

探索歩行時における注視と歩行行動の特性に基づく シミュレーションモデルに関する研究

The simulation model of visual search and pedestrian movements in way finding

○増田博雄 北濱亨 鈴木利友 黒岩将人 柳沢和彦 岡崎基幸

京都大学大学院工学研究科生活空間学専攻

Hiroataka MASUDA and Toru KITAHAMA and Toshitomo SUZUKI and Masato KUROIWA

and Kazuhiko YANAGISAWA and Sigeyuki OKAZAKI

Department of Architecture and Environmental Design, Graduate School of Engineering, Kyoto University

序

迷路内で探索歩行実験を行い、歩行者の眼球運動や頭部・身体運動並びにこれら相互の協応関係、それらの諸運動と周囲の環境との関わり、学習による環境との関わりの変化について調査し、その基礎的特性を明らかにしてきた¹⁾。また一方で、我々は群集歩行シミュレーションモデルの開発を行ってきた^{2~6)}。これによりコンピュータ上で、避難時に群集が移動する状況の再現が可能となった。しかし歩行者がどのように環境の情報を獲得して歩行するかについて詳しく扱ってこなかった。このため本論では、実際の探索歩行時の注視と歩行に基づいたシミュレーションモデルの構築を目的として研究を進める。研究の枠組みは以下の通りである。1) 既報¹⁾で用いた迷路(以下実験用迷路)における、探索歩行時の注視と歩行の関係を詳しく分析し、基礎的なモデル化を行なう。2) モデル化をもとに注視と歩行のシミュレーションモデルを構築する。3) シミュレーションモデルを実験用迷路に適用し、注視行動を再現する。4) さらにシミュレーションモデルを以下に述べる巨大迷路に適用し、異なる迷路での歩行者の注視行動の再現性を検討する。5) この注視行動の再現性に問題があれば、モデルの修正または改善を行う。

1. 迷路内探索歩行実験

探索歩行時の歩行と注視と環境との関わりを調査するために、実験用迷路および石川県白峰村にある屋外巨大迷路(以下巨大迷路と略す)で迷路内探索歩行実験を行った。実験用迷路と巨大迷路では、規模の大きさ、屋内と屋外等の違いがある。以下に、この2つの迷路で行った探索歩行実験の概要を示す。実験用詳細については既報¹⁾を参照。

1-1. 迷路の状況、実験方法、被験者

巨大迷路の規模は縦27m、横27mで通路幅1.5m。

1.5mピッチに立った柱に木製の板を上からはめ込んで迷路を作る。実験用迷路と比較して高さおよび通路幅はほぼ同じであるが、平面の規模は約16倍である(図1)。アイカメラはナック社のEMR-7を使用。被験者が装着したのはアイカメラのみで、EMR-7は周辺視を妨げないので、通常の歩行と相違ない。また被験者の背後から実験者が随行し、被験者の身体の位置や向き、頭部の向きなどを記録した。実験では、被験者に数回続けて迷路をゴールまで探索してもらい、その後描画実験をあわせて行った。各迷路とも同条件下で学生5人の実験を行った。

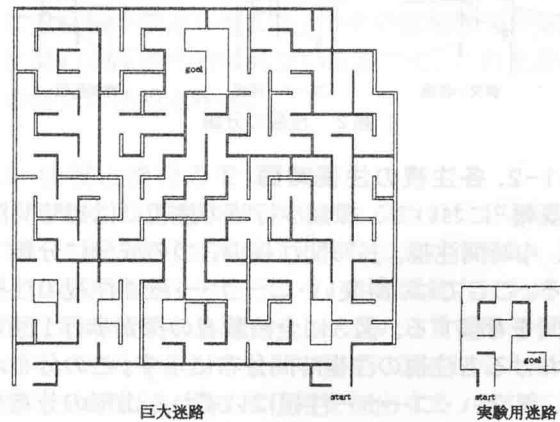


図1 迷路平面図

1-2. 教示、描画、ヒアリング、データの記録

実験終了後には、アイカメラの映像と被験者の動きを後部上方から撮影したビデオカメラの映像を基に、注視点、歩行者の身体の位置や向き、頭部の向き、注視点と頭部を結ぶ視線を迷路平面図内に記入し「歩行時の注視行動解析図」を作成する。注視点の定義は予備実験により視角で4.5度以内と定めた。各注視点の位置には○内に注視点番号を示し、その右肩に注視コマ数、右下に注視点の高さを記号で表示する。なお本論では煩雑さをさけるため、図によっては注視番号・注視コマ数を省略した。

