

Hoogendoorn, S.P. and Bovy, P.H.L.: Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models, Transportation research Part B, Vol. 38, No. 2, pp. 169-190, 2004.

歩行者の経路選択, 活動スケジューリングの理論とモデル

B4 植村 恵里

0. 流れ

1. 背景
2. レビュー
3. 一般的な歩行者行動理論
4. 不確実性における最適な主観経路選択
5. 活動順位問題
6. まとめ

1.背景

- 歩行者の行動を理解することは、公共交通機関やショッピングモール等の計画・デザインを行ううえで本質的.
- 正確な歩行者流動モデルの必要性から、歩行行動スケジューリングや経路選択、歩行行動に関する包括的な理論やモデルの研究が進んでいる.
- 本研究ではtactical levelの歩行者行動に焦点をあてている.

2. レビュー: 歩行者のスケジューリングや経路選択

- Hill, 1982
 - 経路選択の戦略は**潜在意識**に従う。Directnessが特定の経路を選択するうえで最も一般的な要因。(距離だけでなく、複雑さ(方向転換等)も関係する。)
- Bovy and Stern, 1990
 - 歩行者は頻繁に、無意識のうちに最短経路を選択する。距離以外では快適性が重要な要因となる。
- Bovy and Stern, 1990
 - 経路選択を行ううえで他に重要なものは、習慣、交差点の数、汚染・騒音レベル、安全性、雨除け、環境から受ける刺激等。これらの**経路特性**がどのくらい経路選択行動に影響を与えるかは、トリップ目的が大きく関係する。
- Cheung and Lam, 1998
 - 地下鉄駅での歩行者のエスカレーター/階段選択及び活動時間への依存性を研究。

レビュー: 歩行者行動モデル構築

- Queuing models(Lovas, 1994)
 - 歩行者があるネットワークの1つのノードから他へ移動する様子をマルコフチェインモデルを用いて説明. リンクにランダムな待ち時間を設け. 歩行交通需要がドアのキャパシティーを上回る時に起こる待ちを設定. **建物からの避難行動を説明する時に使われるモデル.**
- Gipps(1986) and Hamacher and Tjandra(2001)
 - 歩行基盤や離散選択モデルの応用から有限の経路数を決定. **歩きやすさ等を通じた歩行者経路選択を説明.**
- Verlander(1997)
 - 家事を基本としたダイアリーデータを用いて離散選択モデルの研究.
- Teklenburg et al.(1993)
 - 歩行者流動データを用いたSpace Syntax modelの研究.

→以上のものは**有限の経路選択肢**を扱っている.

- Hughes(2002)
 - 目的地へ歩く方向を用いて**無限の選択肢**を扱うが, 距離や環境, 交通状況による不確実性等, **一般的な経路特性は考慮していない.**

本研究では, これらの課題を解決し, 歩行者の経路選択と活動スケジューリングの理論的基礎を同時に扱うことを目的とする.

3. 一般的な歩行者行動理論

- 主な仮定
「全ての歩行者行動は、効用(コスト)をもたらす」
- 歩行者は、交通状況のような不確実性も考慮にいれながら、考えられる効用を予測し最適化する。

本研究の理論と選択理論の違う点

1. 無限の代替ルートを考慮

2. randomness(誤差)は、実現されうるルートの不確実性に関係。

誤差は「人は常に同じ状況下で同じ選択をするわけではない」「個人の決定プロセスに関する正確な知識の不足」を反映する。個々のサンプルで観測された選択の違いを説明するために用いる。

3.1.歩行者行動のレベル

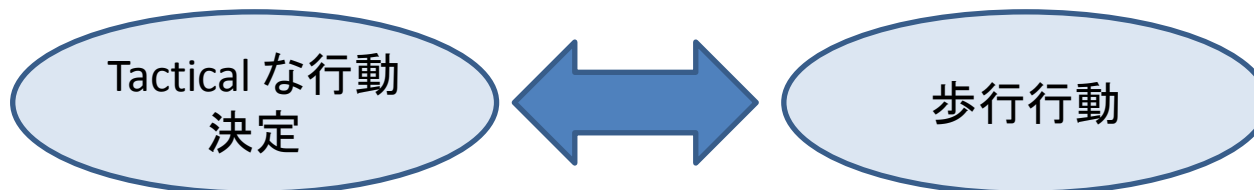
選択を3段階に区別.

1. 出発時間選択, アクティビティパターン選択 (**strategic level**)
2. 活動のスケジューリング, 活動エリア選択, 活動エリアに到着するための経路選択 (**tactical level**)
3. 歩行行動 (**operational level**)



特徴

- 下位レベルで期待される効用が, 上位レベルでの選択に影響を与える.
- Tactical levelの行動は外的要因(障害物, 環境からの刺激等)と内的要因(時間制約, 歩行態度)の両方の影響を受ける.
- 予想される交通状況(混雑, 平均速度)と合わせて, tactical levelの行動決定は歩行行動に関係し, 逆に, 歩行交通需要や歩行行動によって起きる交通状況が予想に影響を与えることで, tacticalな行動にも影響を与える.



