

公共施設利用者の歩行動線 シミュレーションモデルの構築 —高速道路休憩施設を対象として—

飯田克弘¹・北村隆一²

¹正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)
²正会員 Ph.D 京都大学教授 工学部交通土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

本論文は、高速道路休憩施設を対象として、その利用者の歩行動線と、歩行動線に影響を及ぼすサインなどの情報伝達媒体や建築施設の配置との関係に着目して、利用者の歩行動をモデル化した。まず最短経路探索や障害物回避などを含む基本的な行動原理を仮定した。そして、この行動原理に、利用者の施設経験と、施設配置に対する知識の程度から導出された認知レベルを考慮して、休憩施設における利用者の歩行動原理をモデル化した。次に、モデルケースとして選定したサービスエリアにおける利用実態調査等を通じて収集したデータを用いて、仮定した行動原理を検証した。そして、この行動原理に基づき、施設空間における利用者の分布を再現するシミュレーションの構築を行うとともにその再現性を検討した。

Key Words: Pedestrian behavior, simulation model, restareas, expressway

1. はじめに

駅前広場、地下街などの公共施設空間においてサインなどの情報伝達媒体や建築施設の配置とデザインを計画する場合、施設利用者の安全性・快適性の向上、施設利用の効率化、および駐車場などの併設施設との間の利用者流動など、相互に影響を及ぼし合う問題を考慮しなくてはならない。

本研究が対象とする高速道路休憩施設では、利用者の増加に伴い施設の混雑が問題となっている。特に休日や、観光シーズンのように利用者が集中する状況では、建物内のみならず駐車場、通路においても、歩行動線の集中や滞留の発生によって、施設までの移動しやすさ、歩行中の安全性が低下している。このような状況を改善し、サービスをスムーズに提供できる環境を整備するためには、トイレなどの建築施設の配置、利用者の発生源となる駐車場の数や形状、および施設利用者の歩行動線などの間に存在する関係を把握し、施設空間を総合的に検討する必要がある。

空間を総合的に検討する方法には、現場に近い状況を仮設して実験を行う方法も考えられるが、多大な費用・エネルギーを費やすことになり、不可能な場合が多い。そこで、施設空間を計算機上でシミュレートし、施設やサインなどの空間を構成するエレメントを変更した場合の影響を検討する方法が有効

となってくる。

そこで本研究では、高速道路休憩施設のうちサービスエリア（以下SAと略記）を対象とし、施設空間を計算機上でシミュレートする第一段階として、利用者の歩行動線と、それに対して影響を及ぼすエレメントとの関係に着目することにより、利用者の歩行動をモデル化した。

まず歩行探索行動およびサインの視認などを扱った既往研究のレビューを行い、得られた知見を整理することにより、最短経路探索や障害物回避などを含む基本的な行動原理を仮定した。そしてこの行動原理に利用者の施設経験と、施設配置に対する知識の程度から導出された認知レベルを考慮して、高速道路休憩施設における利用者の歩行動原理をモデル化した。次に、モデルケースとして選定したサービスエリアにおける利用実態調査、アンケート調査および歩行実験を通じて収集したデータを用いて、仮定した歩行動原理を検証した。そして、その歩行動原理に基づき、施設空間における利用者の歩行軌跡および空間分布の推移を再現するシミュレーションモデルの構築を行った。

2. 既往研究のレビュー

高速道路SA利用者の歩行動をモデル化するためにあたって、歩行者の注視特性、サインの情報量と視

認性、歩行者の空間探索行動および障害物回避行動の特性、歩行者流動のシミュレーションを扱った既往研究についてレビューを行なった。

まず歩行者の注視行動に関して、田島・朝倉¹⁾はアイマーク・レコーダーを用いた屋外での歩行実験により、歩行時の注視特性の分析を行なっている。この中で、歩行者の注視点は歩行運動の安全性の確保のため、歩行経路上の地面に集中しやすく、地面の注視比率と注視点距離は反比例することを明らかにしている。駐車車両および移動物については、注視されはじめるのは約30mで、10~15mで注視比率がピークとなることを観測している。これらは、松原・松本²⁾によっても確認されている。

サインの情報伝達機能に関して、矢田・上原³⁾は案内掲示標を物理的な要素から分類し、静止状態での注視点の動きと案内掲示標の情報量の関係を明らかにしている。またBry・Colomb⁴⁾は道路標識の視認性について、その必要レベルと技術上の対策についてまとめている。

歩行者の探索行動に関して、矢田ら⁵⁾は駅構内の歩行空間における探索行動を7つのタイプに分類し、空間特性との関連性について検討している。その中で空間形態が大きく変化、分節するところで探索行動が顕著に現われることを明らかにしている。また緒方・材野⁶⁾は歩行者を追跡して行動を観察し、案内地図携帯者と非携帯者の比較を、室崎ら⁷⁾は地下街を対象として、平日、土曜日、日曜日について、利用者の構成と探索行動に影響する空間要因の違いを検討している。渡邊ら⁸⁾は、複合的な地域公共施設の建物の内部空間を対象として、利用者の歩行経路をビデオ撮影することにより、目的室別に経路選択率と1mメッシュにおける動線密度分布を求め、これらの指標より空間構成を評価している。さらに渡邊らは、認知理論を建築空間に適用して、施設経験のない利用者の行動を[手続き知識]→[探索行動]→[空間構成に関する情報の獲得]というプロセスを通して考察している^{9),10),11)}。

障害物回避行動の特性については、小塚ら^{12),13)}に詳しく、歩行者は1.5~2.5秒後の状況を予測して回避行動を行なうことを、自由な速度で歩行できる空間におけるビデオ撮影により観測している。さらに回避行動を開始する時点での歩行者間の直線距離と最短方向の相対速度に一次の相関関係を見だし、衝突警戒範囲モデルの作成を試みている。また建部・中島^{14),15)}は歩行者の個体領域について、側方のゆとり寸法として35cm程度が必要であるとしている。