2. 探索歩行における注視行動の基本特性

実験用迷路での探索歩行実験の分析により注視行動の基本特性を求める。探索歩行1回目のように、幾度か迷いながらゴールにたどり着く段階は、探索段階として捉えることができる。ここでは探索歩行1回目に注目し、探索段階における注視行動について分析する。例として被験者MMの図を載せる。

2-1. 注視の特性

2-1-1. 注視対象による注視の分類

全被験者の注視行動解析図から、迷路内探索歩行における注視点の位置は、壁のエッジ（出隅）付近、コーナー（入隅）付近、壁面上に分布している。これらの中で、エッジ付近の注視については、既報¹⁾において「斜交い注視」とし、手前の壁のエッジ越しに奥の壁を注視するものとして定義した。本論では、この斜交い注視に加え、コーナー付近の注視を「コーナー注視」、エッジとコーナー以外の壁面上の注視を「壁面注視」とし、注視対象の分布から全注視を3つに分類する(図2)。また、斜交い注視の起こるエッジはGibson⁷⁾が遮蔽縁と定義したものに該当すると思われる。

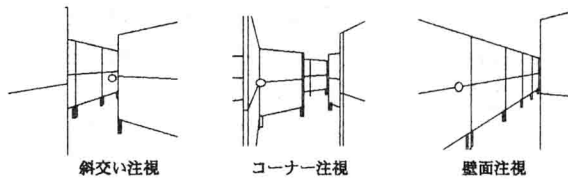


図2 注視の分類

2-1-2. 各注視の注視時間

既報¹⁾において、探索歩行時の注視には短時間注視、中時間注視、長時間注視の3つの成分に分類できる。ここでは、斜交い・コーナー・壁面注視の注視時間を考察する。図3に全被験者の探索歩行1回目における各注視の注視時間分布を示す。この分布から、斜交い・コーナー注視はいずれも山形の分布を示し、中時間注視の占める割合が大きい。これに対して壁面注視は単調減少を示し、短時間注視の占める割合が大きい。また全被験者の各注視の注視時間の平均値は、斜交い注視 227msec、コーナー注視 213msec、壁面注視 131msec である。

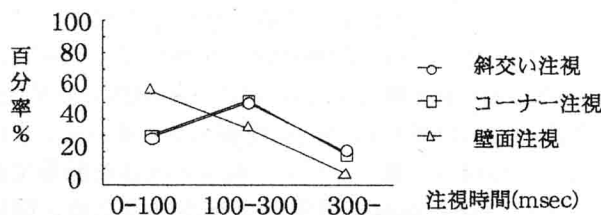


図3 全被験者の注視時間分布

2-1-3. 各注視の特性

①斜交い注視 図4は、スタート直後直進路での注視行動解析図である。奥行き方向に並んだ斜交い注視は、奥の遮蔽縁から手前の遮蔽縁へという順に注視される傾向がある(E1 → E2 → E3 → E4)。また遮蔽縁が多く現れる場所においては中間の斜交い注視はあまり行われず、遮蔽縁が手前になってから注視される傾向がある(E4)。

②コーナー注視 図5は雁行路での注視行動解析図である。コーナーは、斜交い注視を行っている最中に、その遮蔽縁の隠れた部分に発見され、注視されることが多い。そしてしばらくコーナーを注視した後、先ほど注視していたエッジがまだ遮蔽縁であれば、その遮蔽縁を斜交い注視し、もう遮蔽縁でないのであれば他の遮蔽縁へと注視を向ける傾向がある(E1 → C1 → E2)。