3.2. Tactical levelの決定変数

Tactical levelの歩行行動決定の鍵となる変数

1. アクティビティスケジュール $S = \{i\}$, $i \in \Sigma$
2. 速度 $v(\cdot)$, 経路 $x(\cdot)$
3. 到着時刻 T_i ($i \in S$, $x(T_i) \in A_{ij}$)

- ある場所 Ω についての歩行者は, 活動選択肢セット Σ から活動を選択し, S を決定.
- 歩行者は i をどこで行うか選択できる. 活動エリア $A_{ij} \subset \Omega$ ($j = 1, 2, \dots, J_i$)
- 到着時刻は活動 i を達成する瞬間.
 $T_i - T_{i-1}$ は「歩行時間」+「活動 i を行うために必要な時間」
- 経路 x とあわせて到着時刻も, 歩行者が選ぶ活動エリアを決定.
- x は連続関数. 速度 v によって独自に決定される.

$$x(\cdot) := \{x(\tau) \in \Omega \mid t_0 \leq \tau \leq t_1 \text{ s.t. } \dot{x}(\tau) = v(\tau) \text{ and } x(t_0) = x_0\} \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

3.3. tactical levelでの主観的効用最適化

- 出発時刻 t_0 において、予想される不効用(コスト) C を最小化するような同時決定を行うと仮定. 予想される不効用 C は,

$$C(S, \{T_i\}_{i \in S}, v(\cdot) | t_0, x_0) := \sum_{i \in S} C_i(T_i, v(\cdot) | T_{i-1}, x(T_{i-1})) + \psi(S) \quad \dots(2)$$

C_i : $x(T_{i-1})$ から $x(T_i)$ までの歩行コストと, A_{ij} で活動 i を行うコストの合計

ψ : アクティビティスケジューリングのコスト(活動の順番による制約)

- 主観的な効用最適化は、歩行者がtactical levelで以下のような選択を行うことをもたらす.

$$(S^*, \{T_i\}_{i \in S}, v^*(\cdot)) = \operatorname{argmin} C(S, \{T_i\}_{i \in S}, v(\cdot) | t_0, x_0) \quad \dots(3)$$

- i は多様な A_{ij} を持ち、異なる効用 U_{ij} をもたらす. この差は個人の嗜好性を反映.

3.3. tactical levelでの主観的効用最適化

不効用Cは以下に依存.

1. 距離, 出発から到着までの移動時間
 2. 障害物への接近
 3. 急な方向転換
 4. 他の歩行者との相互作用の期待値(サービスレベル)
 5. 環境からの刺激や魅力(雰囲気, ショッピングウィンドウ, 雨よけ)
- 過去の研究では, それぞれ不変的ではなく, 経路選択における重要性は, 歩行者のグループによって変化することを示している.

3.4. 現在の交通状況と動的歩行者配分

- 歩行者の活動スケジューリングや経路選択において重要な側面は、**現在及び将来の交通状況を, tactical levelの決定行動に含む**ということ.
 - 現在しか含めない場合, 歩行者は現在の交通状況を観察することで, 滞在中に何度も自分の選択を考え直すことになる.
- この研究では, **歩行者が現在, 将来の状況に関する情報を持ち, それに従ってスケジュールや経路を選択すると仮定.**
- Tactical levelの行動は, (将来の)交通流に依存し, これらは逆に活動スケジューリングや, 歩行者の経路選択に依存する.
 - →均衡問題をとく必要がある.

4. 不確実性における最適な主観経路選択

- 活動エリア A_{ij} で活動 i を行う歩行者の経路選択と活動エリア選択を考える。

仮定

- 歩行者は、目的地とその経路を同時に決定する際、主観的に予想される不効用を最小化するように選択する。
 - 主観的不効用理論では、経路特性(旅行時間, 旅行時間可変性, 距離, 安全性, 快適性など)の合計を考える。
-
- 歩行者は計画した経路をよく変更する。(他の歩行者の相互作用により, 新しい経路を考え直す必要がでてくる)
 - →歩行者の他経路への柔軟な適応を含んだ枠組みの提供が必要。
 - 予想される最小の不効用関数 $W(t,x)$ によって、**経路選択と活動エリア選択を同時に数学的に扱う**ことで解決。

4.1. Pedestrian kinematics(歩行者運動学)

- 経路選択行動を説明するために, 歩行者は経路コストを見積もるために internal model を使うと仮定.

$$dx = vdt + \sigma dw \text{ subject to } x(t) = \hat{x} \dots(4)$$

- 歩行者速度は, 身体的限界や他の歩行者の存在によって制約を受ける.

$$v \in V_a(t, x) \text{ where } V_a(t, x) = \{v \text{ such that } \|v\| \leq v_0(t, x)\} \subset R^2 \dots(5)$$

V_a : 速度の選択肢.

- x や t への依存は, 最高速度は交通量の状況や歩行基盤の違いに影響を受けることを表す. 特定の人々の最高速度は個人属性も関係.

