

## マーケティング活用に向けた人流計測データ分析手法 Pipeline Analysis for Marketing using Pedestrian-flow Data

辻 聡美<sup>†</sup> 浅原 彰規<sup>†</sup> 野宮 正嗣<sup>‡</sup>  
Satomi Tsuji Akinori Asahara Masatsugu Nomiya

### 1. はじめに

近年、企業の競争力の源泉はイノベーションや価値創造に移りつつあり、新しい価値を発見するためのビッグデータ活用に注目が集まっている。その背景には、スマートフォンやタブレットなどの高機能な携帯端末の広がりや業務管理アプリケーションの浸透により、日々、多様かつ大量の記録がデジタルデータとして蓄積されていることがある。

日立グループにおいてもビッグデータ利活用によって新しいビジネス価値の創造に取り組んでおり、「データ・アナリティクス・マイスターサービス」を立上げ、顧客との協創活動を通じた IT ソリューションの実現によって、顧客の戦略立案・実行の支援を目指している[1]。さらに、日本の就業者数の7割がサービス業に従事している背景を踏まえ、人間に関する多角的なデータを集めて知見を得ることが競争力強化に必要であると考えている。そこで執筆者らは人間行動計測技術を活用したソリューション提案を「ヒューマンビッグデータ®」というコンセプトでまとめ、人間の振る舞いを考慮したサービス支援ソリューションの実現可能性を検討している[2]。

Web 空間において収集したデータのマーケティング活用は既に広く知られているが、実空間における人間行動計測データをマーケティングに活用する方法はまだ実用化に至っていない。執筆者らは、商業施設や博物館などの公共施設をターゲットとし、レーザーレーダによる空間内の移動軌跡計測技術の利用によって、空間活用を最大化するため最適な内装設計、商品配置、商品紹介、接客方法を提案し、迅速な PDCA を回すことを目指している[3]。そのための分析手法として「パイプライン分析」を構想しており、これによって顧客の空間への入場から特定のエリアへの誘導、店舗への誘導、商品の購買に至るまでのプロセスを計測し、どこで顧客が離れているのか、機会損失実態の定量的な把握が期待できる。

しかしながら、レーザーレーダによって顧客の入場から退場までの移動軌跡を途切れなく追跡することは困難であることが明らかになった。この課題を解決するため、本研究では断片的な軌跡データの集合から交差点での分岐確率を推定する人流分岐モデルを提案する。このモデルの特徴は、交差点内でのみの移動経路データを用い、各交差点・通路の出入場者数を制約条件として空間全体の整合性を合わせることである。実験では、人流分岐モデルを大規模展示会における約4万人分の移動軌跡データに当てはめ、パイプライン分析の定量化の実現可能性、その有用性について検討する。

### 2. 実空間マーケティングのための分析手法

#### 2.1 パイプライン分析

日立製作所では人間行動計測・分析に関する技術を集約し、実空間でのマーケティングに応用するためのソリューションの開発に着手している。想定する対象は商業施設や博物館などの公共施設であり、来場者の移動軌跡の計測によって、施設の目的（小売店の場合には顧客の購買を、博物館などの場合には展示の閲覧など）を最大化するための、最適な施策を提案し、その効果を評価することで、迅速な PDCA を回せるようにすることを狙いとする(図 1)[4]。

図 1 における改善施策を検討するためのコアコンテンツとして構想しているものがパイプライン分析である[3]。これは、顧客が対象空間に入ってから特定の商品を購入するまでのプロセスを段階的に説明するものである。図 2 のようなモデルを定量的な値で示すことで、どこで顧客が購買から離れたのか、機会損失が起きているポイントを見つめることができる。これによって、施策の決定、さらに施策後の効果測定に有用であると期待できる。

