

# Discrete choice models of pedestrian walking behavior

---

Gianluca Antonini, Michal Birelaire, Mats Weber,  
Discrete choice models of pedestrian walking behavior,  
Transportation Research Part B, Vol.40, pp.667-687, 2006.

2009/6/10(水)

全体ゼミ#8

M2 北川直樹

# 発表の内容

---

1. 最近の歩行者モデル研究
    - 手法論, 分析単位, 選択行動
  2. 歩行者モデルの定式化
    - 選択肢集合, 説明変数, モデル構造
  3. 推定結果
    - データ概要, 推定結果
  4. シミュレーション
  5. 結論
  6. おまけ
-

# 最近の歩行者モデル研究

---

## □ 手法論

### ■ システムダイナミクス

□ 時系列に伴うシステムの遷移状態を微分方程式で記述する。錯綜行動や行動の異質性を表現し難い。

### ■ ゲーム理論

□ 所与の利得行列を基に自己拘束性を持つ均衡状態を特定する。混雑状況では利得行列を特定し難い。

### ■ セルラーオートマタ

□ セルの状態は、以前の周囲の状態に基づく更新ルールで変化する。グリット、ルール、セルの状態の制約が難点。

---

# 最近の歩行者モデル研究

---

## □ 分析単位

### ■ エージェント

- 意思決定の**主体**自身であるため、混雑状態における歩行者属性の**異質性**を柔軟にモデル化できる。

### ■ 対象空間

- ネットワークや2Dの他、3Dや**認知**空間とした研究がある。障害物は、回避対象だけでなく**魅力**要素も持つ。
-

# 最近の歩行者モデル研究

---

## □ 選択行動

### ■ 目的地選択

□ 明確な目的地を**持たない**し、急に変更もする。

### ■ 経路選択

□ 個人の**認知**誤差が大きく影響する。

### ■ 角度-速度選択

□ **混雑**状況で顕著。希望速度の算定が重要になる。

### ■ 相互作用

□ 衝突を**回避**したり、前方を歩く人を**追従**する。

### ■ 階層構造

□ “活動内容→活動場所→歩行行動”など

---

# 歩行者モデルの定式化

## □ 選択肢集合

### ■ 速度: 3分類

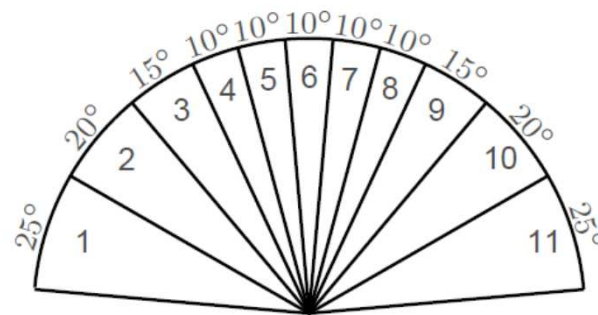
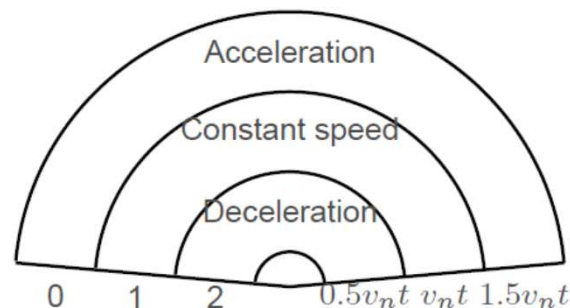
□ 加速  $v_{acc} = 1.5v_n$

□ 維持  $v_{const} = 1.0v_n$

□ 減速  $v_{dec} = 0.5v_n$

### ■ 方向: 11分類

### ■ 合計: 33分類



# 歩行者モデルの定式化

---

## □ 効用関数

$$\begin{aligned} V_{vdn} = & \underbrace{\beta_{dest} destination_{vdn}}_{\text{目的地を目指す}} + \underbrace{\beta_{dir} direction_{dn}}_{\text{方向を保つ}} \\ & + \underbrace{\beta_{acc} I_{v,acc} (v_n / v_{max})^{\lambda_{acc}}}_{\text{速度を保つ(加速)}} + \underbrace{\beta_{dec} I_{v,dec} (v_n / v_{max})^{\lambda_{dec}}}_{\text{速度を保つ(減速)}} \\ & + \underbrace{\beta_{occ} occupation_{vd}}_{\text{他者の影響(存在)}} + \underbrace{\beta_{angle} angle_{vdn}}_{\text{他者の影響(方向)}} \end{aligned}$$