4.2. 歩行コストと活動効用の一般化

- 歩行者は(4)式から、自分の位置を予想. 予想される位置は確率変数であらわせる.
- 初期値 $x(t) = \hat{x}$ によって歩行者は予想される不効用 C_i を以下の式より求める.

$$C_i(T_i, v_{[t, T_i]} | T_{i-1}, x(T_{i-1})) := E \left[\int_t^{T_i} L(\tau, x(\tau), v(\tau)) d\tau + \phi(T_i, x(T_i)) \right] \dots(6)$$

t : 現在時刻 t_1 : 到着予定時刻 T_a : 活動エリア A_{ij} への到着時刻
 $[t, t_1)$: 歩行者の計画した時間 $T_i = \min(t_1, T_a)$

L : running cost

– 歩行者が位置 x にいて、速度 v で位置を変えようとするときの微小時間におけるコスト

ϕ : terminal cost

– 到着時刻 T_i に、 $x(T_i)$ につくことのコスト。(これらは時間内に目的地につかない場合のコストを反映.)

- 経路コストは累積的. \int で表される。(全体の経路コストは微小経路のコストの合計)

4.3. terminal costとrunning cost

Terminal cost ϕ

- 到着時刻 T_i は, 到着予定時刻 t_1 か, 活動エリア A_{ij} のどこかに最初に着いた時刻 T_a のどちらかに等しい.

$$\phi(T_i, x(T_i)) = \begin{cases} -U_{ij}(T_i) & x(T_i) \in A_{ij} & T_i < t_1 \\ \phi_i & x(T_i) \notin \cup_j A_{ij} & T_i = t_1 \end{cases} \quad \dots(7)$$

- ϕ は時間内に A_{ij} のどこにもつかなかった場合のペナルティを反映
- Terminal costにおいて多様な活動エリアを含めることで, 活動 i を行う上での経路選択や活動エリア選択の問題が一緒に解ける.

Running cost L

$$L(t, x, v) = \sum_k c_k L_k(t, x, v) \quad \dots(8)$$

- L_k : 異なる経路属性 k への寄与を示す. (具体例について後述)
- C_k : 相対的な重みづけ(属性の重要性).
 - 異なるグループ(移動目的が違うなど)で値はかわる. 歩行者による違い(都市, 性別, 健康状態など)を反映できる.

4.4.running cost

L_1 :予想される旅行時間

- $L_1(t, x, v) = 1 \cdots (9)$

$$E \left[\int_t^{T_i} L_1(\tau, x(\tau), v(\tau)) d\tau \right] = E \left[\int_t^{T_i} c_1 d\tau \right] = c_1 E[T_i - t] \quad \cdots (10)$$

- 旅行時間は実際 $T_i - t$ とあらわされることがわかる. C_1 は重みづけで, time-pressure と呼ばれ, トリップ目的に依存.

L_2 :歩行者と障害物の距離

障害物 $O_m \subset \Omega$ ($m = 1, \dots, M$)

$$L_2(t, x, v) = g_m(d(O_m, x)) = a_m \exp(-d(O_m, x)/b_m) \quad \cdots (11)$$

$$d(x, O_m) = \min_{y \in O_m} \{\|x - y\|\} \quad \cdots (12)$$

- a_m, b_m は障害物の影響を示し, 値は障害物の性質に依存する.

4.4. running cost

L_3 : 歩行速度

- 歩行速度 v は, 時間内に目的地まで着くために残された時間と, ある速度で歩くことで消費するエネルギーのトレードオフの関係にある.
- エネルギー消費は, 歩行速度の二次関数であらわされると仮定.

$$L_3(t, x, v) = \frac{1}{2} \|v\|^2 = \frac{1}{2} v'v \quad \dots(13)$$

L_4 : 歩行者の相互作用

- 歩行者交通流において, 相互作用による頻度や影響はサービス水準の定義に直に関係してくる.

$$L_4(t, x, v) = \zeta(k(t, x)) \quad \dots(14)$$

歩行者が低密度であれば, 歩行者の経路選択において魅力的な効果を持ちうる. (負の値にもなりうる)

L_5 : 環境からの刺激

- ある x, t を歩くことの利益を考えることで比較的簡単に説明できる. (負の値)

$$L_5(t, x, v) = \gamma(t, x) \quad \dots(15)$$

4.4. running cost

今までの値をRunning costへ代入

$$L(t, x, v) = c_1 + c_2 \sum_m a_m e^{-d(x, O_m)/b_m} + \frac{1}{2} c_3 v' v + c_4 \zeta(t, x) + c_5 \gamma(t, x) \quad \dots (16)$$

- c_k は a_m 同様, 歩行者の行動において決定.
- グループの特性は, A_{ij} で i を行うことで得られる効用 U_{ij} や c_k , 最大歩行速度 $v_0(t, x)$ によって特徴づけられる.

4.5.1. モデル原理と問題の定式化

- 主観的効用最適化パラダイムでは, L, φ を用いて, ⑰式を満たす最適な歩行速度を歩行者は選択する.

$$v_{[t, T_i]}^* = \operatorname{argmin} C_i(t, \hat{x}; v_{[t, T_i]}, \{A_{ij}\}) = \operatorname{argmin} E \left[\int_t^{T_i} L(\tau, x(\tau), v(\tau)) d\tau + \phi(T_i, x(T_i)) \right] \dots (17)$$

- 経路選択問題を解くために, 予想される最小不効用関数 W を定義.

