

Wei Zhu, Harry Timmermans:
Modelling pedestrian go-home decisions:
A comparison of linear and nonlinear
compensatory, and conjunctive non-
compensatory specifications,
Journal of Retailing and Consumer Services 16 (2009) pp.227-
231

2010/11/17 論文ゼミ #8 M1 柿元淳子

contents

1. Introduction
2. Models - 3types
3. Data
4. Analysis and results
5. Conclusions

1. introduction

- ・ 歩行者の買い物行動は非常に複雑
 - ・ 店の選択
 - ・ 経路選択
 - ・ 休憩や帰宅の意思決定
- ・ これらの意思決定の相互依存をモデル化
 - マルチエージェントモデル
(e.g., Haklay et al., 2001; Dijkstra and Timmermans, 2002)
 - 統合離散選択モデル (e.g., Antonini et al., 2006; Borgers et al., 2006)
 - 動的モデル (e.g., Hoogendoorn and Bovy, 2004)
 - 社会的勢力モデル (e.g., Helbing, 2001)

・ ここでは、歩行者意思決定の中でも、「帰宅」意思決定について取り上げる。

既存研究では、ハザードモデルが、買い物時間や購入の適時選択の予測に使われているケースが多い (e.g., Bhat, 1996)。

だが、ハザードモデルは意思決定プロセスをモデル化していない。

どちらかというと、継続時間の分布を予測しているだけ。

1. introduction

- ・ 選択行動モデルにおける意思決定プロセスには、Compensatory と non-Compensatory の2種類のアプローチがある

□ 補償型モデル (compensatory)

- 選択肢属性の一部分から得られた low Utility は、残りの属性から引き出される High Utility で代償可能である
- 属性間のトレードオフ
- 例えば、
車の購入時に、燃費は悪いが、安くてデザインが良いので購入する
といった決定

□ 非補償型モデル (non-compensatory)

- トレードオフの関係性がない
- 属性ごとにその重要性が評価され、ある一つの属性の効用が低ければ、他の属性が高い効用をもっている、その選択肢が選択されることはない
- 例えば、
人工甘味料の入った飲み物を絶対飲まない人。味の良さや低カロリーといった、他の属性の効用が考慮されない。

1. introduction

□ Compensatory model

- MNL

- ・ 属性レベルでそれぞれの効用が定義されている
- ・ 線形 選択確率は、これら全ての効用の差で決定
- ・ 非線形 効用特定は、時間が経つにつれ時間の効用は逓減
(限界効用逓減の法則)
継続時間に関する意思決定の場合に適切

□ Non-compensatory model

- The Conjunction Model (連結型モデル)

- ・ 全ての属性がそれぞれの属性の閾値を超えていなければ受容されないというモデル

$$P(\text{選択肢が受容される}) = P(x_1 > T_1)P(x_2 > T_2) \cdots P(x_K > T_K)$$

K 選択肢属性の数

X_k k番目の属性の効用

T_k k番目の属性の閾値

1. introduction

■ どちらの意思決定プロセスを選ぶか？

- その選択問題の本質、関与の程度、類似の問題の経験の有無、時間制約、などによる
- 他の条件が一致すれば、関与レベルが低い、また経験が少ない、時間制約が強い、複雑な決定であるといった条件が整うと、決定プロセスはnon-compensatoryになると仮定できる

- ・ 買い物を続けるか否か、その継続時間の意思決定は
 - これらの検討事項をみたとす
 - つまりnon-compensatoryとなるはず

したがって、目的は

(前述した) 3つのモデル (MNL(線形、非線形)、連結型モデル) を比較分析し、上記の仮説の検証をおこなうこと

2. Models

2.1 MNL(多項ロジットモデル)

離散型モデルの枠組みでは、帰宅という意味決定は、「帰る」か、「このまま買い物を続けるか」という2つの選択肢があるゆえに、買い物の効用関数は、以下の単純な式で表される。

$$v^S = \beta^R t^R + \beta^A t^A$$

$$v^H = \beta^H$$

v^S 買い物の効用関数 v^H 帰宅の効用関数

t^R (relative time) 相対時間 … 買い物行動の経過時間
(買い物の目的が完了した程度、疲労の程度に相関)

t^A (absolute time) 絶対時間 … 現在の時間
(営業時間などの制約条件に関わる)

parameters, β^R and β^A , パラメータ (負の値をとると推測される)

2. Models

2.1 MNL(多項ロジットモデル)

帰宅の選択確率

$$p^H = \frac{\exp(v^H)}{\exp(v^S) + \exp(v^H)}$$

ここでは、効用は時間とともに線形に減少する。
しかし、あまり現実的な仮定ではないので、時間の対数をとって
次のMNLモデルを仮定。

$$v^S = \beta^R \ln(t^R) + \beta^A \ln(t^A)$$

2. Models

2.2 Conjunctive Model (連結型モデル)

しかし、歩行者は必ず t^R と t^A の両方を参照しているのだろうか？

・ 補償型ルールでは、ある属性の効用の低さを他の属性の高い効用で補ってしまう。

例えば、店の営業時間が22時。(実時間的にはとても遅い時間帯)
ある人がその時間にたどり着いた。(まだ買い物時間そんなに経ってない)

- 補償型ルールにのっとると、その人は買い物を継続することを決定する
- 非現実的

そこで、連結型モデル (conjunctive model) を提案。

- ・ 連結型モデルは、属性をある閾値をもって判断し、すべての属性が閾値を超えた時のみ、その選択肢を選ぶとする。
- ・ 帰宅選択決定モデルの場合

$$p^H = \begin{cases} 1 & \text{if } t^R \geq \delta^R \wedge t^A \geq \delta^A \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