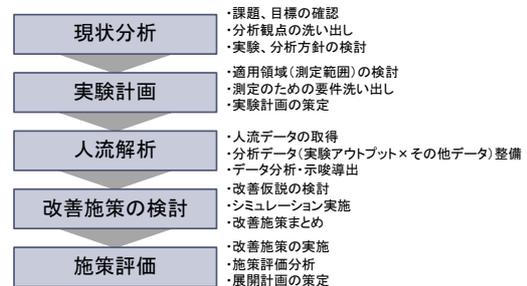


図 1 実空間マーケティングソリューションの標準アプローチ

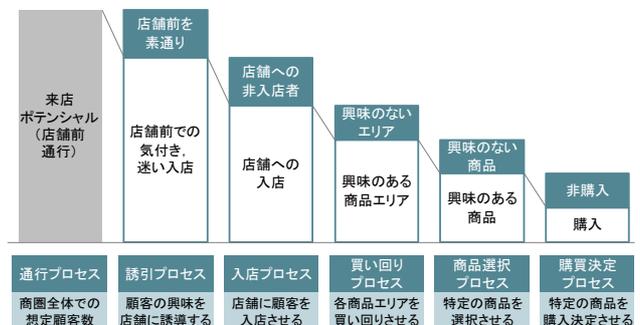


図 2 パイプライン分析のモデル

<sup>†</sup>(株)日立製作所研究開発グループ Hitachi, Ltd. Research & Development Group

<sup>‡</sup>(株)日立製作所 情報・通信システムグループ Hitachi, Ltd. Information & Telecommunication Systems Company  
ヒューマンビッグデータ®は日立製作所の商標です。

## 2.2 レーザーレーダによる移動軌跡計測技術

実空間での人間行動を測定するために、レーザーレーダによる移動軌跡計測技術を用いる。これは、計測領域内の人々の位置・行動を測定するシステムであり、複数のレーザー距離センサ(図 3)のデータに基づき統計的な手法を利用して人物の位置を推定する技術である[5][6][7]。これを用いることで、広範囲な空間の人間の移動軌跡を追跡できる。図 4 にその例を示す。赤い丸が人間、オレンジ色の線が追跡された移動軌跡である。



図 3 レーザー距離センサ

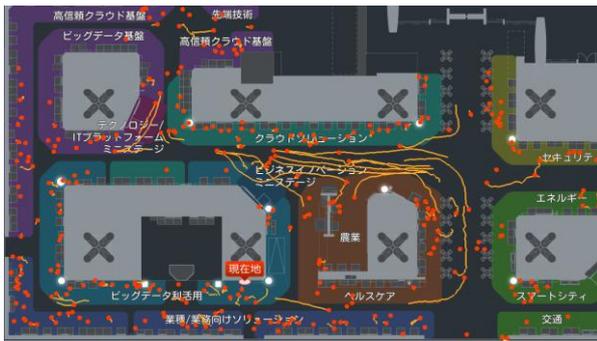


図 4 レーザーレーダによる移動軌跡計測

## 2.3 パイプライン分析実現のための課題

レーザーレーダによる顧客の移動軌跡データによって、パイプライン分析の定量的な実現が可能であると考えられる。しかし、そのためには顧客が対象空間に入場して退場するまでの全ての軌跡をトレースできることが前提となるため、実際にはそれは困難を伴う。

図 5 に空間 (4 章の実験と同じ空間である) で計測された座標値を重ね合わせた結果を示す。白い点がセンサの位置であるが、奥まった場所や看板などの陰になる場所において、測定されない場所があることがわかる。つまり顧客がこのエリアを通ると軌跡が途切れる確率が高い。実際に同空間で連続して取れた軌跡の長さを調べたところ、約 14%の軌跡が 100[m]未満で途切れていることがわかった(図 6)。センサの数を増やせば陰を減らすことが可能だが、当然ながらそれはセンサの設置費用とのトレードオフとなる。また一方で 10000[m]以上の軌跡も約 10%存在し、こちらは補完過程で過度な軌跡の結合が起こったと考えられる。以上より、現在の計測技術では全顧客の入場から退場までの軌跡を正確に取得することは困難であり、これを前提として断片的な軌跡データの集合から移動経路の傾向を推定する方法の検討が必要となる。

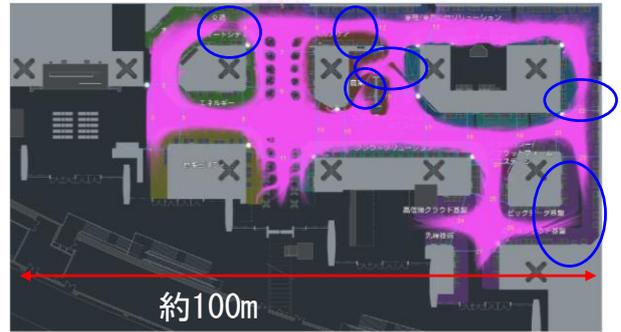


図 5 計測の信頼性が低い箇所 (丸印)