歩行行動のシミュレーションに関しては、まず森

ら¹⁶⁾が、過去の施設経験やこれまでの行動の結果として形成された知識と新しく獲得された情報によって進行方向を選択する論理構造を、Prolog言語によって記述するモデルを考案している。さらに森ら¹⁷⁾は、このモデルを用いて、複合的な機能を持つ公共施設の内部空間を対象として、視認率の設定条件を変化させることによって、認知行動シミュレーションを行ない、空間の分かりやすさについて検討している。ただしこのモデルでは歩行空間をホールや通路の結節点によって領域に分割し、利用者の探索行動を領域から領域への移動としてとらえているため、領域内の歩行行動については表現されていない。また榛沢ら¹⁸⁾は、駅前広場における歩行者の流動をマクロ的に解析することを目的として、対象空間をメッシュ化し、歩行者の流動量を配分するシミュレーションモデルを構築している。中山・大村¹⁹⁾は歩行者交通密度の極めて高い鉄道駅コンコースを対象として、柱や壁などの静止障害物だけでなく、周囲の歩行者交通流との相互干渉も考慮して歩行挙動を検討し、すべての歩行者が目的地を認知しており、思考も個人単位で行なう場合の歩行挙動シミュレーションモデルを構築している。シミュレーションにおけるタイムステップは1/3秒とし、120秒間の試行を行ない、アウトプットとして歩行軌跡を得ている。対象施設におけるビデオ映像から、前方歩行者干渉と側方歩行者干渉、回避行動における侵入角度と回避角度、両者間の距離の関係について検討がなされているが、シミュレーションモデルでは歩行者干渉条件として、歩行者を中心とした半径3m、進行方向から左右30度の扇形領域に、障害物や歩行者が存在すれば回避行動を行なうと簡略化しているために、モデルに関しては、検討の余地が残されていると思われる。

本研究は、歩行者の注視特性、サインの視認、空間探索および障害物回避などの基本的な行動原理を、それらの相互の関係と、施設経験などの個人特性とを考慮し、一連の施設利用行動の中で統合的にモデル化する。そしてその行動原理に基づき、利用者の歩行軌跡および空間分布の推移をシミュレートし、サインや施設などの空間構成要素の変更がそれらに及ぼす影響について検討する。

3. 認知レベルを考慮した行動原理

(1) 基本的な行動原理の仮定

本研究では、現地における観察結果に、2.で行なった既往研究のレビューによって得られた知見を加え、高速道路SAにおける利用者の基本的な行動原理を以下のa)~d)に示すように仮定した。以下で

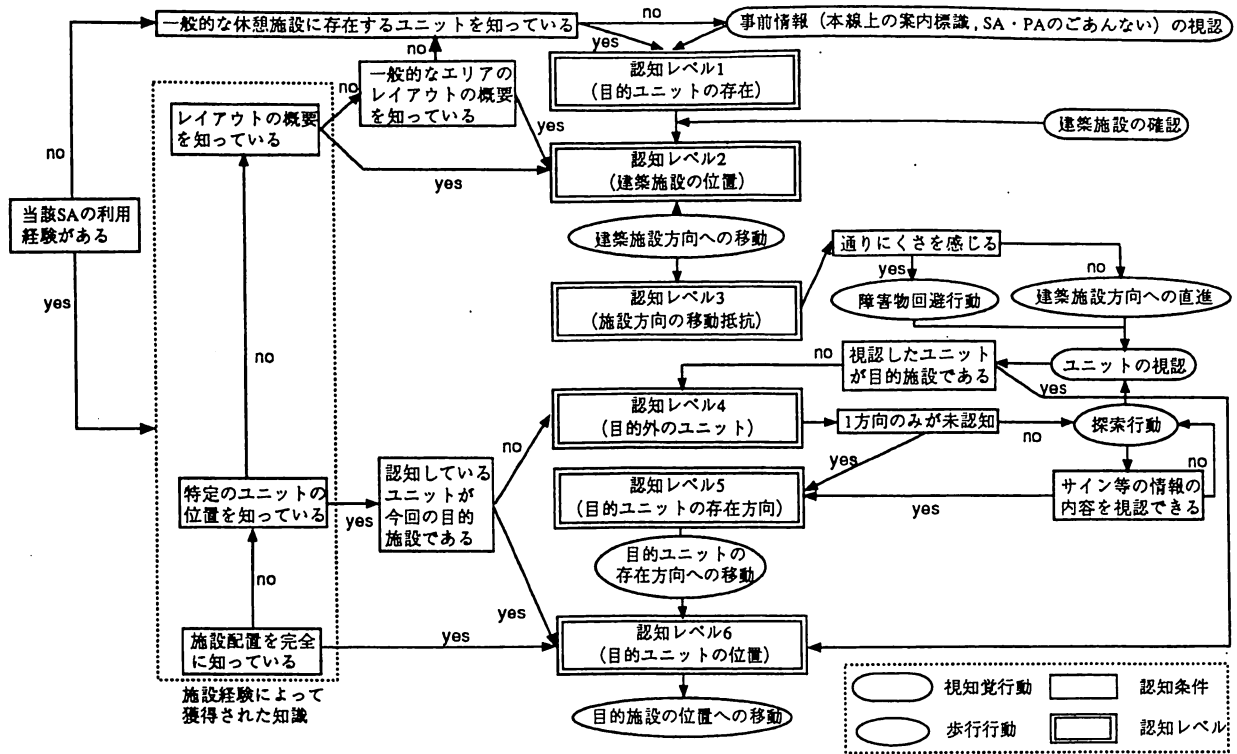


図-1 一般的なSAにおける利用者の行動原理

は、混乱を防ぐために、駐車スペースや通路・広場などを含めた休憩施設全体を「エリア」、サービス提供が行なわれる建物を「建築施設」、建築施設におけるレストランやトイレなどの機能単位を「ユニット」と記述する。