・ δ^R and δ^A , for t^R and t^A ,
…それぞれの時間に対する閾値

2. Models

- ・ 閾値の定義
 - ・ 歩行者 → 個別の閾値をもつ

$$\begin{aligned} \delta^R &\sim \alpha^R + g^R(\beta^R, \theta^R) & \alpha &\dots \text{定数} & \beta &\dots \text{形状パラメータ} \\ \delta^A &\sim \alpha^A + g^A(\beta^A, \theta^A). & g &\dots \text{ガンマ分布} & \theta &\dots \text{スケールパラメータ} \end{aligned}$$

上の式を分布に従って確率的に変化させると、

$$\begin{aligned} p^H &= \prod_X p_1^X \quad X = R, A \\ p_1^X &= G^X(t^X - \alpha^X, \beta^X, \theta^X) & G &\dots \text{累積密度関数} \end{aligned}$$

- ・ 帰宅する確率 → 両方の属性が閾値を超える確率
属性の効用の累積密度

3. Data

調査対象エリア

Wang Fujing Street (WFS), 北京

- 700年の歴史を持つショッピングストリート。小商業施設や、レジャー施設、文化施設、オフィス、ホテル、その他の機能が揃った、都市の中心部。
- WFS周辺1.3km²
- WFSは南北に1.2km
内、530mが歩行者専用道路

調査概要

日時：2004.5.17,22の2日間。11:00-20:00.

方法：買い物が終了した人にインタビュー調査

- ・比較的早く買い物が終わった買い物客のサブグループ

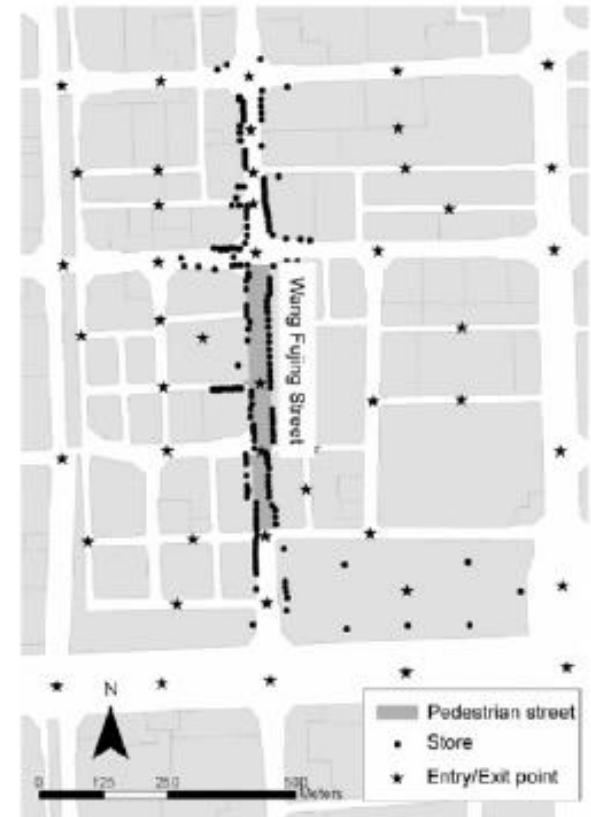
(訪問回数や費やした時間に偏り

- ・アクティビティチェーンを抽出

サンプル数：760の有効データを収集

データ内容：ダイアリーデータ

(社会的属性、店舗立ち寄り回数、出発時間、終了時間)