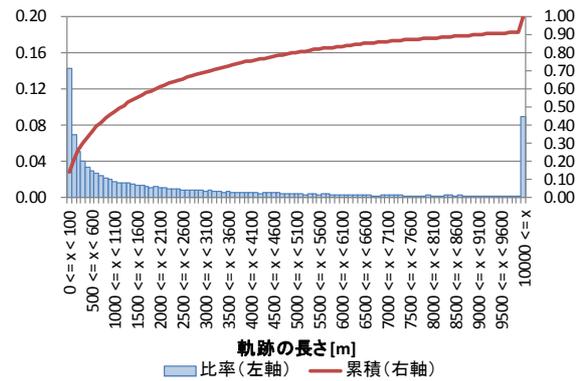


図 6 軌跡の長さ別比率 (述べ距離による計算)

## 3. 人流分岐モデルの提案

### 3.1 人流分岐モデル

本研究では、断片的な軌跡データから空間全体の移動経路を推定する方法として、人流分岐モデルを提案する。本手法は、人が通る道をグラフ理論に倣って交差点 (頂点: vertex) と通路 (辺: edge) で定義する。そして、交差点内のみの移動軌跡を分析対象とする。

方法としては、各交差点における通路との接点をゲートとして定義し、交差点にどのゲートから入りどのゲートから出たかをカウントする。対象空間の通路を交差点、通路、ゲートで模式化した例を図 7 に示す。また、実際のゲート定義の例を図 8 に示す。



図 7 空間の模式化 (星印は実験におけるターゲット店舗)

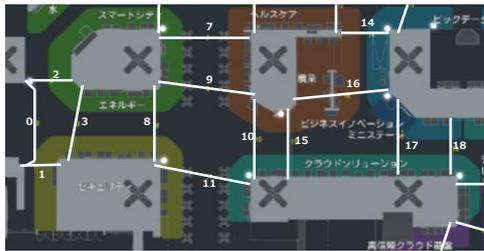


図 8 ゲート定義 (一部抜粋)

3.2 生成手順

3.2.1. フローチャート

人流分岐モデルを生成する手順を図 9 に示す。本手法の特徴は、交差点内の移動経路（入場ゲートと出場ゲート）別の人数をカウントしたものを基礎データとし、2つの制約条件（通路両端の入出場者数、交差点の入出場者数）によって全交差点間の移動軌跡の整合性を合わせることである。

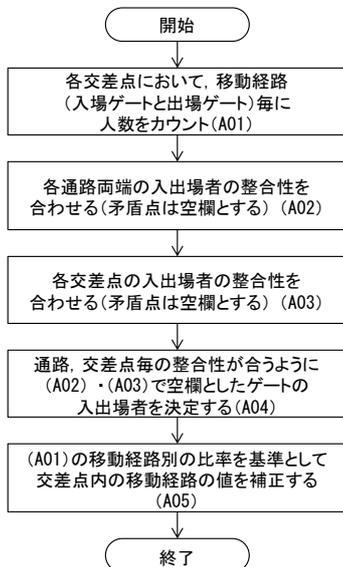


図 9 人流分岐モデル生成フローチャート

まず交差点と通路のインタフェースである各ゲートの通過人数を確定する。そのとき、信頼性が高い（軌跡を正確に計測できている）と考えられる交差点のデータを優先的に用い、信頼性が低い交差点のデータを補完していく。具体的には、整合性において明らかな矛盾（計測された比率と、他の交差点から推論された比率の正負が一致しないなど）が起きた箇所は空欄として計算を保留にしておき、他の交差点間の整合性を合わせてから補正する。

最後、ゲートの通過人数が確定した後に、交差点内の移動経路（どのゲートから入ってどのゲートから出たか）を実測データの比率を基準として決定する。

3.2.2 制約条件

整合性を合わせるための制約条件として、以下の2つがある。信頼性の高い（軌跡を正確に計測できている）ゲートの実測値を優先して、他のゲートの値を順に補正す

ることによって、全ゲートの両方向への通過人数を確定していく。

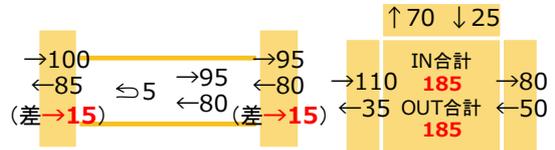
① 通路両端の入出場者の整合性

通路の両端にあるゲートにおいて、通路に入った人数と通路から出た人数は一致するはずである。ただし、計算上、通路途中で引き返すという条件もありうるため、制約条件としては「両ゲートから出入りした人数の差が一致する」と定義し、差の値を一方に合わせることで整合性を合わせていく(図 10(a))。