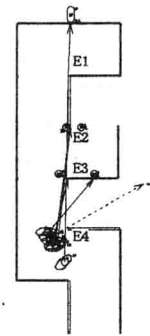


図4 スタート直後直進路

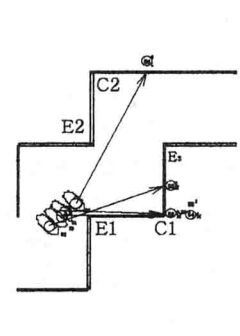


図5 雁行路

③壁面注視 図6は曲がり角付近での注視行動解析図である。壁面注視による注視点の位置は、壁面上に広く分布し、斜交い注視での遮蔽縁、コーナー注視でのコーナーといった特定の場所を見つけない。しかし図7で示すように壁面注視の行われた位置に注目すると、壁面注視は、特に曲がり角を曲がる時の奥の壁への注視として見られる。これは全被験者に共通して見られる傾向である。このように壁面注視は、曲がり角を曲がるという歩行に関係した注視であると考えられる。

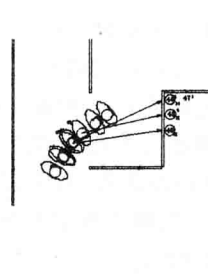


図6 曲がり角

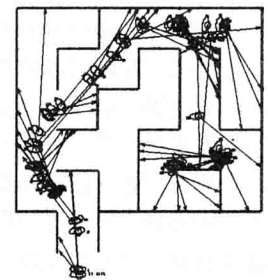


図7 壁面注視の行われた場所

2-2. 注視と歩行の関係

壁面注視に、身体運動との関係が、また斜交い注視される遮蔽縁には、歩行者位置との関係が見られる。

2-2-1. 注視と身体運動の関係

図8は、スタート直後の注視行動解析図である。身体運動が直進運動から曲がり運動へと変化した時の、注視行動の変化に注目する(注視番号5~8)。直進している間、被験者は、斜交い注視やコーナー注視を行なう。そして身体運動が曲がり運動へと変化する時、壁面注視へ変化している。次に曲がり運動で壁面注視を行なっている時の、身体の移動と注視点の関係に注目する(注視番号9~10)。このとき注視点は身体の曲がる方向の先へと移動し、さらに身体はその注視点の方へと曲がり運動を続ける。以上から以下の2点が見出される。

- 1) 身体運動が直進運動の時は斜交い・コーナー注視を行なっているが、身体の運動状態が曲がり運動になると、壁面注視へと移行する傾向が見られる。
- 2) 曲がり運動での壁面注視は、身体がこれから曲がろうとする先を注視するもので、身体は注視点の方へ向かって曲がり運動を行なう(図9)。

2-2-2. 注視と遮蔽縁の関係

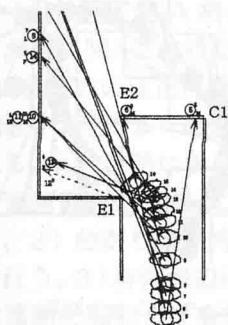


図8 スタート直後

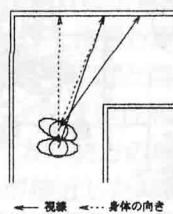


図9 視線と身体の模式図

身体の運動が直進運動から曲がり運動へと変化する時に、斜交い注視から壁面注視に変化することを述べた。ここでは、その後の曲がり運動に注目する(図10-a)。被験者は曲がり始めに壁面注視を行なうが、その後曲がり運動であるにもかかわらず、再び手前の遮蔽縁に対して斜交い注視を行なう。このように手前の遮蔽縁を優先して注視する原因として、遮蔽縁と歩行者の位置との関係がある。図10-bにこのような場面を示す。この図の中で、手前の遮蔽縁に歩行者の位置との関係で重要な意味が生じている。これは、歩行者がもう少し歩くことで、遮蔽縁を構成するもう一つの癖面が現れる、最も大きな展開の原因となる遮蔽縁である。そして、身体周辺にこのような遮蔽縁がある場合には、歩行者はその遮蔽縁へ注視を移動させる。