a) 建築施設方向への移動

利用者は建築施設の特徴的な構成要素（入口、標識・看板、ベンチ、植栽など）を目印とし、それに対し直進する。歩行速度は正規分布に従う確率変数で与えられ、障害物に接近しない限り加減速せず一定とする¹⁹⁾。また、進行方向を変更するのは、ユニットの位置や障害物を認知した場合に限られる。

b) 障害物回避行動

進行方向3m先に駐車車両やベンチなどの障害物が存在し、速度と進行方向を変更せずに歩行を続けると衝突すると判断した場合、利用者はそれらを障害物として認識し、回避行動をはじめ¹⁹⁾。回避行動はまず速度を減速し、回避可能な方向の中で、これまでの進行方向となす角が最小となるように回避方向を決定する。

c) 探索行動

利用者は、建築施設入口に設置されているエンドサインとしての看板や、施設内部の様子などを視認した場合に、ユニットの位置を認知する。

歩行中はこれらが進行方向に対して半径15m^{1),2)}中心角60度¹⁹⁾の扇形の領域内に存在する場合に認

知する。認知されたユニットが目的ユニットでなく、駐車スペースや車道を歩行している場合、利用者はそれまでの進行方向を保持し、駐車スペースと通路との境界など空間が分節する位置に達したところで未探索の方向全てに対して探索を行なう³⁾。また通路・広場を歩行している場合は、建築施設に沿って、探索していない領域を探索する。探索行動によって標識・看板が認知できない場合には、最も近い入口を目指して移動する。

d) 目的ユニットへの移動

目的ユニットの位置を認知している場合、利用者はその入口を目指し、それに対して移動距離が最短となる方向に歩行する。歩行中の経路の変更は進行方向に障害物が存在する場合に限られる。

(2) 認知レベルを考慮した行動原理のモデル化

過去のエリア利用経験の有無によって、目的ユニットを認知するための行動（以下、認知行動と略記）は異なる。

エリア利用経験のない利用者は、自分の知識と空間情報とを整合させながら探索する^{16), 17)}。本研究では、この過程を目的ユニットに対する認知の度合いから階層化し、以下に示す6段階の認知レベルを設定した。

またエリア利用経験のある利用者は、その経験から施設構成などに関する知識を獲得しており、この

表-1 実験・調査から得られたデータ

ビデオ撮影
平成5年10/20(水)および10/24(日), 時間帯: 9:00~17:00
[調査項目] 利用者の歩行経路, 歩行速度分布, 各施設の利用割合, 車の到着時間間隔
アンケート調査
平成5年10/20(水)および10/24(日), 時間帯: 9:00~17:00
サンプルサイズ: 144 (10/20), 156 (10/24)
[調査項目] 個人属性, 利用目的, 施設経験の程度, 施設配置に関する知識など
歩行実験
平成5年11/25(木), 時間帯: 14:00~16:00
[調査項目] 個人属性, 被験者の歩行経路, 歩行中の視認領域, 歩行方向選択理由

知識の程度によって認知行動は異なる。以上を考慮し、(1)に示した仮定に基づいた、一般的なSAにおける利用者の行動原理を図-1のようにモデル化した。以下では認知レベルの各段階を、当該エリアの利用経験の有無に分けて説明する。

a) エリア利用経験のない利用者の認知レベル

当該エリアの利用経験がない場合、一般的なSAに存在するユニットを知っているか、もしくは、事前に本線上の案内標識や「SA・PAのごあんない」等の印刷物によって、目的ユニットの存在を認知する。この段階を認知レベル1とする。

目的ユニットの存在を認知した利用者は、本線からエリア内に進入し、歩行を開始するまでに建築施設の位置を認知する。この段階を認知レベル2とする。駐車後、利用者は歩行を開始すると、進行方向の通りやすさ、通りにくさ(移動抵抗)を感じるようになる。この段階を認知レベル3とする。利用者は通りにくさを感じれば、それを回避し(障害物回避行動を行ない)、そうでなければそのまま建築施設方向へ直進する。このように移動抵抗に関する知識は歩行とともに逐次更新される。建築施設へ近づくと、ユニットを視認できるようになる。このとき視認したユニットが目的とするものであれば、認知レベル6となり、それに対して移動する。一方そうでない場合でも、目的ユニットが存在し得る範囲は狭まる。このように目的外のユニットの位置を認知した段階を認知レベル4とする。次に利用者は目的ユニットが存在すると思われる範囲に対して探索行動を行なう。目的ユニットの方向を示すサインなどを視認した場合には、目的ユニットの存在方向を認知したことになる。この段階を認知レベル5とする。この方向へ移動し、目的ユニットの位置が認知でき

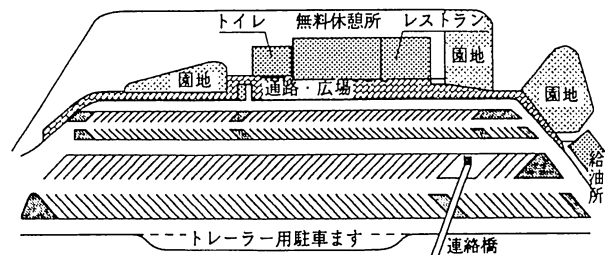


図-2 多賀SAのレイアウト概要

た段階は上述した場合と同様、認知レベル6とする。

b) エリア利用経験のある利用者の認知レベル

エリアの利用経験のある利用者を、獲得している知識によって以下のように分類する。

- ・ユニットの構成および配置に関して完全な知識を有する
- ・過去に利用した経験のあるユニットの位置に関する知識を有する
- ・エリア全体のレイアウトの概要の知識を有する
- ・ユニットの配置に関して完全な知識を有する場合、または特定のユニットの位置が分かっている、それが今回の目的ユニットである場合には、前述した認知レベル6に達した場合と同様な歩行行動を行なうとする。また認知しているユニットが今回目的としているものでなければ、認知レベル4に達した場合と同様な歩行行動を行なうとする。エリア全体のレイアウト概要が分かっているならば、認知レベル2に達した場合と同様な歩行行動を行なうとする。