---

# 歩行者モデルの定式化

- 目的地志向性

$$destination_{vdn}$$

- 目的地と選択肢の角度

- 方向保持性

$$direction_{dn}$$

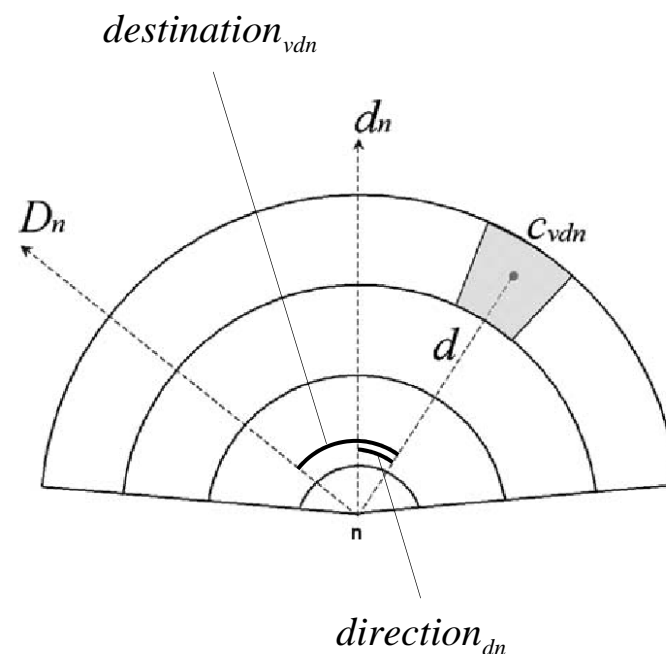
- 進行方向と選択肢の角度

- 速度保持性

$$I_{v,acc} (v_n / v_{max})^{\lambda_{acc}}$$

- $v_{max}$  : 希望速度(観測区間内の最大速度)

- $I_{v,acc}$  : 指示関数(選択肢が加速のとき1)



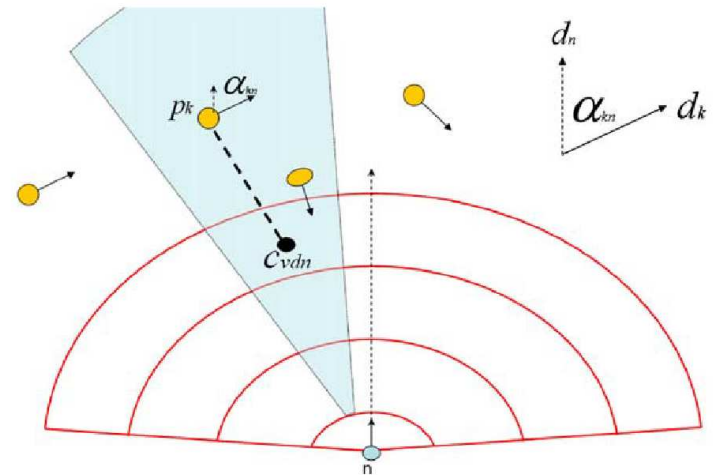


# 歩行者モデルの定式化

## □ 他者の影響

$$occupation_{vd} = \sum_{k=1}^N I_{kd} e^{-\|p_k - c_{vdn}\|}$$

$$angle_{vdn} = \sum_{k=1}^N I_{kd} \alpha_{kn} e^{-\|p_k - c_{vdn}\|}$$

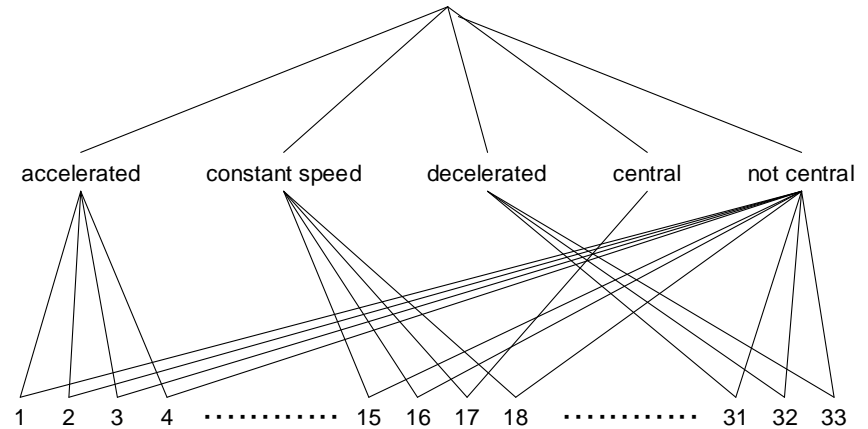


- $\|p_k - c_{vdn}\|$ : 他者と選択肢の距離
- $\alpha_{kn}$ : 他者と選択肢の角度
- $I_{kd}$ : 指示関数(コーン内に他者が存在するとき1)

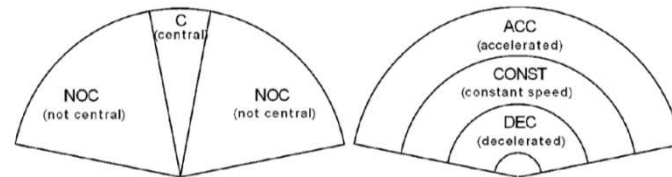
# 歩行者モデルの定式化

## □ モデル構造(CNL)

$$P(i|C) = \frac{\sum_m (\alpha_{im} y_i)^{\mu_m} \left( \sum_j (\alpha_{jm} y_j)^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m} - 1}}{\sum_m \left( \sum_{j \in C} (\alpha_{jm} y_j)^{\mu_m} \right)^{\frac{\mu}{\mu_m}}}$$