2-3. 歩行との関係に基づく注視行動の分類

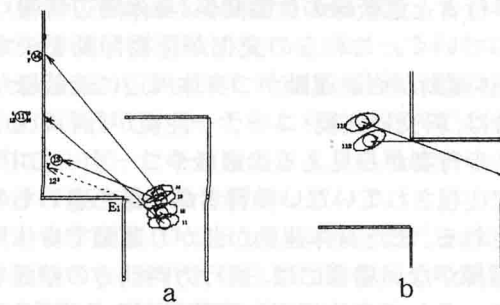


図10 注視と遮蔽縁の関係

迷路内探索歩行1回目の注視を、注視の分布位置から斜交い注視、コーナー注視、壁面注視に分類した。これらの注視は歩行とともに変化していく。歩行によって変化する注視行動は、次の3つに分類できる。

①斜交い注視・コーナー注視 歩行者が直進運動をしており、身体周辺に接近している遮蔽縁がないとき、歩行者は奥から手前へと斜交い注視やコーナー注視を行なう。

②壁面注視 歩行者が曲がり角を曲がり始める時、身体を誘導するように進行方向前方の壁を注視する。

③身体性の斜交い注視 歩行によって、身体周辺に遮蔽縁が接近してくると、その遮蔽縁を身体運動に関わらず優先的に斜交い注視する。これを身体性の斜交い注視と呼ぶ。

3. 注視と歩行のモデル化

これらの注視行動の特性を、探索歩行における環境、注視、歩行の関係として1つに体系化し、注視と歩行のモデル化を行なう。なお環境内における知覚行為のモデルとしてNeisser⁹⁾の知覚循環モデルがある。このモデルでは、知覚者は図式にしたがって環境を探索し、そこで情報を抽出する。そして抽出した情報が図式を修正し、次の探索へ進むという循環が示されている。ここではこのような包括的なモデルではなく具体的な要素を設定しモデル化した。図11に注視と歩行のモデルの流れを示す

3-1. 注視のモデル化

環境(迷路)は、壁面や床などの要素によって構成される。その中で、壁のエッジとコーナーは、歩行者の経路選択にとって重要な情報を与えている。コーナーはそこに経路がないことを歩行者に示し、エッジは歩行者の位置との関係で遮蔽縁となり、その向こうに経路があることを示す。歩行者はこの環境の中を、注視しながら歩行する。

歩行者が歩行するにつれて、歩行者から見た環境

の見え（視覚情報）、身体運動（直進運動、曲がり運動）、歩行者と遮蔽縁の位置関係（身体周辺情報）は、変化していく。これらの変化が注視行動を決定する。身体運動が直進運動かつ身体周辺に遮蔽縁がない場合は、斜交い注視・コーナー注視が行われる。この時、歩行者から見える遮蔽縁やコーナーの中で、今まで注視されていない歩行者から最も遠いものが注視される。また身体運動が曲がり運動で身体周辺に遮蔽縁がない場合には、進行方向前方の壁面を注視する。そして身体周辺に遮蔽縁がある場合には、その遮蔽縁を斜交い注視する。

そしてこれらの一度注視されたエッジやコーナーは、身体性の斜交い注視を除いて注視されない。

3-2. 歩行のモデル化

歩行者は環境（迷路）の中から何らかの基準によって経路を選択し、その結果行き止まりになると、別の経路を選択し、行き止まりになった経路は選択されない。経路選択については既に研究が行われており、ここではモデル化していない^{2~6}。

ここでは、次のように歩行モデルを設定している。歩行者は次に曲がる遮蔽縁に対して歩行目標を設定し、歩行目標に向かって歩行する。歩行目標を通過すると、次に曲がる遮蔽縁を選択し、この遮蔽縁に対する歩行目標に向かって歩行していく。これを順次繰り返してゴールに向かう。