The pedestrianized section



The non-pedestrianized section

3. Data

- ・ 時間のデータ

一連の買い物トリップチェーンの出発時間と終了時間
それ以外の時間情報は、下記手順で推測。

①調査エリアを5×5(m)のセルに区切り、それぞれのセルに歩行コストを与える。

歩行者専用道路 → コスト1

WFSの道路 → コスト2

それ以外の道路 → コスト3

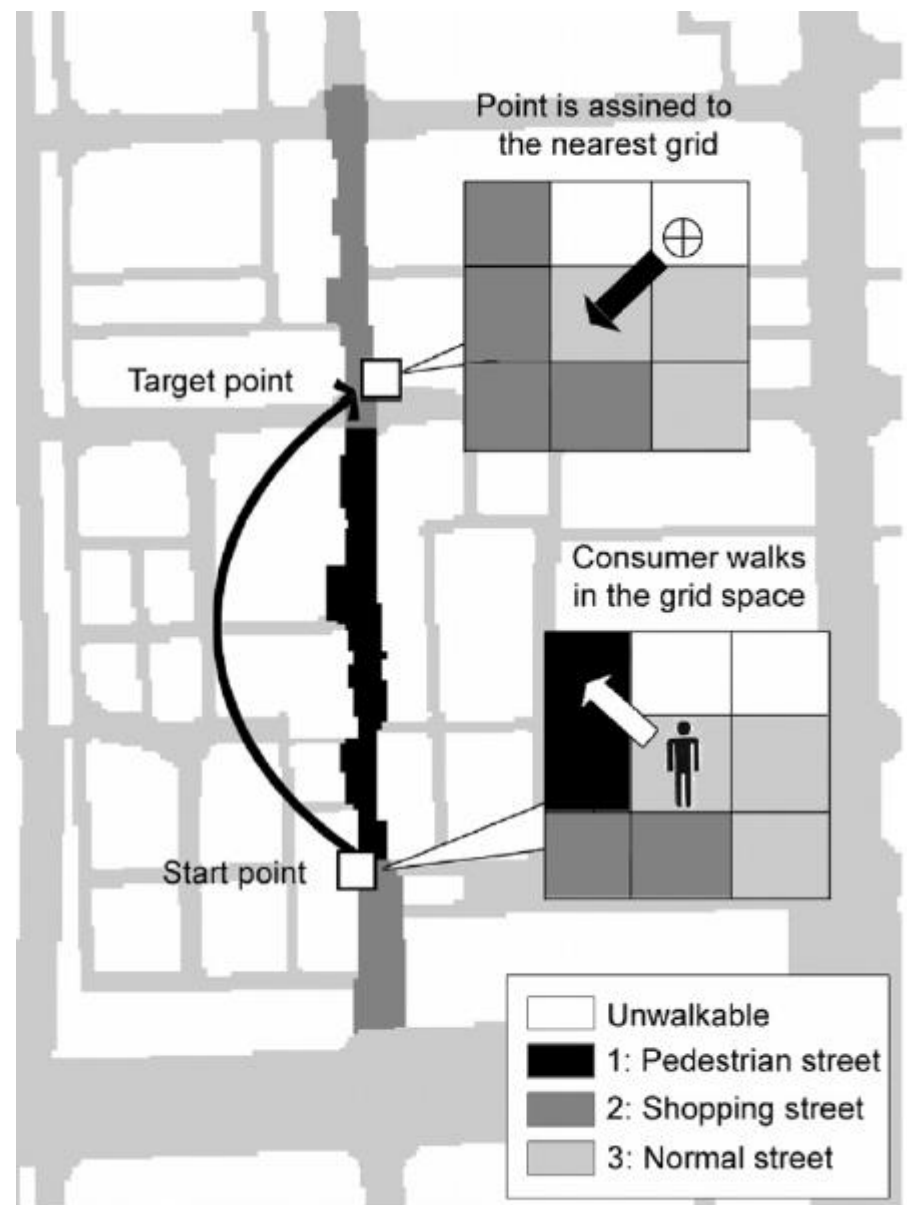
歩きやすさ
低下

※出発&到着点はもっとも近い歩行可能なセルとする

- ②データは、回答者の出発地と到着地
- ③歩きやすさで与えられた最短経路を推定
- ④歩行速度1(m/s)で、歩行継続時間を推定

3. Data

グリッド空間を構成



3. Data

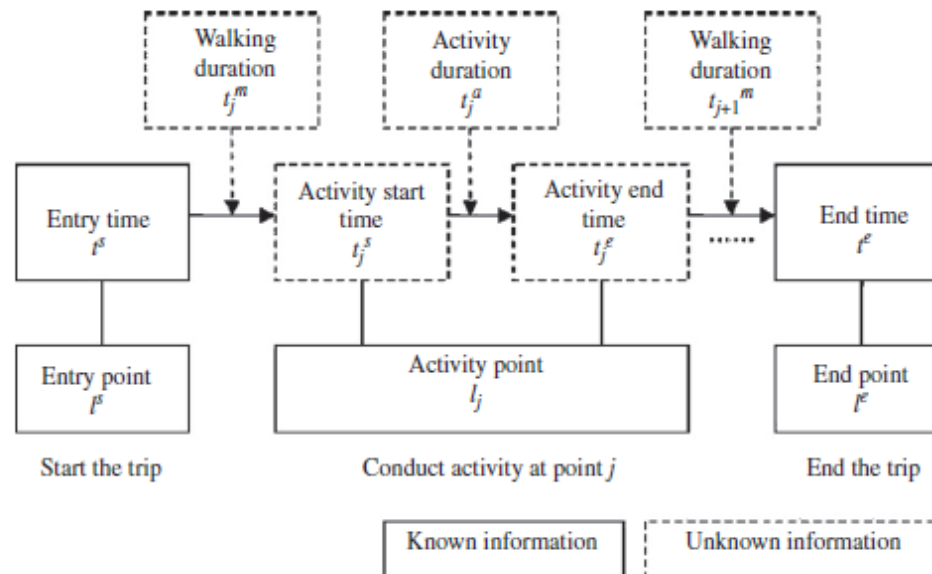
- ・ アクティビティ継続時間の算出
→ ストリートにいた時間 - 歩行時間

$$t_j^a = (t^e - t^s - \sum_j t_j^m) / N_j,$$

t^e 買い物終了時間 t^s 出発時間

t_j^m 歩行時間 N_j アクティビティ数

未知の要素(点線口内)
は前述のように計算



4. Analysis and results

下式を用いて最尤推定をおこなった

$$LL = \sum_{n=1}^{N^c} y_n^H \ln(p_n^H) + y_n^S \ln(p_n^S)$$

y_n^Y ($Y = S, H$) 選択結果 (S=shopping, H=go-home)
 p_n^Y 選択確率 N^c サンプル数

- ・ 推定アルゴリズム
SAS → MNLモデルを正しく推定する
hybrid algorithm → 連結型モデルの推定アルゴリズム
全体最適を求めるため、generic algorithmとthe Taxi-Cab algorithm
とgradient-based algorithmを混合

4. Analysis and results

- ・モデルの比較

3つのモデルの比較を行うために、CAICを用いた。
最も小さい値をとるモデルがベスト。

$$CAIC = -2LL + N^p (\ln(N^c) + 1)$$

N^p パラメータ数

※CAIC (consistent Akaike's information smallest)