- $P(i|C)$  : 選択肢  $i$  の選択確率
- $\mu_m$  : スケールパラメータ
- $\mu=1, \alpha_{jm}=0.5$



# 推定結果

---

## □ データ概要

- 調査内容: ビデオ撮影, 2002
- 調査地点: ローザンヌ, 駅前
- 観測値数: 36人,  $n=1424$
- 時間間隔: 0.3秒
- 選択結果: 0.9秒後

## □ 基礎集計

- 平均速度: 1.587m/s
- 平均方向: 12.31°



# 推定結果

## □ 推定結果

- 他者を避ける, 目的地を目指す, 加減速を避ける

	Variable name	Coefficient estimate	t test 0	t test 1
他者	$\beta_{\text{occupation}}$	-1.7334	-2.4767	
	$\beta_{\text{direction}}$	-0.0921	-12.3423	
目的地	$\beta_{\text{destination}}$	-0.0615	-12.2974	
	$\beta_{\text{acc}}$	-33.6222	-2.9011	
加減速	$\beta_{\text{dec}}$	-0.5036	-3.8286	
	$\lambda_{\text{acc}}$	1.8322	9.0784	
	$\lambda_{\text{dec}}$	-0.8650	-4.9753	
	$\mu_{\text{const}}$	1.7957	6.1643	2.7315
	$\mu_{\text{not\_central}}$	1.2867	8.2960	1.8486

Sample size = 1424  
Number of estimated parameters = 9  
Init log-likelihood = -4979.03  
Final log-likelihood = -2579.25  
Likelihood ratio test = 4799.55

適合度  $\bar{\rho}^2 = 0.4802$

# シミュレーション

---

## □ 目的

- 提案モデルの検証

## □ アプローチ

- Time-based

- 単位時間毎に全歩行者が状態を更新

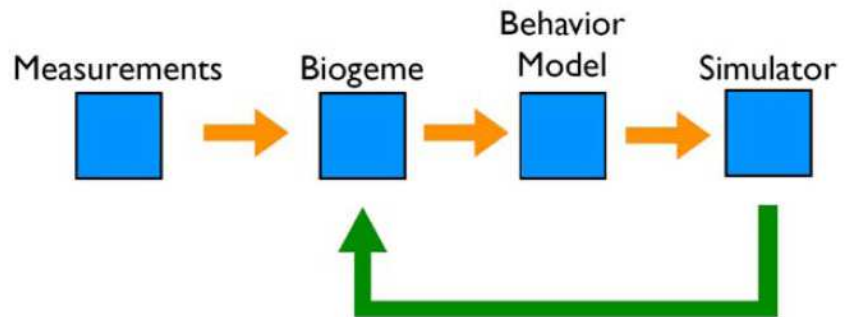
- Event-based

- 衝突対象と遭遇など、出来事が生じた時に更新

## □ パラメータ

- CNLの推定値

- Closed-formなため、計算性に優れる.



# シミュレーション

## □ 初期設定

■ 出発地 :O

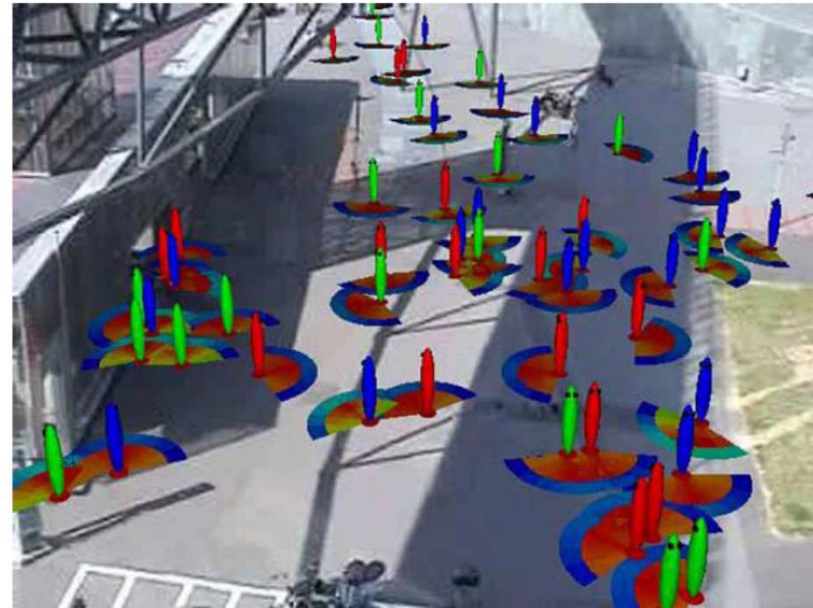
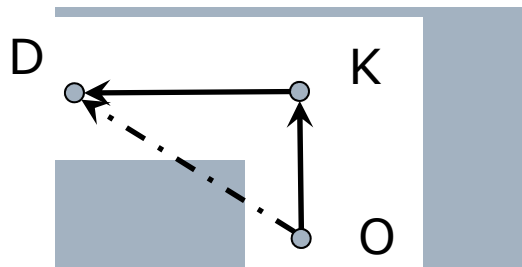
■ 目的地 :D