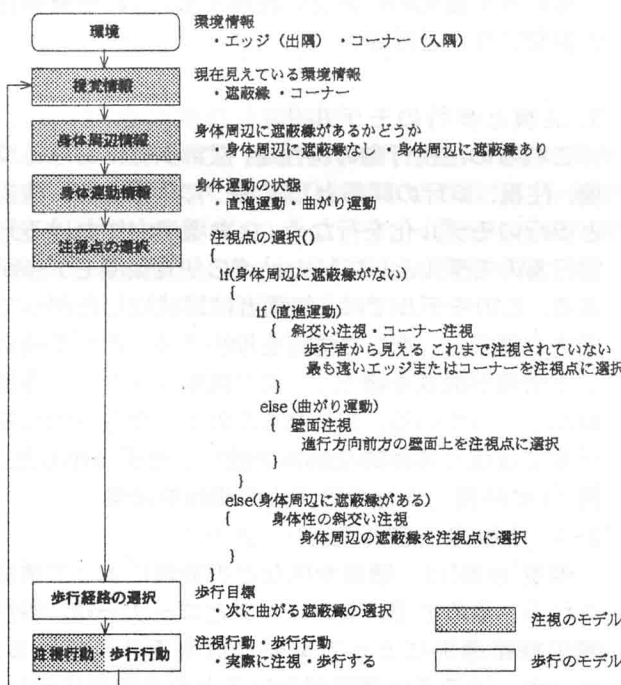


図11 注視と歩行のモデルの流れ

4. シミュレーションモデルと実験用迷路への適用

注視と歩行のモデル化をもとに、注視と歩行のシ

ミュレーションモデルをVRMLおよびJAVAを用いて構築した。このシミュレーションモデルを実験用迷路に適用した。図12はシミュレーションモデルにおける、歩行者上部からの画面と歩行者から見た画面である。歩行者から見た画面の○がアイマーク（注視点）を表している。歩行者は迷路内を歩行しながら、注視点を遮蔽縁やコーナー、壁面上へ移動させていく。また図13に被験者MMの注視行動解析図と実験用迷路でのシミュレーション結果を示す。

この両者の比較から、斜交い注視の順序や曲がり運動時の壁面注視、身体性の斜交い注視など本論で見いだされた基本特性が再現され、全体として実際に近い注視行動が再現されていることが分かる。



図12 シミュレーション画面

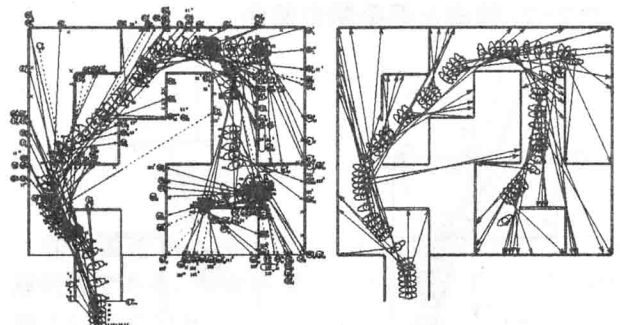


図13 被験者MMおよびシミュレーション結果

5. シミュレーションモデルの巨大迷路への適用

実験用迷路から構築したシミュレーションモデルを巨大迷路に適用した。シミュレーションモデルの注視行動は身体運動や遮蔽縁との関係に応じて決定される。このため環境情報として巨大迷路のエッジやコーナーの位置座標を新しく入力すると、シミュレーションモデルは巨大迷路での注視行動を再現する。また経路選択については既に研究が行われており、ここではモデル化していない^{9~11}。このため被験者とシミュレーション結果の比較検討を詳しく行うため、被験者とほぼ同じような歩行するように経路を設定した。

巨大迷路にシミュレーションモデルを適用した結果と巨大迷路での被験者の注視行動との比較から、シミュレーションモデルによる注視行動の再現性について詳しく検討する。ここでは、被験者KSを例