② 交差点の入出場者の整合性

1つの交差点に接するゲートにおいて、交差点に入った人数の和と出た人数の和は必ず一致するはずである(図 10(b))。

なお、図 11 における通行者数の値は、全入場者を 100 とした場合の比率であり、その数は述べ人数で計測されるため、値が 100 を超える場合がある。例えば 1 人平均して 2 往復している場合、値は 200 となる。



(a) 通路両端の整合性 (b) 交差点の整合性

図 10 制約条件

3.3 本手法のメリット

3.2 節で示した手法によって整合性を合わせた結果の一部（1つの交差点におけるゲートの入退場、交差点内の移動経路）を図 11 に示す。なお、全体像は 4.2 節に記載する。値は対象空間への入場者数を 100 人とした時の比率で示している。これによって、交差点に左から入った人が述べ人数で 188 人、そこから直進した人が 144 人、左折した人が 44 人というように分岐確率を空間全体の整合性が合った状態で定量化することができる。

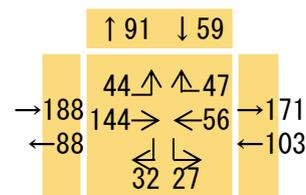


図 11 整合性を合わせた交差点の例

本手法を用いることの利点としては以下の点が挙げられる。

- ・長い軌跡データが必要ない。交差点に入ってから出るまでの軌跡が取れていればよい。一般的に交差点はひらけているためセンサの陰になりやすく、正確なデータを取りやすい。
- ・多数の顧客の軌跡データを統計的に扱うため、1人の顧客の移動経路をトレースするよりも、プライバシーに関する心理的抵抗が少なくなる。

## 4. 実験

### 4.1 概要

人流分岐モデルを実際のレーザーレーダによる軌跡データに適用することで、パイプライン分析を定量的に示し、さらに図2の可視化、問題発見、施策提案、施策評価の過程を実現できるかを確認するために、大規模な展示会をショッピングモールに見立て、実験を行った。実施概要は以下の通りである。

- ・展示会名称 : 日立イノベーションフォーラム
- ・対象空間 : 東京国際フォーラム 展示ホール
- ・面積 : 約 5,000 平方メートル
- ・測定期間 : 2013/10/30-31 (2日間) 10時 - 18時

### 4.2 結果

本節では、人流分岐モデルを実データに適用することでパイプライン分析を定量的に行う。またその結果に基づいて、対象空間の問題発見・施策提案・施策評価を行い、パイプライン分析の有用性を確認する。施策については、パイプライン分析によって特定の地点における送客力・集客力の向上に着目し、その観点に対して簡単な介入実験を行うことで効果測定を行う。

#### 4.2.1 人流分岐モデル

3章で述べた手順に従って生成した人流分岐モデルの結果を図12に示す。数値は来場者全体を100とした述べ通過人数であり、計測では同じ人が往復すると複数回カウントされるため、値が100を超えるエリアも多くある。図12は空間全体の整合性が合った状態であり、各通路の通過人数、交差点に入った方向・出た方向ごとに人数を把握できる。

さらに、この情報によって、通路の通過人数や、ある交差点に到達した人が右折・左折・直進する確率を算出できる。図12の値を元にして、左端の入口から入った来場者が辿る典型的な経路を検討した例が図13である。一方のゲートから入った人が進む確率の高い方へ進んだ経路を辿ったものである。これによると、典型的なパターンとしては、入口から中央の通路を曲がらずに直進し、右端の付きあたりにて左折して会場全体を回るという経路が取られたことがわかる。

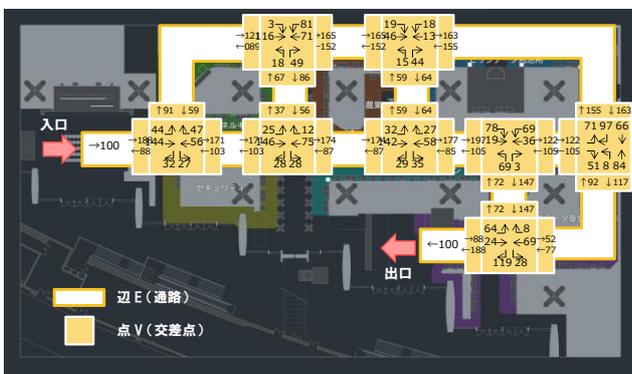


図12 人流分岐モデル (詳細データ)