■ 所要時間 :T

■ 他者の位置 :x

■ 経由地 :K

□ K-1から視認可能



# シミュレーション

---

## □ 意思決定のフロー

Step1. 最初の速度と進行方向

- 目的地に向かう方向の希望速度

Step2. 選択可能な選択肢の識別

- 壁などが無い

Step3. 効用関数の算出

Step4. 選択確率の導出

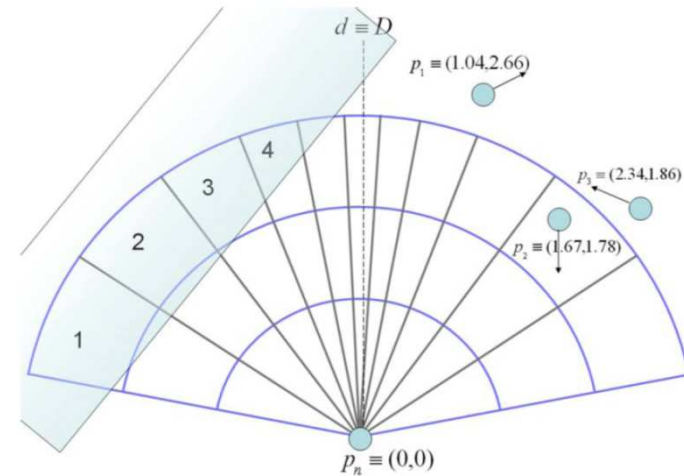
Step5. 選択行動の決定

- 選択確率に従ってランダムに決定
-

# シミュレーション

## □ 数値例

- 周囲に3人が存在
- 進行方向は目的地方向
- 障害物が存在
  - 選択肢1,2,3,4



## □ 選択確率の導出

Alt	Avail	$v_n$	Direction	Destination	Occupation	$V$	Prob
1	0	1.7	72.5	72.5	0	-	0
2	0	1.7	50	50	0	-	0
3	0	1.7	32.5	32.5	0	-	0
4	0	1.7	20	20	0	-	0
5	1	1.7	10	10	0	-4.05	7.64e-03
6	1	1.7	0	0	0	-2.51	5.09e-02
7	1	1.7	10	10	0	-4.05	7.64e-03
8	1	1.7	20	20	0.454	-6.37	6.46e-04
9	1	1.7	32.5	32.5	0	-7.51	1.98e-04
10	1	1.7	50	50	1.325	-12.49	1.22e-06
11	1	1.7	72.5	72.5	0	-13.65	3.8e-07

選択肢

選択確率



# 結論

---

## □ 結論

- 新しい歩行者モデル
  - 離散選択モデル, 実行動データ, 高い適合度
- マイクロシミュレーション
  - 行動モデルに基づく, 検証, 可視化

## □ 課題

- アプリケーション
    - 自動追尾システム(画像解析+行動モデル)
  - その他
    - 加速制約, 回避と追従, GEV, 他の観測データ
-

# おまけ

## □ 初期設定

■ 現在の座標

□ (0,0)

■ 1時点前の座標

□ (-1,-1)