を例にあげて考察していくが、他の被験者についてもほぼ同様の結果が得られている。図14に、被験者KSとほぼ同様の経路を歩行した時のシミュレーション結果を示す。本論では探索歩行1回目の注視行動についてモデル化したため、同じ経路を2度通らない歩行区間に注目した。以下では両者の注視行動を詳細に比較するために、このような歩行区間A、B、Cについて考察する。

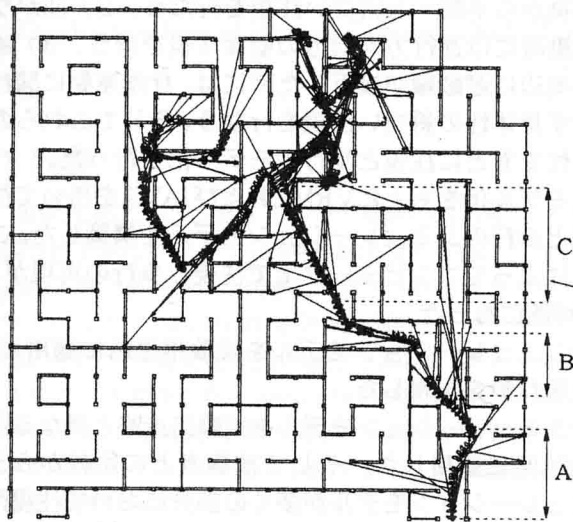


図14 シミュレーション結果

6-1. 歩行区間Aおよび歩行区間C

歩行区間Aにおけるシミュレーション結果および被験者KSの注視行動解析図を図15に示す。両者を比較すると、多くの部分で類似した注視行動が見られる。巨大迷路においても、実験用迷路と同様に1) 直進運動時には奥から手前へと斜交い注視を行なう、2) 曲がり運動時には進行方向前方の壁面注視を行う、3) 身体周辺に遮蔽縁が接近した時には、身体運動に関わらず身体性の斜交い注視を行なうといった傾向が見られる。このためシミュレーション結果は被験者とほぼ同様の注視行動を示す。一方で、注視行動の違いに注目すると、シミュレーション結果ではスタート直後に奥のC1、E1、E2への斜交い・コーナー注視が行なわれるが、被験者KSはこのような注視が見られなかったり、注視順序の違いが見られる。この違いは、実際の巨大迷路実験においてスタート前に、既に被験者からスタート地点付近が見えているため生じたと考えられる。このため、スタート地点から見えない歩行区間A-IIからは、両者はほぼ同様の注視を行っている。

次に、歩行区間Cにおけるシミュレーション結果および被験者KSの注視行動解析図(図16)を比較する。実験用迷路では規模が小さかったために、歩行区間Cのような左右に大きく開けている場所はなかった。このような場所での両者の違いに注目する

と、被験者KSでは注視が省略されたり、注視する時の身体位置が異なる部分が見られた。しかし、両者の注視はほぼ同様に左右に広がって行われており、シミュレーションモデルは、注視行動の多くの部分を再現している。このように迷路内での多様な空間において、シミュレーション結果は多くの部分で歩行者の注視行動と類似している。