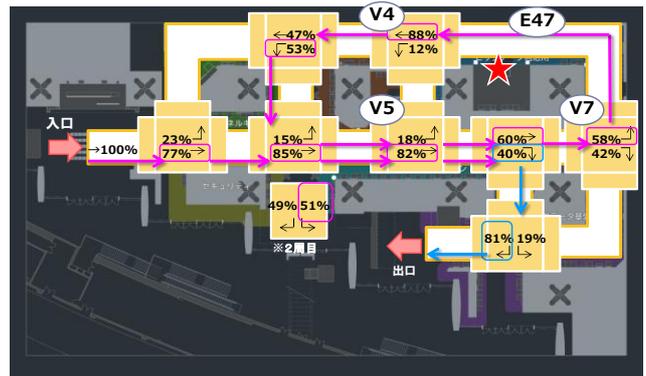


図13 典型的な移動経路

(各交差点の左折/右折/直進確率を表記)

#### 4.2.2 パイプライン分析結果と有用性評価

##### (a) 問題発見

図12の人流分岐モデルの数値に基づいて算出したパイプライン分析の結果を図14に示す。図2のモデルのうち、会場内に入った時点をも100%とし、ターゲット展示(図7の星印)内に入るまでを追った。なお、ターゲット展示は、交差点V7とV4を両端とする通路E47上にある。その段階的なプロセスとしては、まず①会場集客から、②エリアへの誘導(隣接する交差点V7またはV4に到達)、③展示前への誘導(ターゲット展示前の通路E47に入る)、そして④展示内への誘導までの各プロセスについて、交差点V7側からかV4側からかを区別して算出した。これによって、全来場者のうちの69%がターゲット展示前の通路を通過しており、37%が展示内まで入店しているとの結果が得られた。

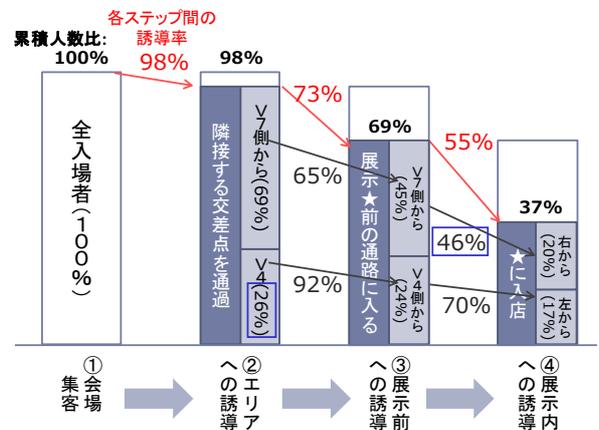


図14 パイプライン分析結果

計算方法としては、図13のように、各交差点において特定のゲートから入った人が左折・右折・直進する確率をそれぞれ算出しておく。それによって特定の経路(例えば入口→交差点V1→V3→V5→V4)を辿る人の数を各交差点での確率を乗算することによって算出できる。これによって、入口から交差点V4まで通る(ただし交差点E47を通らない)経路を網羅的にリストアップすると、交差点V4に到達する人数が26%であることを試算できる。同様に、交差点V4に到達した人がゲート13を通過して通路E47に入る確率から、通路に入る人数が求められる。④の展示内への誘導については、別途展示前通路の

軌跡を計測し、通路の通行者に対する展示内への入場者の比率を算出したものである。

図14のパイプライン分析によって対象空間における以下の2点の課題、特定の交差点から目標方向に顧客を送客する力、通りがかった顧客を特定エリアに引き込む集客力に関する課題が発見された。

●『送客力』の問題

交差点 V4 側に到達する人数が 26%と低い

●『集客力』の問題

交差点 V7 側から通路に入った人のうち、入店した人数が 46%と低い

(b) 施策提案

(a)で発見された問題の原因を検討すると、空間設計者が期待していた顧客の動線は図15のように各交差点に設けられたテーマステージで曲がる経路であったが、実際にはその通りには移動していなかったからであるということがわかった。特に、④展示内への誘導において左右で入店する比率に差が付いたのは、左側入口には動画のディスプレイを置いて顧客を誘導したが、右側入口にはそのような仕組みがなかったことが影響したからであると考えられた。



