的かつ容易になった。流れの可視化ツールとしてMMDモデルはそれ自身が都市解析手法として有効であると同時に、その応用によって都市内の歩行や動きに関する

るさまざまな知見を引き出すことができる。実際、アジア3都市において実施されたMMD測定の結果、都市文化に関わるさまざまな事例が検出された。また、駅前や商店街など来街者の数が多く、そのためのアメニティ整備が必要とされるところでは、この分析を介して各種の計画手法が導き出されうる。MMDを介すれば、通過交通、散策、買い物、呼び込みといった行動が一目瞭然である。ここで、今回の一連の作業を整理し、MMDによって何が導かれたかをまとめてみる。

(1) 人間と環境の相互作用

今回のモデル開発において、人間は時間軸に沿って連続する都市空間（エビ空間）の中で肌理の変化を知覚しながら行動を起こしている、という仮説を立てた。人間の環境への反応は肌理に左右され、肌理が単調である場合と複雑で刺激的である場合とでは行動形態が異なる。たとえば、地下鉄の通路内での流れの速さ（連なりの歩行速度）は、商店街で見られた歩行速度を大きく上回っている。これは、通路内でアメニティが不足していることではなく、地下通路において歩行者がシーンの変化から得る刺激が少ないということであり、逆に地上の商店街では店舗の内容（商品、広告、呼び込み者など）が視覚的に道にあふれ出している結果、人の流れを引き込むチャンスが多くなったと解釈できる。アジア3都市での比較は、そのあふれ出しについての背景をよく物語っている。

(2) 街路空間の中での流れ

歩行において人々がもっとも気をつけるのが、他の歩行者に衝突しないということである。歩行者は、環境の障害物（壁、看板など）を回避しながら歩行すると同時に、他の歩行者を回避しながら歩いている。追い越しの歩行パターンを分析すると、追い越す歩行者は一般に、他の歩行者と歩行者の間隙を縫うように回避しながら蛇行歩行を行うため、流れの中で一定に揺らぎが発生する。歩行空間とは、環境における建築の空隙（ヴォイド・スペース）であると同時に、そのヴォイド内の歩行者と歩行者の間のヴォイド（隙間）である。速度や方向の異なった歩行者がその内部に共存することによって、空間と流れの関係は常に変化を繰り返す（図17）。

図17 街路空間の中の歩行者

(3) 空間人類学的な歩行の比較

アジア3都市の歩行空間の比較から導き出されるのは、地域の文化的精神的背景によって人々のとる歩行行動は大きく異なる、という空間人類学的な知見である。東京では人々が流れに順応して「連なり」をかたちづくることが多いのに対して、ソウルでは各自がばらばらの行動をとりながら、互いに衝突することなく巧みに回遊する、あるいは上海では人も車も自転車も互いにチキンレースのような行動をとりながら最後の瞬間に互いに回避する、といった特徴はその都市や住人の意識や空間への関係のとり方をよく示している。都市の活気とは何かを考える際に、こうした比較はきわめて興味深い事例を示している。同時に、こうした歩行様態の違いは、そのまま街路や歩行空間のデザインの際に生かされるべきで、容量や避難経路をよりどころとした設計指針に替わる新たなデザイン手法の開発につながなければならない。

註

☆1——わが国における歩行者流動の研究については、たとえばシミュレーション技術を駆使した渡辺仁史（早稲田大学）やエージェント理論を用いた曲淵英那（東京大学生産技術研究所）などの仕事がきわだっている。

☆2——歩行の経路に関する研究としては、加藤麻紀・三宅理一「高密度市街地における歩行者の行動モデルに関する研究 その1」、『日本建築学会2000年度学術講演梗概集 計画I』、825-826頁を参照。

☆3——レイノルズは、Craig Reynolds “Flocks, Herds, and Schools” SIGGRAPH1987 paper, 1987. 以降、群衆流動の問題についてシミュレーションを繰り返している。

☆4——MMDの提案については、町山房子・葉真寺哲也・三宅理一「歩行運動の視覚化による街路内歩行の研究 その1」、『日本建築学会2000年度学術講演梗概集 計画I』、323-324頁を参照。

☆5——梶浦ゆみ・岡田曜子・三宅理一「歩行運動の視覚化による街路内歩行の研究 その3 渋谷区竹下通り商店街の場合」、『日本建築学会関東支部研究報告集』2000年、125-128頁。

☆6——梶浦ゆみ・岡田曜子・三宅理一「歩行運動の視覚化による街路内歩行の研究 その4 ソウル明洞商店街の場合」、『日本建築学会2001年度学術講演梗概集 計画I』、765-766頁。

☆7——岡田曜子・梶浦ゆみ・三宅理一「歩行運動の視覚化による街路内歩行の研究 その5 中国上海淮街中路の場合」、『日本建築学会2001年度学術講演梗概集 計画I』、767-768頁。

(みやけ りいち・所員、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科教授／
建築史、地域計画
すずき たくお・慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程)