■ 目的地の座標

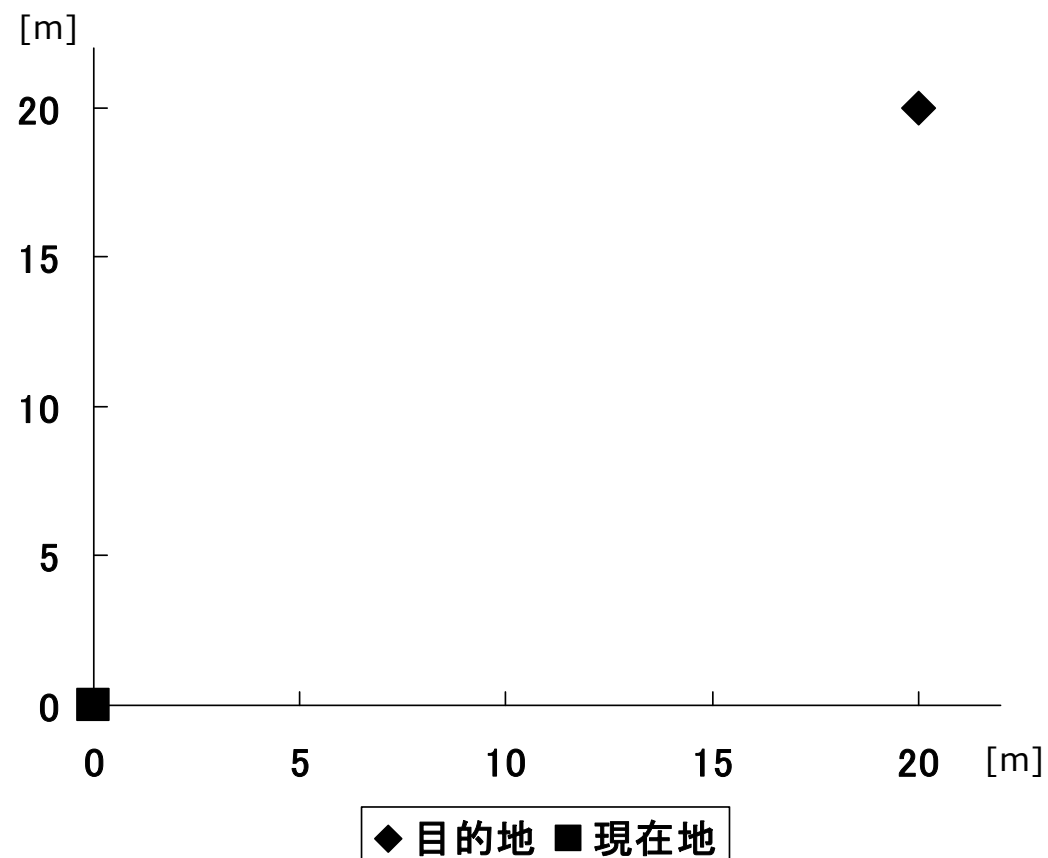
□ (20,20)

■ 所要時間

□ 設定なし

■ 経路地

□ 設定なし

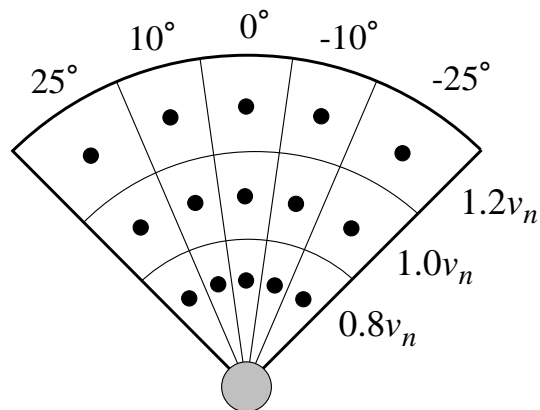


# おまけ

---

## □ 選択肢集合

- 速度: 3分類
- 角度: 5分類
- 合計: 15分類



## □ モデル構造

- MNL

$$P_n(i) = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_j \exp(V_{jn})}$$