4. 行動原理の仮定の検証

3.において仮定した行動原理が高速道路SAにおける利用者の歩行行動の実情に適合しているかを多賀SA(名神高速道路上り)をモデルケースとして検証した。データの収集は、ビデオ撮影による利用者の動線の記録、利用者に対するアンケート調査(平成5年10月20日(水)、10月24日(日)いずれも9:00~17:00)および歩行実験(平成5年11月25日(木))を通じて行なった²⁰⁾。歩行実験は施設配置に関する知識の程度による歩行挙動の違いを詳細に把握するためのものである。表-1に各調査、実験より得られた主要なデータを示す。また図-2に多賀SAのレイアウト概要を示す。

これらのデータを用いて仮定した行動原理の検証および修正を行なった。以下に、歩行速度の分布、施設利用経験と目的ユニット位置の記憶との関係および施設経験の無い利用者の行動について述べる。

(1) 利用者の歩行速度

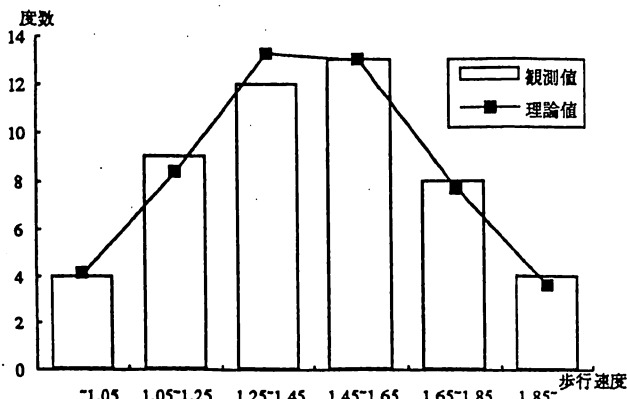


図-3 歩行速度分布

表-2 施設利用経験と目的ユニット位置の記憶との関係

	第1利用施設の認知地点								不明	総数	事前(1)の目的ユニットの視認率	歩行開始まで(2)(3)の目的ユニットの視認率
	1 以前に利用して知っていた	2 車中から施設を見てわかった	3 車から降りてすぐわかった	4 歩行中同伴者に関わった	5 施設に向かっている時にわかった	6 地図型の案内標識を見てわかった	7 建物前の通路でわかった	8 目的施設の目前でわかった				
はじめて	0	14	30	10	14	4	1	3	3	79	0%	58%
2~3回	65	19	20	2	5	3	0	2	2	118	56%	76%
4回以上	187	14	17	7	9	3	4	0	8	249	78%	57%
不明	4	0	2	0	1	0	0	1	2	10	50%	50%
総数	256	47	69	19	29	10	5	6	15	456	58%	63%

ビデオ映像から歩行速度を測定した。歩行速度の平均は1.44m/s、標準偏差は0.28m/sであった(図-3参照)。3.(1)a)において、歩行速度は正規分布に従うと仮定しており、歩行速度を6区分して χ^2 値を求め、正規分布との適合度をみたところ $0.234 < 0.352 = \chi^2_{0.95,3}$ となっていた。これより歩行速度の分布は正規分布にほぼ適合していることが確認できた。

(2) 利用経験による目的ユニットの位置の記憶

3.(2)で、施設の利用経験が多い方が、施設の構成・配置に関してより多い知識をもっていると仮定したが、これを確かめるために、アンケート結果のうち[設問:多賀SAの利用経験の程度]と[設問:一番最初に利用した施設を認知した時点]とをクロス集計した。「以前に利用して知っていた」と回答した利用者の割合は、2~3回目の利用者では平日、休日ともに56%、4回目以上の利用者では平日78%、休日77%となっており、施設経験が多い方が目的ユニットの位置を記憶している割合が多くなること

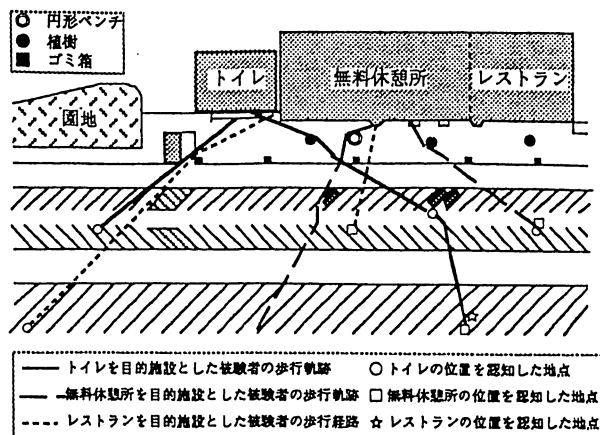


図-4 歩行経路図

注) 回避対象となった車両以外は表記していない

確認できた(表-2参照)。

(3) 施設経験の無い利用者の行動

利用実態調査では施設経験のない利用者の歩行行動に関するデータを十分には収集できなかったため、多賀SAにおいて施設経験のない被験者を対象とした歩行実験を行なった(被験者数6名:京都大学工学部一回生)。方法としては被験者の数m後から調査員が追跡し、その歩行経路を施設配置図に記録した(図-4参照)。また被験者が歩行時に獲得した施設配置に関する情報を抽出するため、各施設の位置を認知した地点とその理由および歩行開始地点と方向転換地点における方向選択理由を歩行終了直後に質問している。

実験の結果について述べる。まず歩行開始時点では、すべての被験者が目的とする施設を発見できないまま歩行を開始した。方向選択の理由は、「とりあえず建築施設方向へ向かった」、「目的施設のある方向を予測して、その方向へ向かった」であった。歩行経路の記録より、歩行開始時点で選択した方向をみても、全ての被験者について、その延長線上に施設の入口があった。このことから、施設経験のない利用者は、施設入口を目印として歩行することが確認された。この結果より建築施設方向への移動原理を検証した。