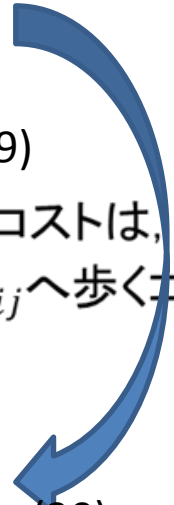
$$W(t, \hat{x}) := E \left[\int_t^{T_i} L(\tau, x^*(\tau), v^*(\tau)) + \phi(T_i, x^*(T_i)) \right] \dots (18)$$

$$dx^* = v^* dt + \sigma(x^*, v^*) dw \quad \text{subject to } x^*(t) = \hat{x} \quad \dots (19)$$

- Bellmanの最適化原理によると (t, \hat{x}) から A_{ij} へ歩く際に予想される最小コストは, (t, \hat{x}) から $(t+h, x^*(t+h))$ へ歩く際のコストと $(t+h, x^*(t+h))$ から A_{ij} へ歩くコストの合計と等しいことがわかる. (Bellman方程式)

$$W(t, \hat{x}) = E \left[\int_t^{t+h} L(\tau, x^*(\tau), v^*(\tau)) + W(t+h, x^*(t+h)) \right] \dots (20)$$

$$\int_{t+h}^{T_i} L(\tau, x^*(\tau), v^*(\tau)) + \phi(T_i, x^*(T_i))$$



4.5.1. モデル原理と問題の定式化

$$W(t, \hat{x}) = E \left[\int_t^{t+h} L(\tau, x^*(\tau), v^*(\tau)) + W(t+h, x^*(t+h)) \right] \quad \dots(20)$$

$$E \left[\int_t^{t+h} L(\tau, x(\tau), v(\tau)) \right] = L(t, x(t), v(t))h + O(h^2) \quad (\text{hが小さいとき}) \quad \dots(21)$$

- (4) ($dx = vdt + \sigma dw$ subject to $x(t)$)において, $t+h$ における予想される位置を説明するランダムな確率変数 $x(t+h)$ は, テーラー展開できる.

$$x(t+h) = \hat{x} + hv(t) + \sigma\sqrt{h}w + O(h^{3/2}) \quad \dots(22)$$

$$E[W(t+h, x(t+h))] = W(t+h, \hat{x} + hv) + \frac{h}{2} \sum_{ij} \Theta_{ij}(x, v) \frac{\partial^2 W(t, \hat{x})}{\partial x_i \partial x_j} + O(h^{3/2}) \quad \dots(23)$$

$$\Theta(x, v) := \sigma(x, v)\sigma'(x, v)$$

4.5.1. モデル原理と問題の定式化

- テーラー展開を用い, $\lim_{h \rightarrow 0}$ をとり (ダイナミックプログラミング方程式) (20) に代入.

$$-\frac{\partial}{\partial t} W(t, x) = H(t, x, \nabla W, \Delta W) \quad \dots(24)$$

- 到着条件: $W(t_1, x) = \varphi_i \quad \dots(25)$
- 境界条件: $W(T_i, x) = -U_{ij}(T_i)$ for $x \in A_{ij}$ and $T_i < t_1 \quad \dots(26)$
- ハミルトン関数 H (補助関数)

$$H(t, x, \nabla W, \Delta W) := \min_{v \in V_a(t, x)} \left\{ L(t, x, v) + \sum_i v_i \frac{\partial W}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{ij} \Theta_{ij}(x, v) \frac{\partial^2 W}{\partial x_i \partial x_j} \right\} \quad \dots(27)$$

- (24) は, continuous stochastic dynamic user-optimal (CSDUO) の経路選択と活動エリア選択問題におけるダイナミックプログラミング方程式.
- $W(t, x)$ は 位置 x 時刻 t における歩行者が活動エリアのどこかへ移動

4.5.2. 最適速度と方向

- 時刻 t における最適速度 v^* は以下を満たす. ($v^*(t, x) \in V_a(t, x)$)

$$v^*(t, x) = \arg \min \left\{ L(t, x, v) + \sum_i v_i \frac{\partial W}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{ij} \Theta_{ij}(x, v) \frac{\partial^2 W}{\partial x_i \partial x_j} \right\} \dots (28)$$

- $v^*(t, x) \in V_a(t, x)$
- 不確実性のレベルは速度に依存しない. i.e. $\Theta_{ij}(x, v) = \Theta_{ij}(x)$
- 最適速度 V^* と最適方向 e^* が

$$(t, x) := \min\{c_3^{-1} \|\nabla W\|, v_0(t, x)\} \text{ and } e^*(t, x) := -\frac{\nabla W}{\|\nabla W\|} \dots (30)$$

によって定義されるとき, Running cost 定義式(16)において,

$$v^*(t, x) = V^*(t, x)e^*(t, x) \dots (29)$$

- 最適速度 V^* は, 最小コスト W 関数が, 最適方向 e^* で減少する場合に $\|\nabla W(t, x)\|$ の割合, 速い速度で歩くときの c_3 , x, t における最大許容速度 $v_0(t, x)$ に依存することを示す. 期待される最小不効用関数が急速に減少する時, 歩行者は最大速度で歩く. ゆっくり減少する時は, $v_0(t, x)$ より遅い速度で歩く. (time-pressureが小さいとき)

Example1.