## □ 終了条件

- 目的地までの距離
  - 1m以内

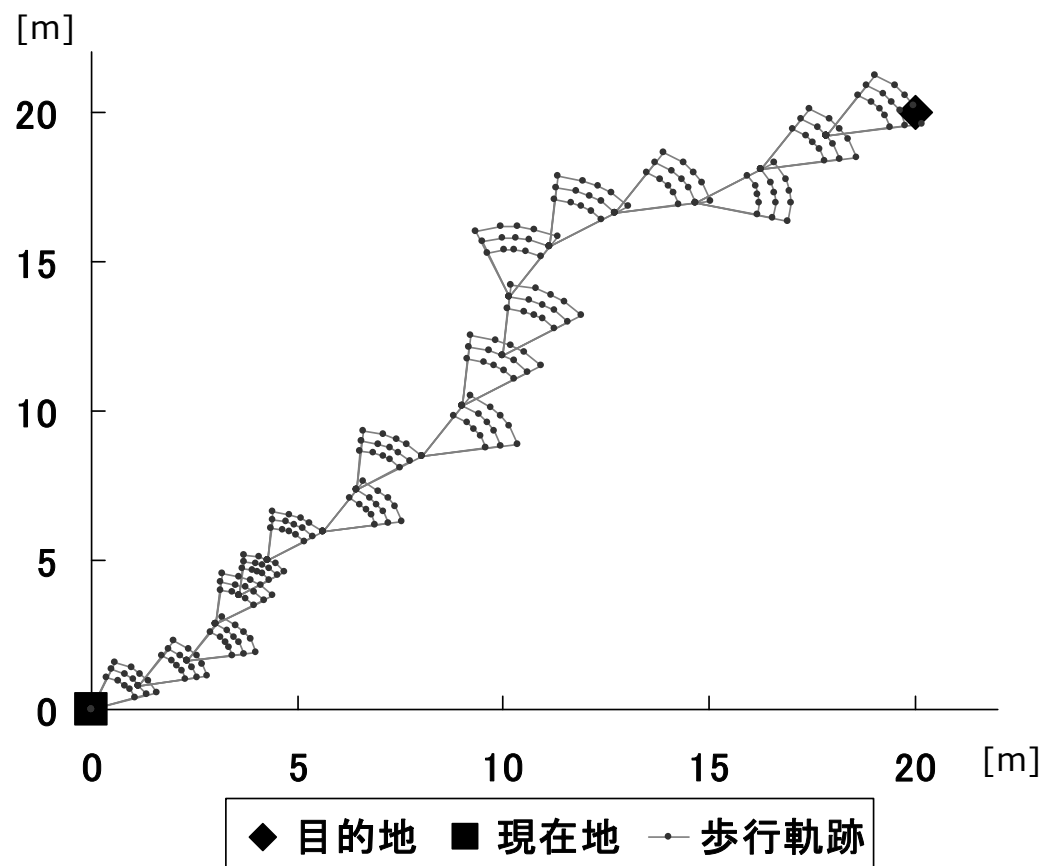
# ケース1

- 目的地志向:  $\beta_{dest}$ 
  - 目的地までの距離
- 速度保持:  $\beta_{dec}, \beta_{acc}$ 
  - ダミー変数
- 方向保持:  $\beta_{side}, \beta_{deep}$ 
  - ダミー変数

$$V = \beta_{dest}dist + \beta_{dec}I_{v,dec} + \beta_{acc}I_{v,acc} + \beta_{side}I_{d,side} + \beta_{deep}I_{d,deep}$$

$$\beta_{dest} = -3.0, \beta_{dec} = -1.0, \beta_{acc} = -3.0$$

$$\beta_{side} = -1.0, \beta_{deep} = -2.0$$



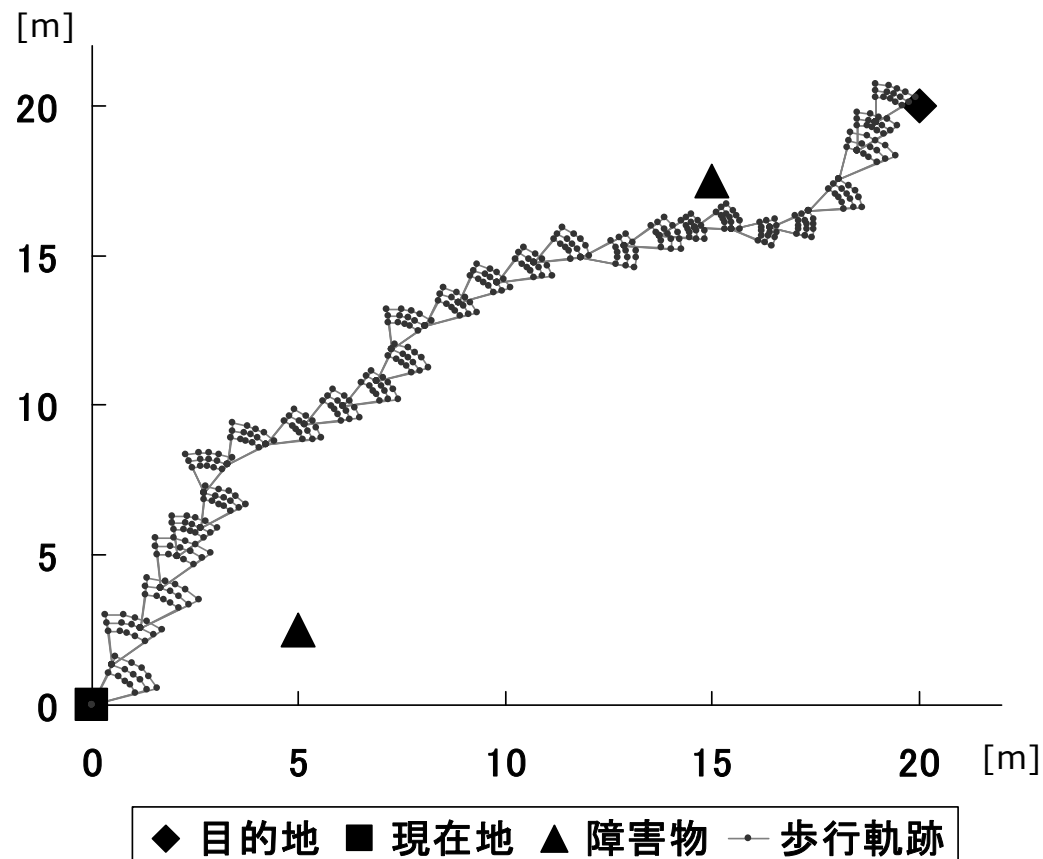
# ケース2

- 障害物回避:  $\beta_{obj}$ 
  - 障害物までの距離
  - 探索範囲: 扇形
  - 半径5m
  - 中心角180°

$$V = \beta_{dest}dist + \beta_{dec}I_{v,dec} + \beta_{acc}I_{v,acc} + \beta_{side}I_{d,side} + \beta_{deep}I_{d,deep} + \underline{\beta_{obj}dist}$$