図15 顧客の想定移動経路

これを踏まえ、以下の施策を提案した。

●『送客力』に関する施策

交差点 V5 に案内板を置いて左折させる（交差点 V4 側に誘導する）

※ターゲット展示における入店率は V4 側から入る人の方が高いため、交差点 V5 において V7 側に進む（直進する）人を V4 側に誘導する（左折させる）と最終的な入店者数の増加が見込める

●『集客力』に関する施策

ターゲット展示内の V7 側に動画を置き、通行者を内部に誘導する

(c) 施策評価

(b)にて提案した施策（案内板の設置による送客、動画による集客）の効果を評価するため、個別に簡易的な介入実験を行った。

①案内板の設置による送客効果

交差点 V5 に左折を促す矢印を記載した案内板を設置し、左折する人の比率を比較した(図16)。その結果、案内板がある時はない時よりも 6%左折する人が増えた(図17)。



図16 交差点 V5 への案内板の設置（左折を促す狙い）

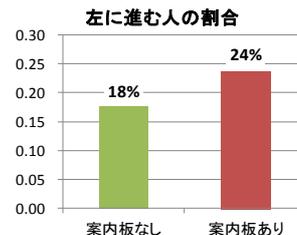


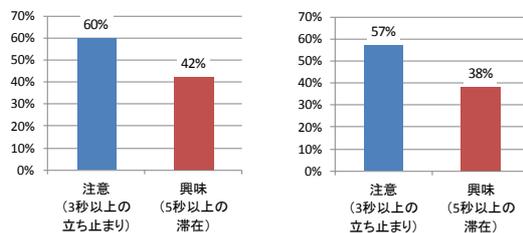
図17 案内板の効果（サンプル数 n=230 人）

②動画の設置による集客効果

情報を提供する媒体の差異による集客効果の違いを比較するため、あるロボットの展示の両側に静止画（紙）による解説と動画（タブレット）による解説を設置し(図18)、その周辺に滞在する時間を計測した。図19にエリア流入者数に対するタブレットまたは紙の周囲での滞在者の比率を示す。この結果より、動画の方が静止画よりも3%多く注意を引きつけたことを確認できた。



図18 説明手段（動画/静止画）による集客効果の比較実験



(a)動画 (n=964 人) (b)静止画 (n=764 人)  
図19 集客効果

③総合効果試算

送客効果・集客効果の向上によって、最終的に増加するターゲット展示への入店者数の見込み数を試算した結果を図20に示す。①の結果より案内板の設置によって交差点 V5 から左折する（V4 側に向かう）確率が 6%増加することで V4 に入る人数が 4%増加し、②の結果より交差点 V7 側からの入店率が 46%に対して 2%増加したとする

と、最終的にターゲット展示内に入店する人数は4%増加する(37%から41%へ)との試算が得られた。これは本展示会の2日間の全来場者約4万人に対して、ターゲット展示内に入る人が約1,600人増える見込みであると言える。

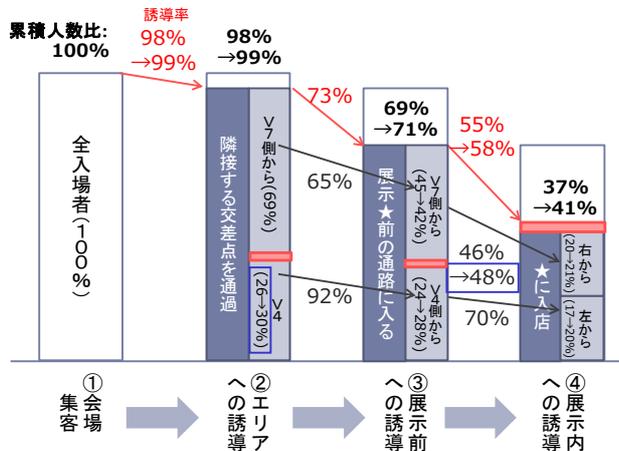


図20 送客力・集客力向上による入店者数の増加見込み

## 5. 考察

### 5.1 人流分岐モデルによる移動パターンの定量化

本研究では、提案した人流分岐モデルを適用することで、図14に示したようにパイプライン分析を定量的に生成できることを示した。人流分岐モデルを使うことで、移動軌跡データが途切れるという課題を克服し、断片的なデータの集合から空間全体の整合性が合った状態で移動パターンを定量的に示すことができた。本モデルは、人が通る空間をグラフ理論に倣って交差点(頂点)と通路(辺)のみで定義し、各交差点の入出場者数、各通路の入出場者数を制約条件として、信頼性の高い(正確に計測できている可能性が高い)地点を優先し、信頼性の低い地点の値を補完していくことが特徴である。