- 対象地: Schiphol Plaza (様々な目的, 交通手段が集まる駅)
- Figure1. NOMADモデルを用いたシミュレーション
- 目立った活動スケジュールを持つ歩行者を白黒で反映. (色の濃淡で性別を区別)

E1-E5: プラザからの出口
E6, E7 ホームの出口
V1, V2: 新聞販売の場所



Fig. 1. Snapshot from Schiphol Plaza simulation using the NOMAD model (Hoogendoorn, 2001).

Example.1

Figure 2. 予想される最小不効用関数 W と、ホームへ行くためにE6,7のエスカレーターを使う歩行者(2a)や外へ出るためにE1-5の出口を使う歩行者(2b)の経路を示す。

- 2a: 全部E6へ向かう。(経路選択と活動エリア選択の結合は、経路は違うが、活動エリアは同じである)
- 2b: 全て同じなわけではない。

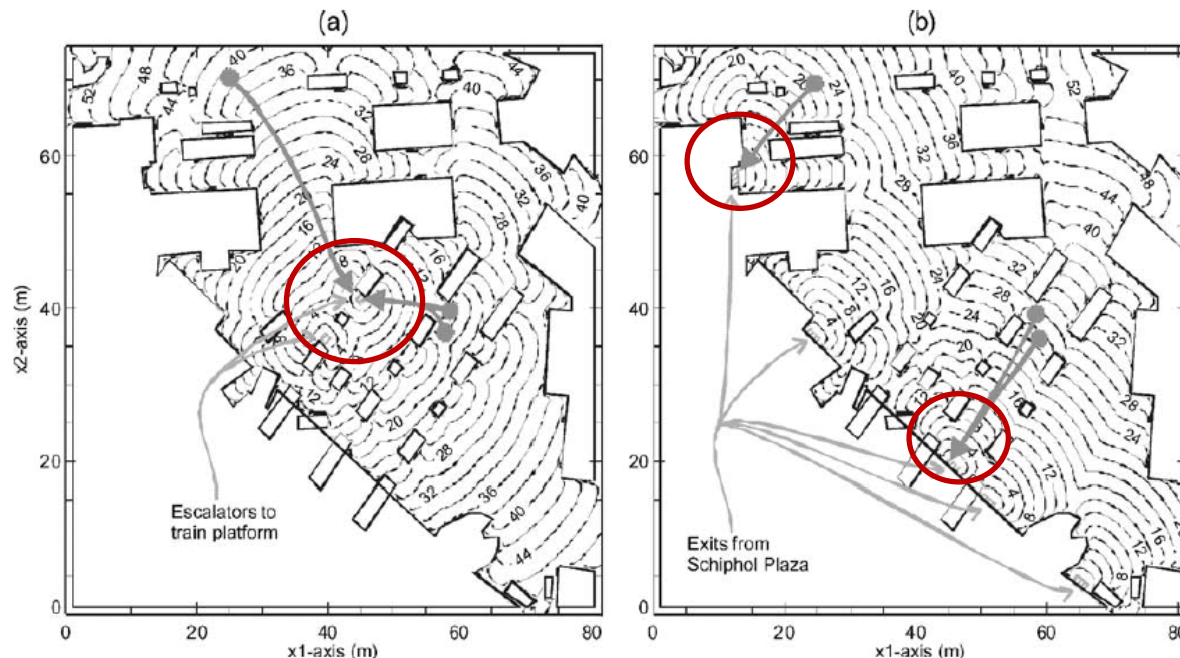


Fig. 2. Expected minimum perceived disutility functions W and example routes describing combined route-choice and activity area choice for (a) leaving Schiphol Plaza via either of the escalators E6 and E7 to the train platforms and (b) leaving Schiphol Plaza via either of the exits E1-E5. The numbers indicate the generalized walking time (in seconds).

4.6. 混雑状況での歩行者の経路及び活動エリア選択

- 他の歩行者の存在によって同じ場所でも最大歩行速度が制限され、不快感が増大する。そこで、以下の2つの概念を取り入れる。

1. 歩行者は現在の状況について瞬時に情報を得る。
2. 歩行者は、予想される他の歩行者の行動と将来の交通状況から、将来の行動を決める。

現在の交通状況への反応を含めるために、歩行速度は微小シミュレーションモデル(Hoogendoorn, 2001), あるいは他の歩行者交通流モデルにおける歩行者の平均速度に基づくものとする。

$$v_0(t, x) = \bar{v}(t, x) \quad \dots(35)$$

Running cost 関数 L における $L_4(t, x, v) = \gamma(t, x)$ は、現在の交通状況を含めるために更新されるものとする。(平均交通集中 $k(t, x)$ を決定し $r(t, x) = \gamma(k(t, x))$ を使う。)

最大速度や相互作用コストを更新することで、再度HJB方程式を数量的に解くことができ、歩行者が、離散的に(10sずつ)経路を考え直すことを仮定できる。

Example2. (混雑状況での経路選択)

- Fig3. 歩行者は $x_1=0$ から入り, $x_1 = 40m$, $17.5m \leq x_2 \leq 22.5m$ へ向かって歩くケースを考える. 速度一定(1.5m/s)を仮定.
- 最適制御法則によると, 歩行者は等コスト曲線に対し直角方向に歩く.

3a: 最小経路コスト $W(t, x)$ と自由に動ける状況下での経路選択の結果.

3b: 混雑による速度低下を考慮に入れた場合の最適コスト変数 $W(t, x)$.