AIC (Akaike's information smallest)

統計モデルに対する汎用的な適合度指標

- ・ AICの差が1~2以上ならば、モデルの適合度は有意に異なるとされる
[坂本ら(1983)]

- ・ CAICは、AICが標本数に影響を受けることから、標本数の影響を取り除いた指標

4. Analysis and results

・ 推定結果

MNL(normal variable)

- ・ ρ^2 検定で十分適合

MNL(logged variable)

・ よく表し、CAICも連結型モデルに近いが、相対時間と絶対時間の両方の評価の元で行っているので、直感的に非現実的

MNL normal variable		MNL logged variable		Conjunctive	
Parameter	Estimate	Parameter	Estimate	Parameter	Estimate
β^R	-0.007*	β^R	-1.471*	α^R	0
β^A	-0.008*	β^A	-8.510*	β^R	2.575*
β^H	-10.501*	β^H	-67.117*	θ^R	57.648*
				α^A	671.078*
				β^A	4.335*
				θ^A	75.640*
N^C	2741	N^C	2741	N^C	2741
N^P ^a	3	N^P	3	N^P	5
LL	-1121	LL	-1085	LL	-1075
CAIC	2269	CAIC	2197	CAIC	2195

* Parameters are significant.

^a Only significant parameters are counted.

連結型モデル → CAIC,LLともに他よりも良く、選択結果を良く示す。

-歩行者の帰宅決定プロセスは極めてシンプル

-

-帰宅決定において非常に厳格な基準(閾値)をもっている、と推測される

4. Analysis and results

・時間の閾値

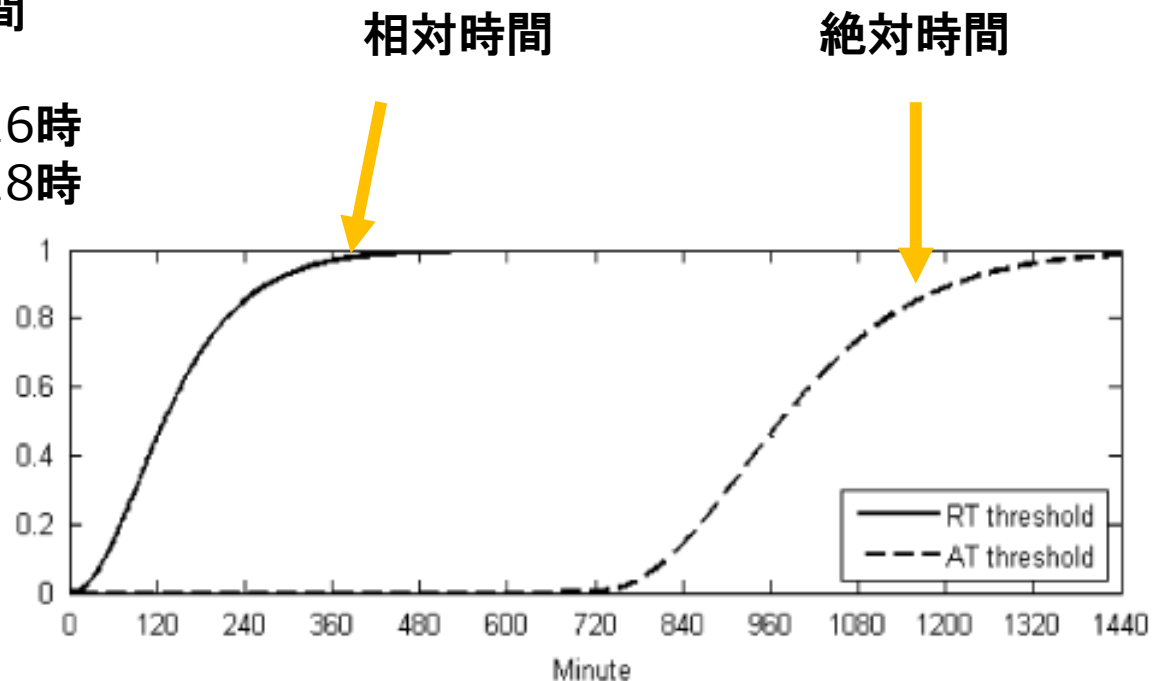
連結型モデルの時間閾値の累積密度分布

相対時間について、

- ・ 15% 1時間以内
- ・ 30% 1～2時間以内
- ・ 40% 2～4時間以内
- ・ 平均 約2.5時間

絶対時間について

- ・ 32% 14時～16時
- ・ 28% 16時～18時
- ・ 26% 18時～
- ・ 平均 16時半



5. Conclusions

- ・ 3モデルの比較で、連結型モデル (Conjunctive Model) が最も適合度が高いことが判明。
→非補償型的意思決定ルールが、歩行者行動の選択の説明に最適であると推測される。
- ・ 買い物する歩行者は、個々の基準 - 絶対時間 (0 : 00 ベースの実際の時間 : 店の営業時間、他の予定などの制約条件を考慮した時間ベースな行動) や相対時間 (買い物継続時間 : 買い物の目的を達成したか、疲れたなどを表す) などで決まる - に従って、選択肢 (帰るか、買い物を続けるか) を評価している、と推測できる。
- ・ 課題として
他の都市、他のデータで、この支配的な決定ルールが成り立つか？