駐車スペースを歩行している間は、駐車車両などの障害物を回避する時以外は、それまでの進行方向を保持していた。ただし障害物回避に伴う方向転換によって、目的施設を発見した場合には、その地点から、目的施設に対する移動距離が最短となる方向へ歩行を始めた。この結果は、障害物回避行動および目的ユニットへの移動の原理の妥当性を示すものであると考えられる。

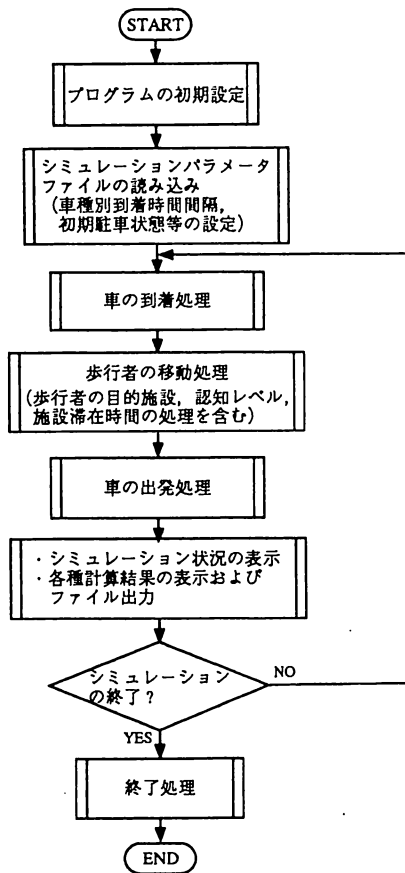


図-5 シミュレーションの基本構造

また、通路・広場を歩行している間は、目印とした施設入口が目的施設への入口であるか否かを判断できない場合には、施設内部に進入した後目的施設を探索することが明らかになった。さらに歩行後の質問に対する回答と歩行経路図から、進行方向に対し、半径約25m、中心角約20度の範囲内に、レストランの外窓、トイレの入口があれば、それぞれレストランの位置、トイレの位置を認知していたことが確認できた。この結果が、参考文献1)、2)および19)に示されている結果と異なっているのは、SAという場所の特性上、見通しがよく、探索する対象が限定されているため、歩行中の注意が前方に集中したためであると考えられる。以上の結果を用いて探索行動の原理を修正した。

5. 歩行動線シミュレーションモデル

(1) シミュレーションモデルの概要

本研究で提案するシミュレーションモデルの基本構造は図-5に示すような流れになっている。主要な部分は「車の到着処理」から「車の出発処理」の間のループ構造であり、車両の到着、歩行者の移動、車両の出発という処理がこのループの中で行われる。

本モデルは現段階では、SA内の車両の走行は考

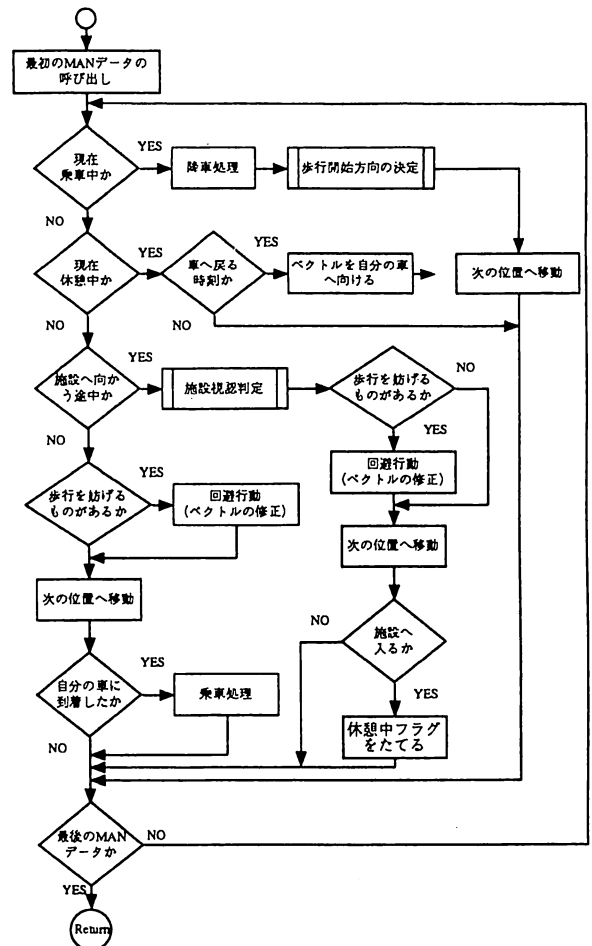


図-6 歩行者の移動ルーチンフロー

慮しておらず、車両の到着即ち駐車車両の発生として処理を行っている。ここで駐車場所は、実測した駐車場の利用状況に基づき駐車場ごとに乱数を発生させることによって決定している。また車両の到着は時間軸に沿って発生し、その時刻がランダムであると考えられるためポアソン過程を適用し、車両の到着時間間隔の確率分布は指数分布に従うと仮定した。車両の到着時間間隔は利用実態調査の結果より抽出されており、各時間帯ごとに値を与えることができる。

図-6は、本研究で仮定した歩行行動原理に基づく歩行者の移動ルーチンである。このルーチンの先頭で、発生させた利用者に対し、目的ユニットおよび認知レベルを割り当てる。この割り当ては、アンケート調査結果を利用車種（普通乗用車、大型バス、大型貨物車）ごとに集計した結果に基づいている。