→明らかに歩行者は混雑を避けて経路を変更する傾向にあることがわかる.

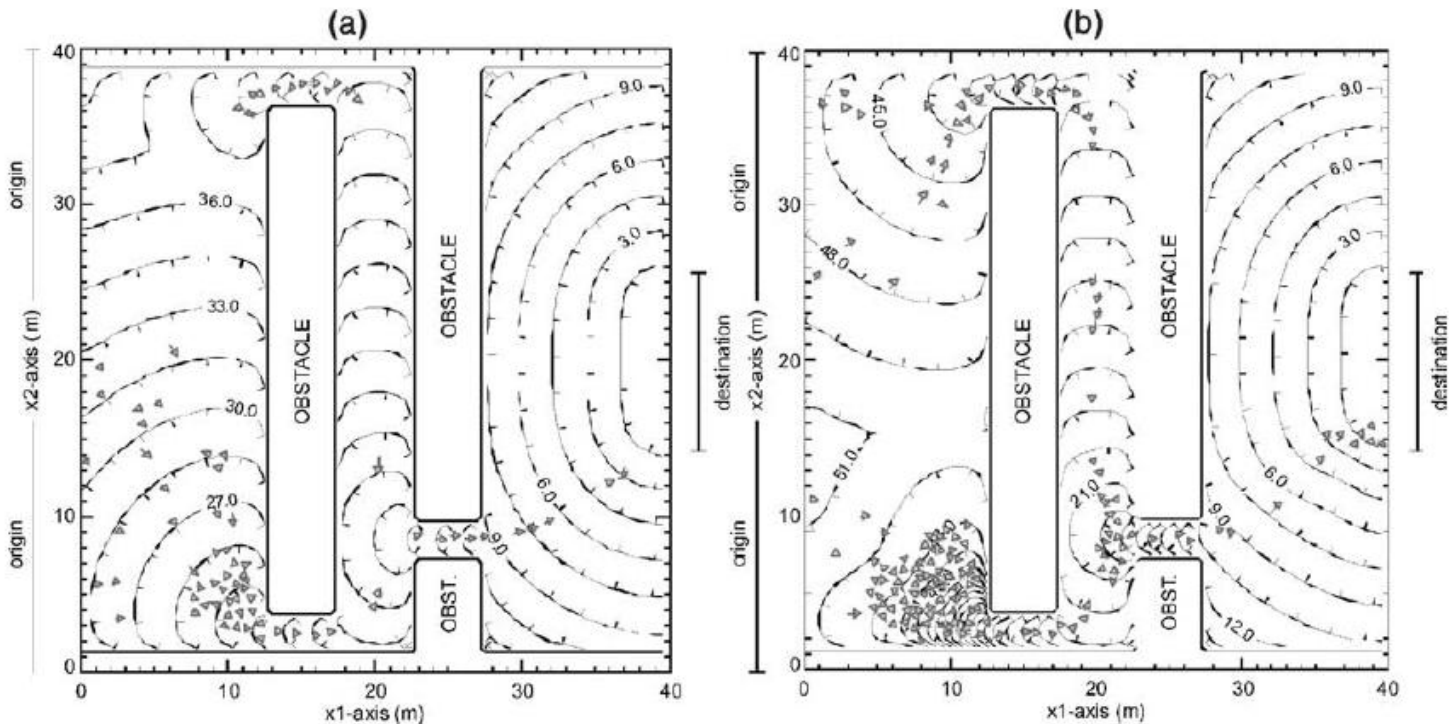


Fig. 3. Expected minimum perceived disutility function $W(t, x)$ determined by considering reduction in average speeds.

4.7. 不確実性の役割

Example.3

エスカレーターE6,7のどちらかへ歩こうとする歩行者のケース。
不確実性は一定(a: $\sigma_0 = 0.01$ b: $\sigma_0 = 0.25$)

異なる不確実性レベルにおける、経路選択とアクティビティエリア選択を表す。4bでは、将来状況が不確実であると、歩行者は狭い道や、障害物の近くを歩くことを避け、他の経路やアクティビティエリアを選択することがはっきりとわかる。