参考文献

- Mordechai Haklay, David O'Sullivan, Mark Thurstain-Goodwin:
` `So go downtown": simulating pedestrian movement in town centre
Environment and Planning B: Planning and Design 2001, vol. 28, pp. 343 ^ 359
- Alexandra Willis, Nathalia Gjersoe, Catriona Havard, Jon Kerridge, R
Human movement behaviour in urban spaces: implications for
the design and modelling of effective pedestrian environments,
Environment and Planning B: Planning and Design 2004, vol. 31, pp. 805 ^ 828

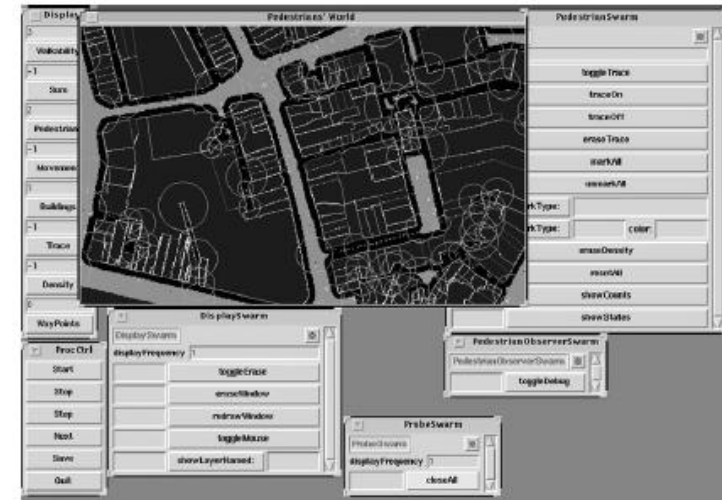
補足

1 エージェントベースモデル シミュレーションの開発

歩行者行動のモデリング

- ・ 1970年代から盛ん
 - ・ 既存は、マクロ・メゾ・ミクロの行動パターンを扱っている
 - ・ 近年、エージェントベースド・シミュレーション技術が発達
- 複雑な統合モデルが開発できるようになってきた
- The STREETSの開発

- ・ Swarm と GIS を利用
- ・ 歩行者行動を行動学的にとらえる
- ・ 5段階の行動モジュールで、マクロ・メゾ・ミクロの動きを再現



The STREETS 操作画面

補足

2 The STREETS シミュレーション システム

■ エージェントベースド

- ・ エージェント 独立した行動. 自らのタスクやゴールを目指す
- ・ 他のエージェントと相互作用する

■ 対象範囲

- ・ 都市の一地区、小区域の中での歩行者行動
 - ・ 都市の中心部を対象としているが、
道路や土地利用が固定 (fix) されており、都心部が閉じた空間である、という前提がある。
- 日単位のシミュレーションやショッピングモールなどで○

■ シミュレーション概要

補足

2 The STREETS シミュレーション システム

■シミュレーション概要

ステップ① エージェントに社会的属性が与えられ、“history”を得る。 ※ “history”…長期間の傾向（ライフスタイル）や短期間の傾向（都市中心部でのルート）とか
また、経路が計算される

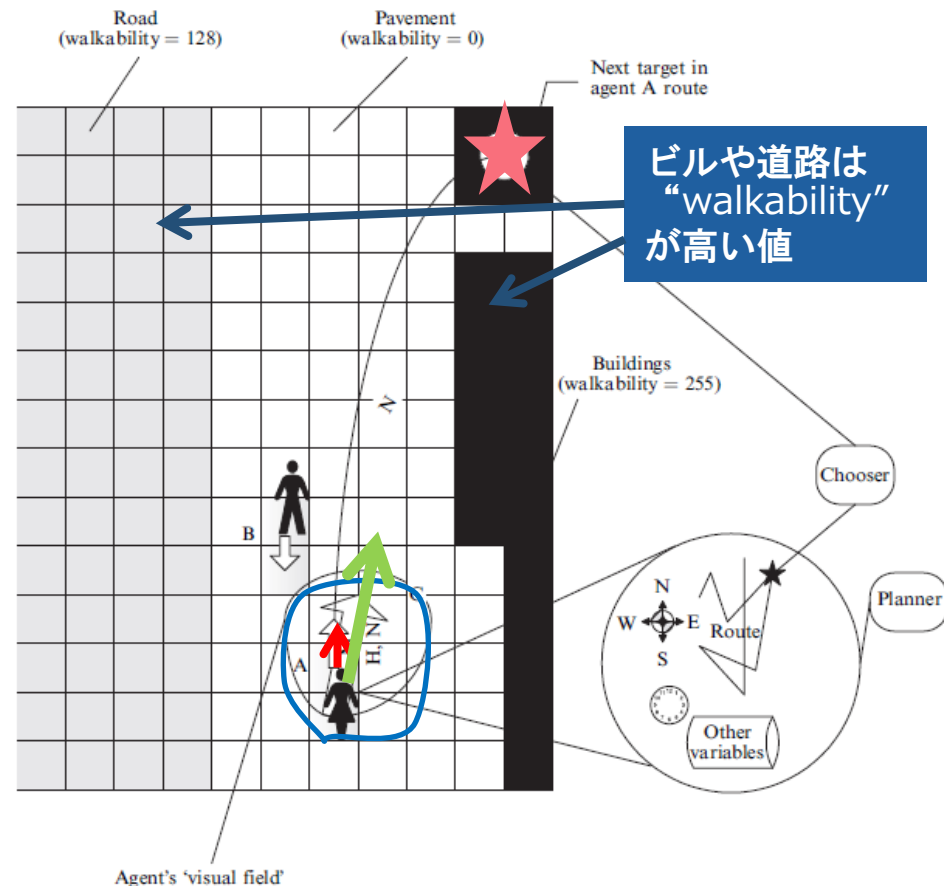
ステップ② シミュレーションでは、エージェントは異なったレベルの行動（異なったモジュールで操作される）の相互作用で行動する。