$$\beta_{dest} = -3.0, \beta_{dec} = -1.0, \beta_{acc} = -3.0$$

$$\beta_{side} = -1.0, \beta_{deep} = -2.0, \underline{\beta_{obj} = 1.0}$$



# ケース3

## □ 歩行空間

■ パラメータが変化

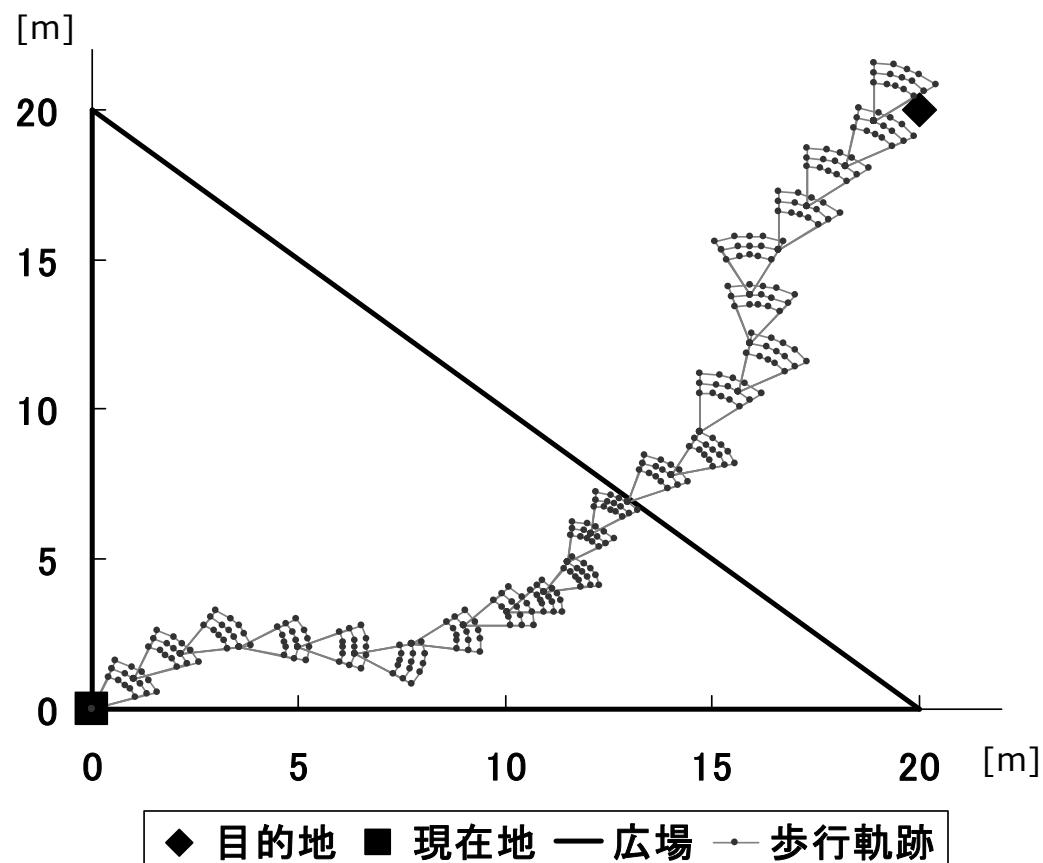
□ 目的地志向性

■ 広場:  $\beta_{walk}$

■ 車道:  $\beta_{road}$

$$V = \beta_{dec}I_{v,dec} + \beta_{acc}I_{v,acc} + \beta_{side}I_{d,side} \\ + \beta_{deep}I_{d,deep} + \underbrace{\beta_{walk}I_{x,walk}dist}_{\beta_{road}I_{x,road}dist}$$

$$\beta_{dec} = -1.0, \beta_{acc} = -3.0, \beta_{side} = -1.0, \\ \beta_{deep} = -2.0, \beta_{walk} = -0.5, \beta_{road} = -3.0$$