今回行った実験は、実空間マーケティングを想定した初めての大規模な計測実験であり、混雑し過ぎる場合や、予想外の障害物(レーザーの前に人が立つ、可動式看板が設置されてしまうなど)によって移動軌跡が途切れることが明らかになった。レーザーの設置個数を増やすことで改善可能であるが、当然費用のトレードオフとなる。よって、来場者の軌跡を入場から退場まで全て追跡できないという前提で、空間全体の移動モデルを作る本手法は、パイプライン分析を行うために必要不可欠となる。

今回の結果から、パイプライン分析の誘導率(図2における、左の棒グラフから右の棒グラフへの遷移比率)が、機会損失の大きさを表しており、これに着目することが施策提案の着目点を決定するために有用との知見が得られた。さらにパイプライン分析と人流分岐モデルを用いて試算することで、図20に示したように、部分的な改善施策がもたらす最終的な効果(ターゲット店舗への入場者数や、特定商品の購買)を説明できることが確認できた。従来では、空間内のデザインの変更や、イベントなどを実施した場合に、その商業的な効果を見積もること

は非常に困難であった。しかしながら、本技術によって間接的な影響を考慮して効果を定量化することが可能になり、今後の空間設計のPDCAの高速化が見込める。

### 5.2 今後の課題

人流分岐モデルの生成における課題としては、再現性の低さが挙げられる。図9にフローチャートを示したように、本モデルはデータの信頼性の高さを決める基準が主観的だからである(現在では図5のように計測された座標を目視確認し、交差点や通路の信頼性を優先付けている)。よって今後は、座標値毎にデータの信頼性の高さを評価する基準を設け、補完する順序を定義することが必要である。これによって、再現性の向上が期待できる。

## 6. おわりに

本研究は、大型店舗や公共施設における消費(購買、展示の閲覧)を最大化するために、顧客の行動プロセスをパイプライン分析によって定量化することを目的とし、断片的な軌跡データの集合から交差点での分岐確率を推定する人流分岐モデルを提案した。本提案モデルを実データに適用した結果、パイプライン分析の定量化を実現し、さらに集客・送客に関する課題の発見と改善施策の実施・検証に利用できる有用性を確認した。これによって人流計測データをマーケティングに活用できる見込みを得た。

今後の課題は以下の通りである。

- ・ 人流分岐モデルにおける再現性向上
- ・ 計測の信頼性評価基準の定義

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験にご協力いただいた皆様、ご助言頂きました皆様に深く感謝いたします。

### 参考文献

- [1] 安田 誠, 難波 康晴, 吉田 順, “ビッグデータ活用で生まれる新しいビジネス価値”, 日立評論, Vol. 95, No. 10, pp. 648-653, (2013)
- [2] 吉田 順, 辻聡美, 田中 毅, “ヒューマンビッグデータが切り開く新しいITソリューション”, 日立評論, Vol. 95, No. 10, pp. 658-661, (2013)
- [3] 野宮 正嗣, 瀬戸 宏一, 原 英一, 土肥 真梨子, “施設経営を高度化する空間データ・マネジメント”, 日立評論, Vol. 96, No. 10, pp. 639-640, (2014)
- [4] 日立製作所, “ビッグデータ利活用人流マーケティング”  
<http://www.hitachi.co.jp/products/it/bigdata/mil/solution/humanflow/>, 2015年4月時点
- [5] Akinori Asahara, Nobuo Sato, and Masatugu Nomiya, “Pedestrian-flow Analysis System Improving Exhibition Events”, 14th International Symposium on Spatial and Temporal Databases, 2015
- [6] ATR, “人位置計測システム「ATRacker」”, <http://www.atr-p.com/products/HumanTracker.html>, 2015年4月時点
- [7] ジック株式会社, “レーザー測定システム”  
<http://www.sick.jp/product/automatic/laser/>, 2015年4月時点