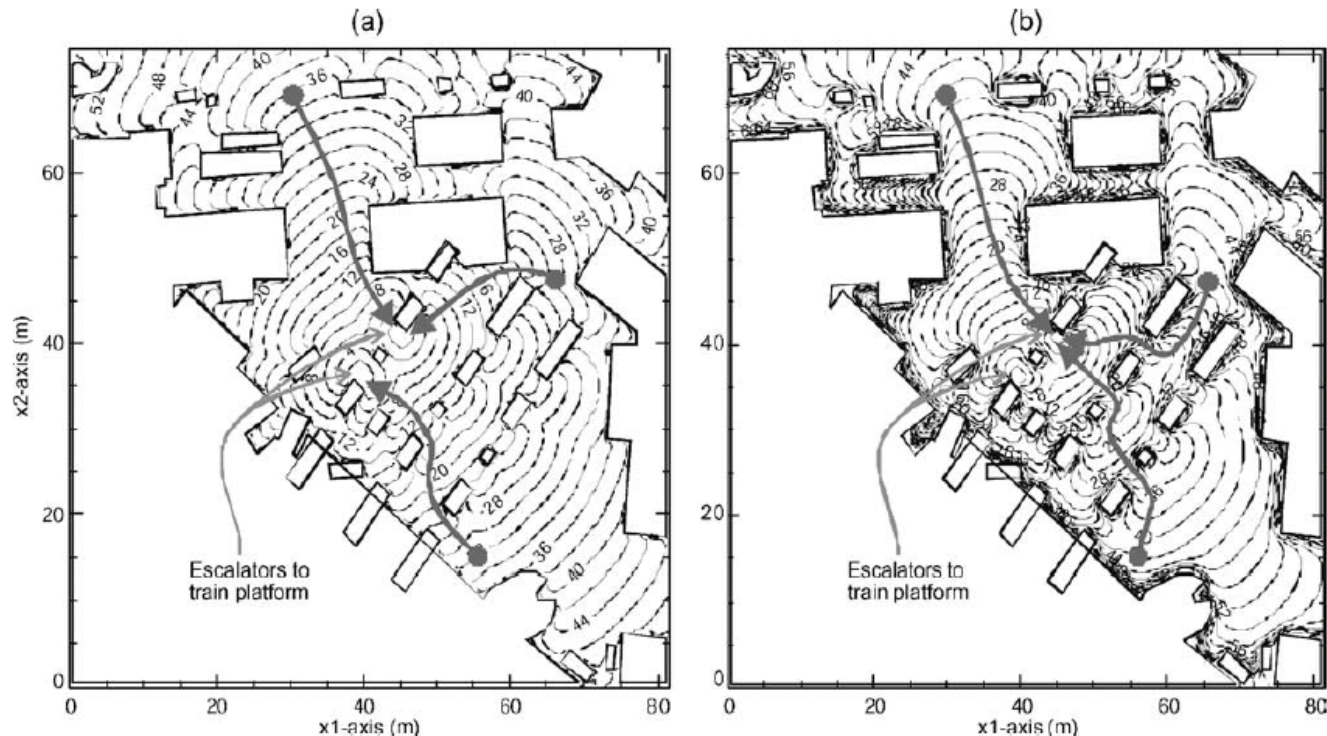


Fig. 4. Expected minimum perceived disutility functions for leaving Schiphol Plaza via escalators for uncertainty levels (a) $\sigma_0 = 0.01$ and (b) $\sigma_0 = 0.25$. Optimal paths are perpendicular to iso-expected minimum perceived disutility function curves.

4.7. 不確実性の役割

- 予想される最小の不効用関数 W は、歩行者が障害物や壁の近くを歩くことになると思っていないために不確実性が高くなる時、障害物や壁の近くは高い値(高い歩行コスト)を持つ。
- (とても狭い小道では、予想される最小不効用関数は一気に増加する傾向にあり、歩行者は狭い道を使いたがらない傾向にある。)

5.1. 修正した活動順位問題

- 歩行者が、経路選択と活動エリア選択の決定を同時に行うと仮定すると、次の活動 $i + 1$ (及び活動エリア $A_{i+1, j}$)を、活動 i に派生する経路活動エリア選択の中で考える必要がある。
- Bellman(1957)の動的プログラミング原理という主張を応用することで成し遂げられる。
- 最適な経路や活動エリアを選択する時、 S の中の最後の活動 I について、予想される最小不効用関数を制御し、**後の時系列から問題をとく**必要がある。 $W_{i+1}(t, x)$ を決定することで、活動 i の $W_i(t, x)$ を計算できる。
- HJB方程式 $-\frac{\partial}{\partial t} W_i(t, x) = H(t, x, \nabla W_i, \Delta W_i) \quad \dots(36)$
- 境界条件 $W_i(t, x) = W_{i+1}(T_i, x) - U_{ij}(T_i) \text{ for } x \in A_{ij} \quad \dots(37)$
- 活動 $i + 1$ がなされることを想定しているので、アクティビティエリア A_{ij} のどこにも着けなかった場合の追加的なペナルティーを考える必要はない。