補足

2 The STREETS シミュレーション システム

■5段階のモジュール

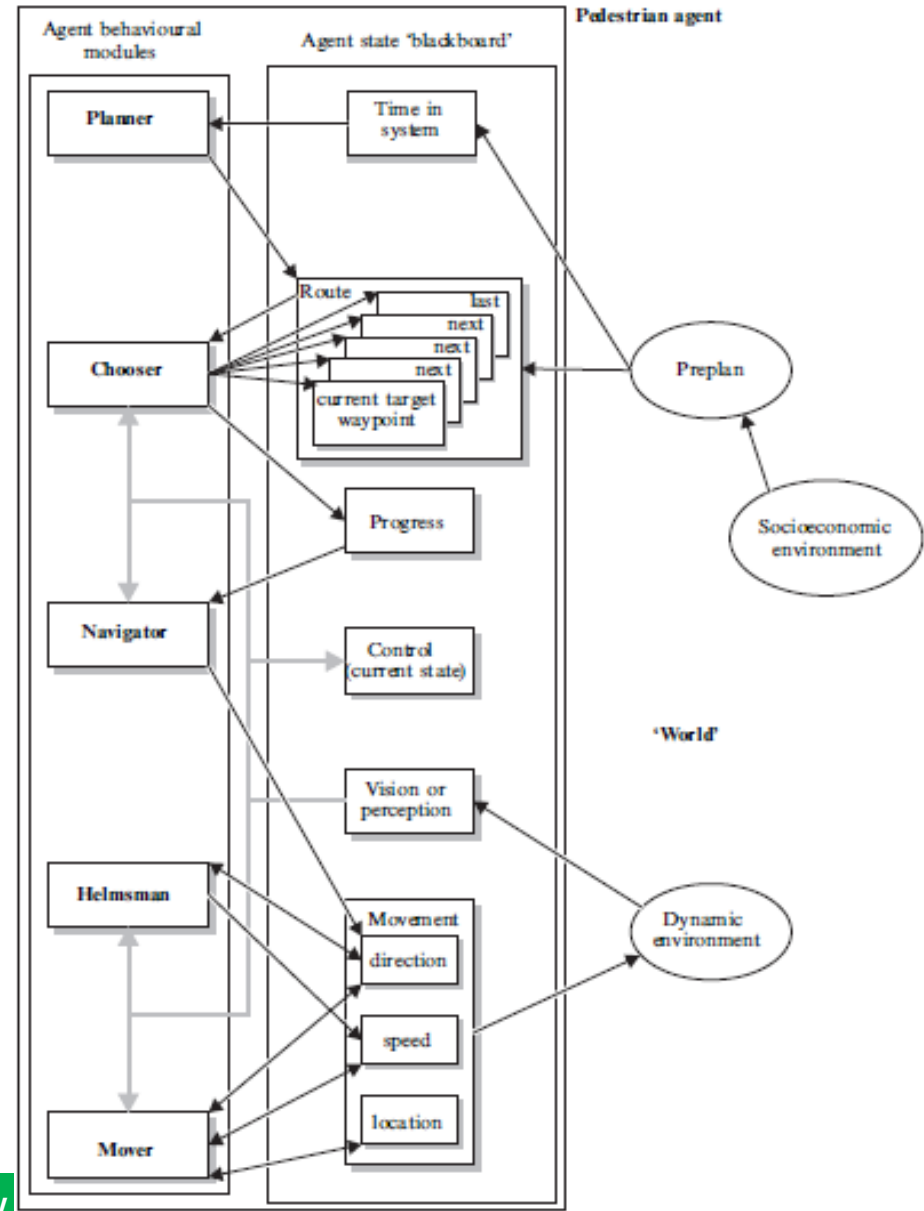
- **mover** …次のステップを決める（現在の進行方向やスピード、walkabilityによる）
- **helmsman navigator** …次のターゲットポイントに至る中距離の方向を決定
- **chooser** …見える範囲が変わるに従い、次のターゲットを決める
- **planner** …エージェントの取る全ルートを決める



補足

■5段階のモジュール

- ・ 都心部での経路探索やナビゲーションの役割
- ・ 歩行者の状態
Route, Speed, Progress, Direction, Location, Vision
Time, Control
これらを管理している



補足

■モジュールの主な役割

①mover

- ・物理的にエージェントを動かす
 - ・次のステップのため、空間にスペースを予約し、障害物の有無をチェック
 - ・また、次のステップのセルの予約をする（衝突回避のため）
 - ・セルごとに設定してある“Value”（混雑度みたいな指標）
 - 低いとき、歩行者に好まれ、高いと歩行者に適さない場所
- エージェントが移動してきたセルは、“Value”が上がり、以前のセルは下がる。

②helmsman

- ・次のターゲットに向かって、エージェントの軌道がずれたら修正する

③navigate

- ・エージェントの軌道を維持する
- ・エージェントのProgressをコントロールし、着実にターゲットに向かわせる

→ これら3つのモジュールは“tactical” movementを扱う

一方、次の2つのモジュールは strategic movement を扱うモジュール →→

補足

■モジュールの主な役割

④chooser

- ・ 次のターゲットポイント（建物やジャンクションなど）を認識する
- ・ ターゲットにたどり着くと、次のターゲットを決める（ルート上で、エージェントの属性や速度などと照らし合わせる）
- ・ 経路上に現れる建物などの環境とエージェントの行動
魅力ある施設があった場合、予定したルートから外れてたどり着く確率