以上の考察は、シミュレーションモデルが巨大迷路においても、歩行者の注視行動の多くの部分を再現できることを示している。

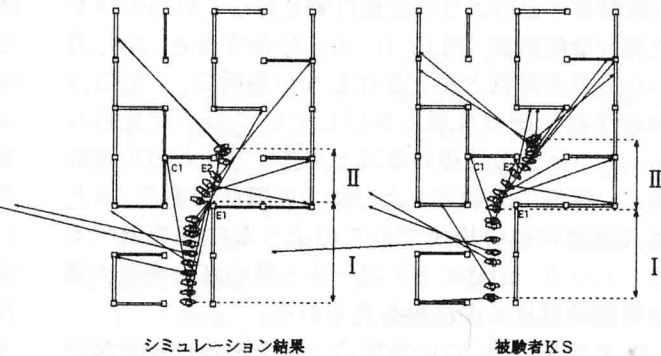


図15 歩行区間Aでの注視行動解析図

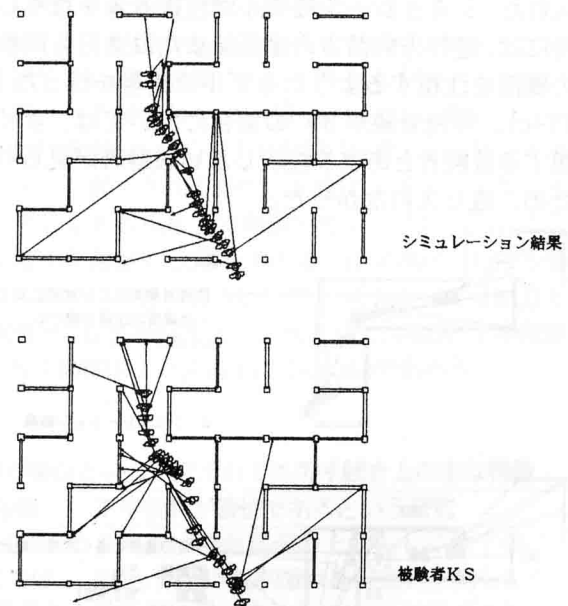


図16 歩行区間Cでの注視行動解析図

6-2. 歩行区間B

歩行に従って、歩行者から見える環境(迷路)は、変化していく。例えば壁のエッジやコーナーは、歩行によって見えたり隠れたりし、また遮蔽縁はエッジと歩行者との位置関係によって変化する。このような歩行者からの見えの変化は、迷路では大きい。しかし巨大迷路では規模が大きいため、歩行者の見えが大きく変化する場所とほとんど変化しない場所がある。歩行区間Bは見えがほとんど変化しない場

所である。ここでのシミュレーション結果(図17-a)では、以下のような問題点が見られた。シミュレーションモデルでは、エッジやコーナー等の各注視対象への注視時間を一定にしているため(各注視時間は平均注視時間からエッジおよびコーナーは200msec、壁面は100msecに設定)、歩行者から見えるエッジ・コーナーの変化が少ない場所では注視対象をなくしてしまう。例えば歩行区間BではC1を見た後、注視対象をなくし、C1を見続ける。

この様な注視行動はモデル化されていない。実際の被験者がどのような注視行動を行っているのかを注視行動解析図(図17-b)から分析すると、歩行者からの見えがほとんど変化しない場所で、一定の方向を注視し続けながら歩行していく様子が見られる。このときの注視対象は1) 進行方向前方の遮蔽縁2) 進行方向前方および側方の壁面である。また巨大迷路の他の場所でのこのような注視を調べると、1)、2)の他に3) ゴール上部の高台や巨大迷路周囲の風景への注視も見られる。

本モデルでは、この考察の一部である注視対象が1)、2)の場合を、シミュレーションモデルに取り入れた、シミュレーションモデルが注視対象をなくした時には、進行方向前方の遮蔽縁または進行方向前方の壁面を注視するようにモデルの改善を行った(図17-c)。注視対象が3)の場合については、よく注視する被験者とあまり注視しない被験者が見られたため、取り入れなかった。