Example 4

2つの歩行者グループを考える。

1. E6,7のどちらかのエスカレータを使ってホームへ行く前に, V1,V2のどちらかで買い物をする。
2. E1-5のどれかの出口を使ってPlazaを出る前に, V1,V2のどちらかで買い物をする。

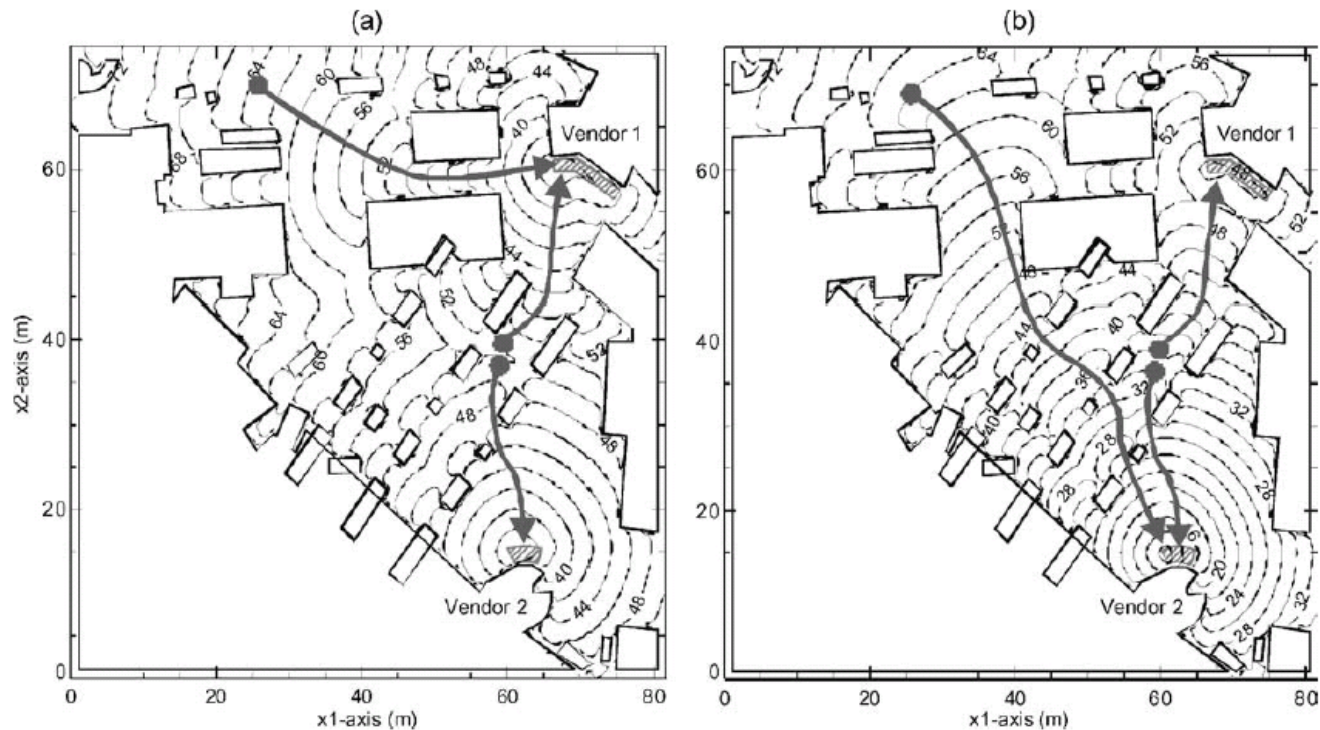


Fig. 5. Combined route-choice and activity area choice for (a) pedestrians buying an item before heading towards escalators E6, E7 and (b) pedestrians buying an item before leaving via either of the exits.

Example 4

- V1は, プラザを出ていく人より電車を利用する人にとって魅力的.
- どちらの行動がなされるかは, 任意の活動か, 義務の活動で区別している. 義務活動は時間内に成し遂げられなかった場合に大きな負荷がかかることであらわす.
- 活動によっては, 他が成し遂げられることで行えることもある. この依存性を表現するために, Hoogendoornのactivity treesが説明される. (アクティビティは, 高次のアクティビティがなされたときにのみ行える)

5.2. 活動順序選択

- 活動1のあとに2を行うような, 2つの活動のつながりを考える. (A_{1j} , A_{2j} とする)
- 歩行者はどちらの活動も経路を考えるうえで考慮にいれると仮定.
- まず活動2の経路選択問題を解き, 最小不効用関数 $W_2(t, x)$ を得る. その次に $W_{12}(t, x)$ によって決められる道を決定することで, 初めの活動を計画する.
- HJB方程式
$$-\frac{\partial}{\partial t} W_{12}(t, x) = H(t, x, \nabla W_{12}, \Delta W_{12}) \cdot \cdot \cdot (38)$$
- 境界・到着条件 $W_{12}(t, x) = \Phi_{12}$
- $W_{12}(T_{12}, x) = W_2(T_{12}, x) - U_{1j}(T_{12})$ for $x \in A_{ij}$ and $t < t_1 \cdot \cdot \cdot (39)$
- 到着条件は, ある x から1つ目の活動エリア A_{1j} へ歩くとき, 2つめの活動エリアへの歩行の最適コストをどう考えるかを示す. (2つ以上の場合にも応用できる)

5.2. 活動順序選択

- 活動順序を決めることは, W_{12}, W_{21} の最小を決定することに等しい. 任意の場所 $x(t)$ において, $\min\{W_{12}, W_{21}\}$ が, 活動1,2の最適な順番と同様に最適な方向と速度を決定する.
- 3つ以上の場合, すべての活動連続の組み合わせの最小値を考える必要がある.
- 任意の活動を含める場合は比較的単純. 活動1が義務的, 2が任意とする. 2を行うかどうかと同様に, 活動の順番を決めるとき, x にいる歩行者は W_{12}, W_{21}, W_1 の最小値を決定する. W_1 が最適の場合, 活動2は行わない.

6. まとめ・研究に関連して

まとめ

- 歩行者は主観的効用を最大化するという想定に基づいた新しい理論を展開.
- 歩行者は時空間上において、連続的で無限の候補の中から経路を選択すると仮定することで、不確実性における活動スケジューリング/経路選択行動をつなぐ説明ができた.

研究と関連して

- Running costの内容に札幌道路特有の信号現示による影響など考えられれば.
- 最適歩行速度を算出する際の要因は、残り時間やエネルギー消費の観点. 非義務的トリップのような場合はまた違う指標が必要?