また、本モデルでは建築施設内の利用者の流動（回遊状況）は考慮しておらず、利用実態調査時に求めた個人の施設内滞在時間を用いて、この影響を反映するに留まっている。

図-7はシミュレーションの出力結果である。このように、施設、歩行者および車両の位置・大きさは、

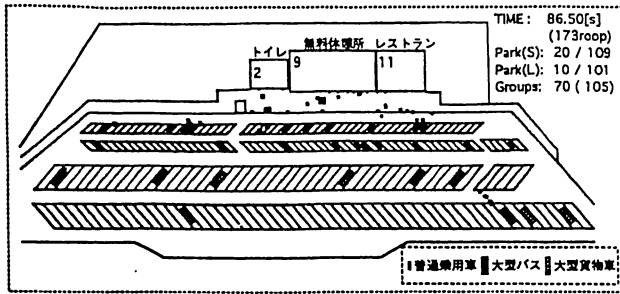


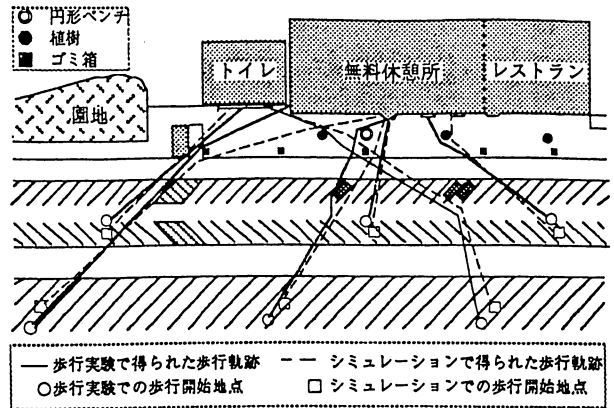
図-7 シミュレーションの出力結果 (例)

実際のスケールの比を保ったまま実座標によって表現される。ここで、到着した車ごとに発生した利用者は、アンケート結果から得られた分布に基づいて各々異なる特性（施設の利用経験に基づく認知レベル、目的ユニット）が割当てられており、施設を利用した後に自分の車に戻り、車が出発するまでの歩行軌跡が任意の時間間隔（図-7では1/2秒）でシミュレートされる。また、出力モードを切り替えることにより、利用者の歩行空間を任意の正方メッシュに分割し、メッシュごとの存在人数の推移を表現することも可能である。これ以外には、各時間間隔ごとに障害物回避を行なった利用者の数、各利用者の歩行速度などの数値がリアルタイムで出力されるほか、シミュレーション終了時に各メッシュにおける利用者の平均存在密度、総存在人数がグラフィックにより表示される。また、これらのデータは、ディスプレイに表示されると同時にEXCEL形式のファイルにも出力される。

このシミュレーションのもう一つの特徴は、施設（トイレなどの建築施設、駐車ます、サイン）の配置、数、形状と車の平均到着時間間隔などの利用状況を表すデータをファイル入力形式にしていることである。これにより、さまざまな要因の変更に伴う施設の利用状況の変化をプログラムの変更なしにシミュレートすることが可能である。

(2) シミュレーションの再現性の検証

シミュレーションの再現性を検証するために、モデルケースとして選定した多賀SAにおける利用実態調査結果と本研究で提案するシミュレーションの結果とを比較した。以下に、a) 再現に要した時間、b) 歩行軌跡と方向転換、c) メッシュに分割された歩行空間における利用者の移動に関して述べる。なお外生的に入力したデータは調査日（平成5年10月20日(水)）の12:00～13:00における平均到着時間間隔（普通車：37[sec]、大型バス600[sec]、大型貨物車67[sec]）、利用者の特性分布、乗車人数分布、歩行速度分布（平均:1.44m/s、標準偏差:0.28m/s）である。



注) 回避対象となった車両以外は表記していない

図-8 歩行軌跡と方向転換の比較

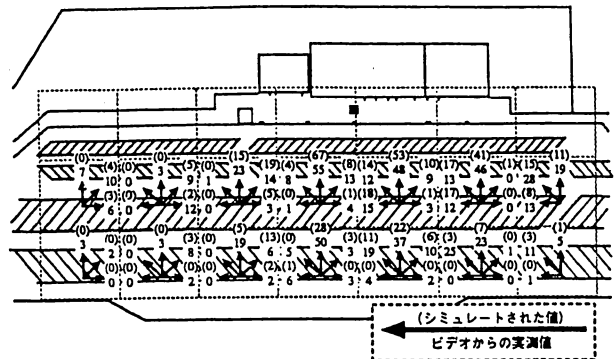


図-9 メッシュ間での利用者の移動の比較

a) 再現に要した時間

IBM PS/V (CPU:80486, Clock:66MHz)上で、ポーランドC++を用いてコンパイルし、60分間のシミュレーションを1/3秒の時間間隔で3回行った結果、要した時間は、それぞれ47分、55分、70分となった。

所要時間が異なるのはシミュレートした利用者が進行方向上にある車両をそれぞれ障害物として認知し、自分の進行方向の変化が最小となる回避行動を決定するため、駐車車両の数と利用者との相対的な位置関係に影響を受けたためである。

b) 歩行軌跡と方向転換

4.(3)で示した歩行実験と同じ状況（初期駐車車両）をシミュレーション上で再現し、歩行軌跡と方向転換を比較した。シミュレーションで発生させた歩行者には、歩行実験の被験者と同じ目的ユニットを割り当て、認知レベルは全て1とした。この結果を図-8に示す。

シミュレーションでは歩行開始地点を各駐車ますの重心としているため、歩行開始地点に多少のずれが生じ、これが進行方向に影響を与えるため、数箇所転換する方向が異なっている。しかし、全体として、歩行軌跡、転換場所、転換の様子について、その再現性が確保されていると判断できる。

c) メッシュ間での利用者の移動

歩行空間を図-9に示すようにメッシュで分割し、当該メッシュから歩行を開始した利用者が、次にどのメッシュに対して移動したかを比較した。メッシュの大きさは、歩行開始地点を「施設に最も近いパーキングロット」、「施設に最も遠いパーキングロット」、「パーキングスペース中央部」に大分し、利用者の移動の傾向を探るために30m×30mと設定した。本モデルでは、個人の駐車場所選択原理は導入しておらず、駐車場所の利用実績値に基づいて、駐車場所をランダムに決定しているため、利用頻度にばらつきのある端部では、再現性が低下していることが分かる。しかし利用頻度の高い施設正面部では、端部よりも駐車状況に影響されないため、利用者の移動に関しては、その再現性が十分にあることが確認された。