⑤planner

- ・ 時間の管理とルートプランニング
- ・ エージェントが予定していたルートをはずれた時、マネジメント

補足

3. まとめ

■結論

The STREETの特徴

- ・エージェントの行動をスケールを限定せずにモデル化
マクロ・メゾ・ミクロの統合
- ・試験的なモデルでは、「尤もらしい」行動パターンが生成している

■モデルの改良に向けて

- ・グループでの行動を組み込み、友人に会って一緒に移動するといった行動を表現すること
- ・商業施設のプランニングに応用できるように、社会的経済変数を簡単に変更し、様々な人口動態で実験できるようにすること

補足資料 2

▪ Alexandra Willis, Nathalia Gjersoe, Catriona Havard, Jon Kerridge, Robert Kukla:
Human movement behaviour in urban spaces: implications for the design and modelling of effective pedestrian environments,
Environment and Planning B: Planning and Design 2004, vol. 31, pp. 805^{^828}

- 都市空間で、歩行者行動はどのように行われるのか？
 - 歩行速度、空間内での歩行位置の選好、対人距離の2つの視点
- ビデオ観察による歩行行動調査
 - 調査概要

日時：2000. 4 ~2001. 3

場所：3 地点（York & Edinburgh, U.K. ）

- mixed-use（住宅と商業地域混合）で都市中心から1マイル以内
- High Petergate, Stonegate : York、10:30~17:00は車両進入禁止
- Polwarth Gardnes : Edinburgh、一車線二方向（交通量多くない）

サンプル数：2613人（無意識、一人もしくは二~三人連れ）

データ内容：画像データ、個人属性（世代、性別、歩行の様子、人数）

補足資料 2

■結果

・歩行速度

- 平均速度：1.47 m/s (SD 0.3 m/s)
- 男性 > 女性
- 65歳以上で明らかな速度低下
- 持ち物（大きなかばん、小さな子供、ペット）、歩行補助の有無で変化
 - 一人 > グループ、
 - 男性グループ > 女性、混合グループ
- 歩行速度の遅い連れに合わせる傾向
 - 7～9時、17～19時 > 日中
 - (グループでないし、目的がある)
 - 単独歩行者は場所で差異なし。複数グループになると、車の存在や道幅で異なる。中でも道幅に余裕があると速度が大きい傾向。

Table 1. Summary of data: walking speed.

Variable	Walking speed (m s ⁻¹)					n
	mean	median	SD	minimum	maximum	
<i>Gender</i>						
Female	1.42	1.42	0.251	0.50	3.66	1314
Male	1.52	1.52	0.333	0.45	5.56	1299
<i>Age (approximate)</i>						
<16	1.53	1.46	0.447	0.54	3.98	114
16–25	1.55	1.54	0.323	0.55	5.56	816
26–50	1.47	1.47	0.246	0.45	3.80	1196
51–64	1.38	1.38	0.243	0.61	2.09	323
>64	1.16	1.14	0.255	0.54	1.77	164
<i>Mobility</i>						
Unencumbered	1.50	1.48	0.320	0.45	5.56	1244
With small bag or case	1.46	1.47	0.266	0.58	3.80	1032
With larger shopping bags or luggage	1.40	1.38	0.266	0.65	2.40	242
With small children, pram, or buggy	1.39	1.40	0.248	0.50	1.82	54
With mobility aid	0.98	0.94	0.169	0.76	1.39	20
Other						21
<i>Group size</i>						
Singleton (1)	1.52	1.52	0.312	0.45	5.56	1745
Group (2 or 3)	1.36	1.37	0.245	0.50	3.13	868
<i>Group gender</i>						
Male (alone)	1.58	1.58	0.346	0.45	5.56	887
Female (alone)	1.46	1.47	0.259	0.55	3.66	858
Male + male	1.45	1.44	0.282	0.94	3.13	71
Female + female	1.35	1.35	0.210	0.50	2.08	117
Female + male	1.33	1.33	0.239	0.73	2.60	227
<i>Time</i>						
07.00–09.00	1.50	1.51	0.240	0.55	2.97	305
09.01–11.00	1.48	1.49	0.301	0.61	3.25	251
11.01–13.00	1.44	1.45	0.310	0.50	3.42	377
13.01–15.00	1.46	1.44	0.295	0.63	3.98	1219
15.01–17.00	1.47	1.48	0.358	0.54	5.56	258
17.01–19.00	1.51	1.52	0.296	0.45	3.48	203
<i>Location</i>						
High Petergate (before)	1.38	1.41	0.290	0.74	1.95	273
High Petergate (after)	1.45	1.44	0.267	0.63	3.98	993
Stonegate	1.47	1.48	0.227	0.78	2.04	209
Polwarth Gardens	1.50	1.51	0.333	0.45	5.56	1138
Total	1.47	1.47	0.299	0.45	5.56	2613

補足資料 2

■結果

・ 微小な行動

①車道境界線と歩行位置の関係

- ・ 歩道、車道内を5分割
- ・ 車両の完全規制（Stonegate）→歩道：車道が半分、

一方、車両の時間規制（ High Petergate） →歩道通行者が多い

- ・ 単独歩行者は歩道の中心、グループは歩道に広がり歩行する傾向
- ・ 16歳以下は歩道、高齢者も歩道を歩く傾向
- ・ 荷物が大きいと車道を歩く人が多くなる(20.5%)

②対人距離

- ・ 始め・中間・終りの三時点の平均
- ・ 平均距離：0.85m（SD 0.33m）
- ・ 人数多いほど距離広くなる

Table 4. Summary of data on interpersonal distance.