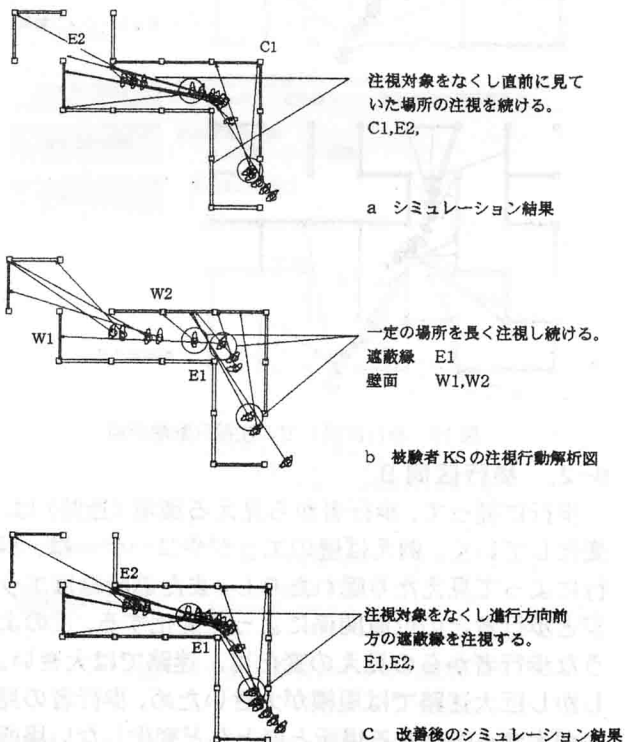


図17 歩行区間B

結語

本論では、探索歩行時の注視と歩行に基づいたシミュレーションモデルの構築を目的として、以下のことを行った。

- ①実験用迷路における探索歩行時の注視と歩行の関係を分析した。注視は、斜交い注視、コーナー注視、壁面注視に分類できる。そして歩行者は、歩行しながらこれらの注視を変化させる。1) 直進運動時には奥から手前へと斜交い注視を行なう、2) 曲がり運動時には進行方向前方の壁面注視を行う、3) 身体周辺に遮蔽縁が接近した時には、身体運動に関わらず身体性の斜交い注視を行なう。そしてこれらの特性をもとに注視と歩行のモデル化を行った。
- ②モデル化をもとにVRMLおよびJAVAを用いて注視と歩行のシミュレーションモデルを構築した。これによってコンピュータ上で注視と歩行の再現が、s可能になった。
- ③シミュレーションモデルを実験用迷路に適用し、注視行動を再現した。
- ④シミュレーションモデルを実験用迷路と異なる巨大迷路に適用した。そして被験者との比較からシミュレーションモデルが多くの部分において注視行動を再現できることを示した。
- ⑤シミュレーションモデルが再現できない注視対象をなくしたときの注視行動を、被験者の注視行動の分析から改善した。

なお巨大迷路では、エッジ、コーナーおよび壁面以外の注視として、ゴール上部の高台や周囲の風景などへの注視がみられる。このようなエッジ、コーナーおよび壁面以外の注視を分析し、モデルに取り入れることが今後の課題である。また迷路空間以外へシミュレーションモデルを適用し、歩行者の注視行動との比較を通してモデルの再現性を検討していく予定である。

引用文献

- 1)北濱亨、三浦利章、岡崎甚幸、篠原一光、田村仁志、松井裕子：迷路探索歩行時の注視と歩行に関する研究、日本人間工学会35、No3、1999
- 2)岡崎甚幸：建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究 その1、日本建築学会計画系論文報告集、第283号、111~117、1978
- 3)岡崎甚幸：建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究 その2、日本建築学会計画系論文報告集、第284号、101~110、1978
- 4)岡崎甚幸：建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究 その3、日本建築学会計画系論文報告集、第285号、137~147、1978
- 5)岡崎甚幸、山本親：建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究 その4、日本建築学会計画系論文報告集、第299号、105~113、1981
- 6)岡崎甚幸、松下聡：建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究 その5、日本建築学会計画系論文報告集、第302号、87~93、1981
- 7)J.J.Gibson：生態学的視覚論、古崎敬、古崎優子、辻教一郎、村瀬晃、共訳、サイエンス社、1995
- 8)U.Neisser：認知の構図、古崎敬、村瀬晃共訳、サイエンス社、1978
- 9)松下聡、岡崎甚幸：巨大迷路における歩行実験による探索歩行の研究、日本建築学会計画系論文報告集 第428号、93-100、1991.10
- 10)松下聡、岡崎甚幸：巨大迷路歩行実験による探索歩行のためのシミュレーションモデルの研究、日本建築学会計画系論文報告集 第429号、51-59、1991.11
- 11)岡崎甚幸、松下聡：巨大迷路探索歩行実験における経路イメージおよび歩行経路のためのシミュレーションモデルの研究、日本建築学会計画系論文報告集 第441号、71-79、1992.11