6. ケーススタディ

本研究で構築したシミュレーションモデルを、モデルケースとした多賀SAに適用し、施設利用状況、利用者の歩行動線および密度などから得られる指標によって、現状および施設配置変更案に関して検討する。

(1) 多賀SAの現状と施設配置変更案の作成

多賀SAは大型車用駐車スペースが十分に確保されており、バスの休憩利用が多い。このようなバスの利用が集中する際に発生するトイレの混雑、歩行スペースにおける混雑に対応するための方策が重要であると考えられる。このような点を考慮し以下に示す代替案を作成した。

a) 第1案：トイレの新設

利用率の高いトイレ利用の混雑緩和、トイレ利用者の動線の分散などを目的として、トイレを新設する。このとき、建物に対して既存のトイレの反対側にあたるレストラン横の園地にトイレを新設する。

b) 第2案：トイレの新設と小型駐車スペース配置の変更

トイレの混雑に加え、利用が集中して発生する大型バスが施設から遠い位置に駐車しなくてはならないことを考慮すると、大型駐車スペースから建物へのアクセスを向上させる必要がある。ただし、現状での駐車スペース配置はスペースの有効利用、駐車の手やすさが図られおり、基本レイアウトを大幅に変更することは望ましくないため、ここでは小型駐車スペースを数個減少させることによって歩行空間を確保するととどめる。具体的には、第1案で新設したトイレ前の小型駐車スペースの配置を変更し、アクセスのための

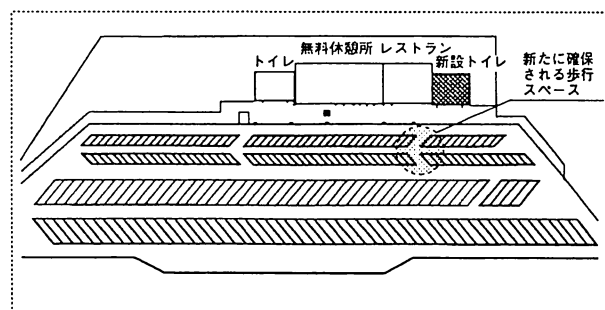


図-10 第2案（トイレの新設と歩行空間の確保）

空間を確保する（図-10参照）。

(2) シミュレーション結果に基づく検討

シミュレーションの状況設定には、5.と同様、平成5年10月20日(水)の12:00~13:00における平均到着時間間隔（普通車：37[sec]、大型バス600[sec]、大型貨物車67[sec]）、利用者の特性分布、乗車人数分布、歩行速度分布（平均:1.44m/s、標準偏差:0.28m/s）を入力した。そして、現状、第1案、第2案とも60分間の利用状況を1/3秒間隔でシミュレートし、得られた利用者の歩行軌跡、4mの正方メッシュによる利用者密度の推移および利用者が障害物を回避するために行った方向転換の回数を用いて検討を行った。

現状においては、利用者全体の方向転換回数は1loop（1/3秒）あたり1.18回であった。利用者密度が最大となったのは、トイレの入口を含むメッシュで0.38（人/m²）であった。また各メッシュにおける利用者密度の時間平均が最大となったのは、トイレの入口を含むメッシュで、1.06×10²（人/m²）となっており、トイレ前の利用者の集中が確認された。

第1案で利用者密度が最大となったのは、現状の場合と同様トイレの入口を含むメッシュであるが、その値は現状の場合と比較して、約半分の0.19（人/m²）であった。各メッシュにおける利用者密度の時間平均が最大となったのは無料休憩所の中央入口付近のメッシュで、0.74×10²（人/m²）であった。これらの結果から、トイレを新設することにより、利用者の歩行動線が分散し、利用者の集中による混雑状況が緩和されていることが確認できる。また1loopあたりの利用者全体の方向転換回数は0.96回となっており、現状における施設配置よりスムーズに歩行できることも確認できた。

第2案で利用者密度が最大となったのは、現状、第1案と同様トイレの入口を含むメッシュで、第1案と同じ値（0.19（人/m²））になった。各メッシュにおける利用者密度の時間平均が最大となったのも第1案と同じく無料休憩所の中央入口付近のメッシュで、0.73×10²（人/m²）であった。ただし、1loopあ

たりの利用者全体の方向転換回数は0.84回と第1案より減少しており、歩きやすさが向上していると考えられる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、高速道路休憩施設における利用者の動きに着目し、利用者の認知レベルに基づいた歩行動原理をモデル化した。また利用実態調査、アンケート調査および歩行実験から得られたデータを用いてこの行動原理を検証した。そしてこの行動原理に基づき、利用者の歩行動線と施設などの個々のエレメントとの関係を考慮したシミュレーションモデルを構築し、その再現性の検証を行なうと同時に、モデルケースとした多賀SAに適用し、施設配置の変更が、施設利用の状況に与える影響について検討した。

今後の課題としては以下の(1)~(4)が挙げられる。

(1) 利用者の交錯状況（コンフリクト）の再現

本モデルでは、現段階において利用者の交錯状況は再現されていない。現況の再現性の向上、移動中の快適性・安全性の評価のために、他の人間の行動を予測した回避や停止といった行動を再現する必要がある。

(2) 施設内を走行する車両の再現

本モデルでは、現段階においては、SA内を走行する車両は再現されておらず、駐車場所の選択も駐車ますの利用実績値に基づいてランダムに決定しているに留まっているため、利用頻度の低い箇所における利用者発生再現性が低下している。この問題を解決するために、駐車場所選択をモデルに内生化することが今後の課題として挙げられる。