Variable	Interpersonal distance (m)					n
	mean	median	SD	minimum	maximum	
<i>Group size</i>						
2	0.83	0.75	0.317	0.27	2.41	374
3	1.06	0.93	0.366	0.63	1.93	35
<i>Location</i>						
High Petergate (before)	0.75	0.68	0.220	0.41	1.74	61
High Petergate (after)	0.83	0.77	0.293	0.41	1.93	196
Stonegate	0.83	0.80	0.261	0.49	1.60	20
Polwarth Gardens	0.91	0.78	0.398	0.27	2.41	139
<i>Group gender</i>						
Female + female	0.84	0.74	0.350	0.27	2.41	115
Female + male	0.82	0.74	0.305	0.40	2.11	221
Male + male	0.90	0.81	0.313	0.54	2.28	71
<i>Group age</i>						
Children or children + adults	0.90	0.76	0.415	0.45	2.41	46
Adults	0.83	0.75	0.305	0.27	2.28	343
Elderly or elderly + adults	0.94	0.86	0.397	0.49	2.17	26
Total	0.85	0.76	0.325	0.27	2.41	415

補足資料 2

■結果

- ・歩行速度と歩行位置の選好の関係

エージェントベースの歩行者モデルの中で分析

- ・エージェントに個別のパラメータを与える

モデルには前述の分析から得られた関係性（例えば、道路を歩く人は歩行速度が大きいなど）を、実際の歩行速度とそのエージェントが歩く場所の値を与える、また歩行速度の大きいエージェントの行動に“risky” “aggressive”などのラベル付けを行い、組み込んだ。

結果

- ・対人距離と歩行速度 → 相関
- ・歩行位置と歩行速度 → 関係性見られず

もっと複雑な関係性（車道境界線やグループ人数など）があると考えられる。

補足資料 2

■結論

- ・ 有意な関係性
 - ・ 歩行速度
 - 平均1.47 m/sは既存研究の（1.0 ～1.5 m/s）の中でも速い → 都市のライフスタイルで歩行速度は変化する
 - 速度大（単独、男、大人、荷物無し）
 - ・ 対人距離
 - 平均0.85m 20年前の報告と変化なし

歩行速度や対人距離において、グループ人数は関係性が高い。
また、単独歩行でない場合、道幅の影響は大きい。

補足

2 The STREETS シミュレーション システム

■The STREETSの構成

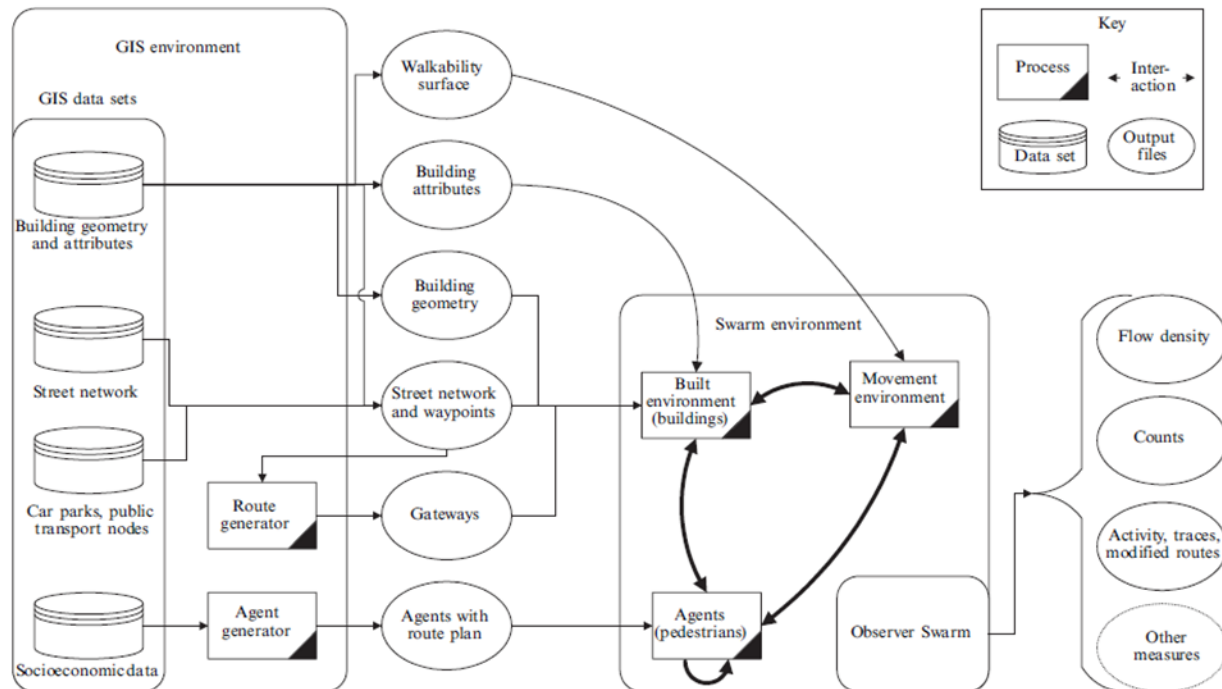


Figure 1. The overall structure of the STREETS model.

6. 自分の研究とのからみ