# ケース4

□ 他者の影響:  $\beta_{ped}$

■ 他者までの距離

■ 探索範囲: 扇形

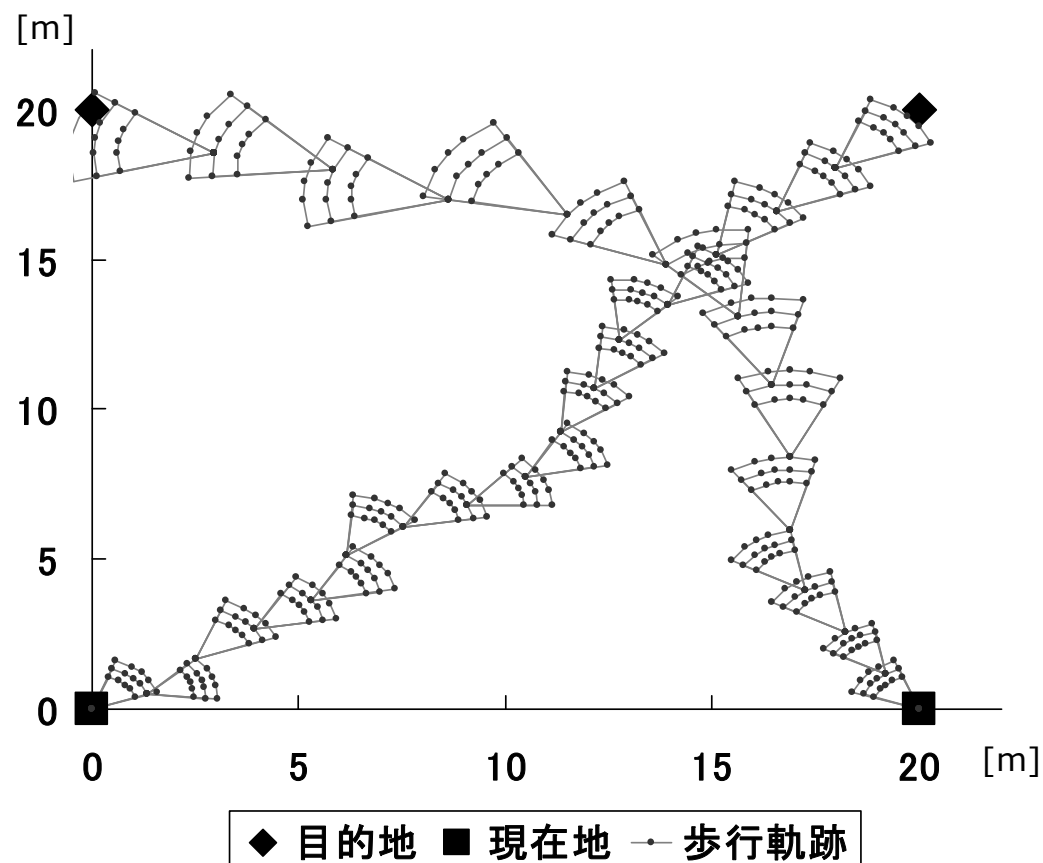
□ 半径5m

□ 中心角180°

$$V = \beta_{dest} dist + \beta_{dec} I_{v,dec} + \beta_{acc} I_{v,acc} + \beta_{side} I_{d,side} + \beta_{deep} I_{d,deep} + \beta_{ped} dist$$

$$\beta_{dest} = -3.0, \beta_{dec} = -1.0, \beta_{acc} = -3.0$$

$$\beta_{side} = -1.0, \beta_{deep} = -2.0, \beta_{ped} = 0.5$$



# 課題

---

## □ シミュレーション

### ■ 譲歩行動

#### □ 急激な速度・角度の変化

##### ■ ナッシュ均衡選択アルゴリズム

- 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫, 交錯交通の容量評価のためのマイクロ歩行者行動モデル, 交通工学, Vol.43, No.43, pp.80-89, 2008.

### ■ 回遊行動

#### □ 目的地の変化, 停止-滞在

##### ■ 意思決定の階層構造

- Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L., Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models, Transportation research part B, 38, pp.169-190, 2004
-

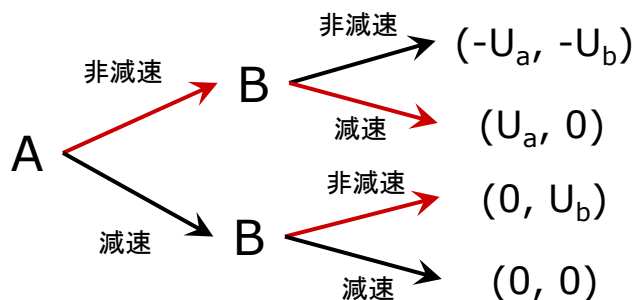


# 譲歩行動

## □ 浅野美帆(2008)

### ■ 利得行列

		B	
		非減速	減速
A	非減速	$(-U_a, -U_b)$	$(U_a, 0)$
	減速	$(0, U_b)$	$(0, 0)$



## □ 進入順序がある場合

### ■ 展開型ゲーム

- 先的意思決定者:(非減速)
- 後の意思決定者:(減速)
- 進入する順序次第

## □ 進入順序がない場合

### ■ 戦略型ゲーム

- (非減速, 減速)
- (減速, 非減速)
- 出現確率は50%

# 回遊行動

## □ Hoogendoorn(2004)

- 効用関数:  $T_i$  は活動が実施される時間

$$v^* [t_i, T_i) = \arg \min E \left[ \int_t^{T_i} L(\tau, x(\tau), v(\tau)) d\tau + \phi(T_i, x(T_i)) \right]$$

- 活動場所のコスト

- 時間帯で変化

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

- 経路-速度のコスト

- 所要時間, 障害物, 速度, 混雑, 歩行環境

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