さらに、歩行者と車両の関係によって生ずる施設内の安全性などの問題や、施設内での走行のしやすさなどのドライバーの視点からみた問題について検討するためには、歩行者と車両相互の回避状況、追従走行などを考慮し、SA内を走行する車両をモデル化し、本論文で提案した歩行者シミュレーションと統合する必要がある。

(3) サインなどが与える情報の定量化

本モデルでは、施設の入口や施設の場所を示すサインが歩行者動線に与える影響を考慮しているが、モデルを施設計画の支援ツールとして確立するためには、上述したようなサインが有する情報量を定量的に把握し、これらを政策変数として歩行者動線に

与える影響を検討する必要がある。

(4) モデルの移転性の検討

本研究では、多賀SAをモデルケースとして、モデルの構築および再現性の検証を行なったが、モデルの移転性を確認するために、他の高速道路休憩施設に対しても、モデルを適用する必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、調査・分析に協力頂いた京都大学工学部橋本博至氏（現株式会社環境総合研究所）、奥嶋政嗣氏（現株式会社日本総合研究所）、宮川公一氏、菊池輝氏、並びにデータ収集に協力頂いた日本道路公団名古屋管理局、道路施設協会多賀事業所に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 田島学・朝倉博樹：アイマーク・レコーダーによる歩行者の注視特性に関する基礎的研究，日本都市計画学会学術研究発表会論文集，No.19，pp.151-156，1983.
- 2) 松原雅輝・松本直司：空間シミュレーションのための視知覚の特性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.637-638，1990.
- 3) 矢田章・上原孝雄：歩行空間における経路探索行動の特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.689-690，1991.
- 4) Michel Bry・Michele Colomb：標識およびマーキングの視認性，高速道路と自動車，vol.32，pp.59-65，1989.
- 5) 矢田章・上原孝雄・佐藤克志・安藤恵一郎：歩行者の経路探索行動と空間特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.657-658，1990.
- 6) 緒方誠人・材野博司：都市空間のサイン計画に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.403-404，1992.
- 7) 室崎益輝・大西一嘉・奥村篤：梅田地下街の利用者行動に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.701-704，1992.
- 8) 渡邊昭彦・山下忠男・石田健・芳谷晴彦：利用者の行動からみた空間評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.281-286，1989.
- 9) 渡邊昭彦・三井雅貴・白井聖記・中村浩一：情報と動線からみた空間探索行動の分析，日本建築学会東海支部研究報告，pp.349-352，1989.
- 10) 渡邊昭彦・石田健・芳谷晴彦・加藤丈祐：図形情報を無くした場合の空間探索行動実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.565-570，1989.
- 11) 渡邊昭彦・中村浩一・渡辺和幸：発話とイメージマップからみた空間の分かりやすさの研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.341-342，1990.
- 12) 小塚滋久・中祐一郎・小林健二：交錯する歩行者の衝突回避行動に関する観測と解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，E建築計画，pp.563-564，1989.
- 13) 小塚滋久・中祐一郎：歩行者の衝突回避行動に見られる警戒領域の考察，日本建築学会東海支部研究報告，pp.325-328，1990.
- 14) 建部謙治・中島一：歩行者の障害物に対する回避行動特性，日本建築学会東海支部研究報告，pp.329-332，

- 1990.
- 15) 建部謙治・中高一：固体領域に基づいた通路幅員，日本建築学会東海支部研究報告，pp.329-332，1990
- 16) 森一彦・高藤芳明・渡邊昭彦：空間認知モデルの研究，日本建築学会東海支部研究報告，pp.341-344，1989.
- 17) 森一彦・高藤芳明・渡邊昭彦：視認率を考慮した認知行動シミュレーション，日本建築学会東海支部研究報告，pp.313-315，1990.
- 18) 榛沢芳雄・野村和弘・安井一彦・福田敦・寺内徳彰：駅前広場のシステム設計，土木計画学研究・講演集，No.7，pp.415-419，1985.
- 19) 中山晴幸・大村武馬：歩行者の歩行挙動の検討とそのシミュレーション，土木計画学研究・講演集，No.16(1)-1，pp.179-184，1993.
- 20) 奥嶋政嗣・菊池輝・飯田克弘・北村隆一：高速道路休憩施設利用者の歩行行動に関する考察—歩行動線シミュレーションの構築を目指して—，第48回土木学会年次学術講演会講演概要集 第4部，pp.290-291，1994.

(1994. 6. 2 受付)

SIMULATING THE SITUATION OF EXPRESSWAY REST AREAS - RELATIONSHIP BETWEEN PEDESTRIAN, CARS AND LAYOUT OF PHYSICAL OBJECTS : A TOOL FOR FACILITY DESIGN AND EVALUATION

Katsuhiro IIDA and Ryuichi KITAMURA

Planning expressway rest areas requires consideration of various interdependent elements, for example allocation and layout of physical objects, contents and design of signs which define crowd movement, which in turn affects safety. This paper proposes a simulation model of pedestrian and vehicle movements in expressway rest areas as a tool for facility design and evaluation. The focus of the analysis is on the relationship among pedestrian behavior, vehicle movements and facilities layout. The simulation is based on a micro-level model which represents pedestrian movement as a function of the amount of available information in addition to the more obvious principles of collision avoidance and distance minimization. Results of simulation are presented through graphic display to visualize the effect of design components. The model system can conveniently adopt different combinations and facility components (e.g., toilets) and their layouts, and facilitates the analysis and evaluation of a wide range of design alternatives.

This paper is composed of two parts: model development and a case study. The model development comprises the following steps:

1. Formulation of assumptions of pedestrian behavior principle,
2. Observation of actual pedestrian behavior and experimentation in public facilities,
3. Analysis of the relationships between pedestrian behavior and pedestrian attributes and
4. Validation of the assumptions and model components.

In the case study, the model is implemented for an expressway rest area, its reproducibility is verified and facility improvement plans are proposed based on the results of simulation.