

# A hybrid multi-scale approach for simulation of pedestrian dynamics

Transportation Research Part C, Vol.37, pp. 223-237, 2013.

Authors: A. Kneidl, D. Hartmann, A. Borrmann

理論談話会#7

2015/6/27

M1 山本 萌美

# 背景 ～歩行者流モデルのアプローチ～

## マイクロモデル

- Force/Potential model
- Discrete-choice model
- Agent-based model

## マクロモデル

- ネットワークモデル
- 流体モデル

# 背景 ～歩行者流モデルのアプローチ～

## マイクロモデル

- Force/Potential model
- Discrete-choice model
- Agent-based model

## マクロモデル

- ネットワークモデル
- 流体モデル

Graph-based approaches with force model/agent type model

マルチスケールモデル

# 背景 ～歩行者流モデルのアプローチ～

各スケールの問題点

## マイクロモデル

近視眼的

→遠くにいる歩行者は考慮されていない

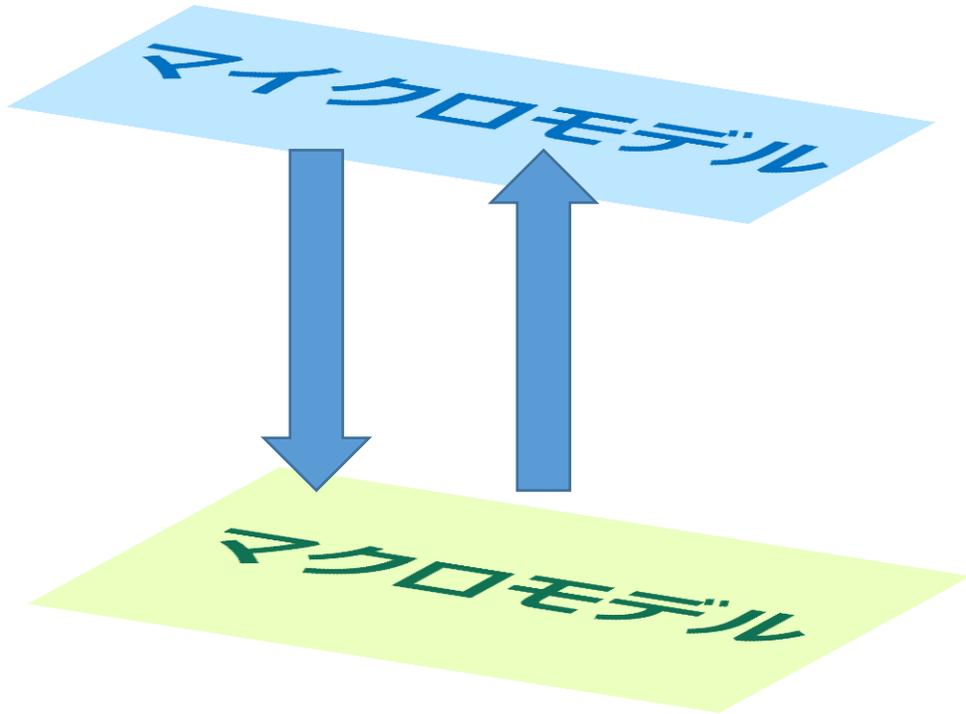
## マクロモデル

- ・歩行者間の考慮がなされない

## マルチスケール

マイクロ・マクロ間で情報共有できていない

# 目的と手法



マルチスケールアプローチのイメージ

## 目的

- ・ レイヤー間で情報を共有するモデルをつくる
- ・ 計算負荷が大きすぎず実用的なものを目指す

## 手法

マイクロスケール；  
Potential-based アプローチ  
→ “Navigation **Field**”

マクロスケール；  
Network-based アプローチ  
→ “Navigation **Graph**”

# 目的と手法

## マイクロモデル

- Force/Potential model
- Discrete-choice model
- Agent-based model

## マクロモデル

- ネットワークモデル
- 流体モデル

### 目的

- レイヤー間で情報を共有するモデルをつくる
- 計算負荷が大きすぎず実用的なものを目指す

### 手法

マイクロスケール；  
Potential-based アプローチ  
→ “Navigation **Field**”

マクロスケール；  
Network-based アプローチ  
→ “Navigation **Graph**”

# マイクロスケール

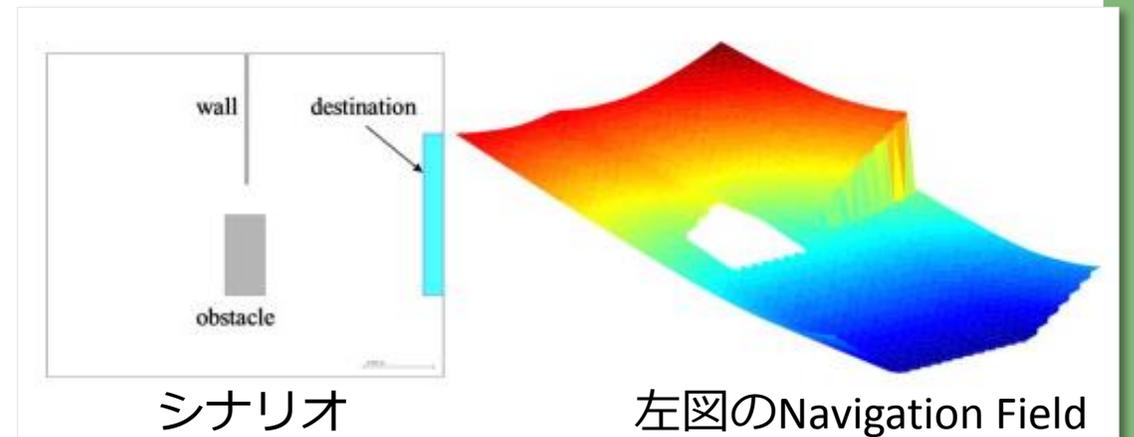
## Force/Potential based アプローチ

- 各歩行者を目的地へ向けてナビゲーションする
- 歩行者はForce またはPotential によって移動すると考える  
(ただし、Forceは保存力なので、両者には $F(r) = -\nabla U(r)$ の関係がある)
- ここでは、potential で考える

# マイクロスケール

## Force/Potential based アプローチ

- 目的地にむかってポテンシャルの値は小さくなり、歩行者はポテンシャルの小さいほうへ移動する
- 各歩行者は障害物や他の歩行者に対して反発ポテンシャルをもつ
- ポテンシャルで表される場 (field) のことを  
Navigation field または Floor field とよぶ



# マイクロスケール

## Navigation Field の表現

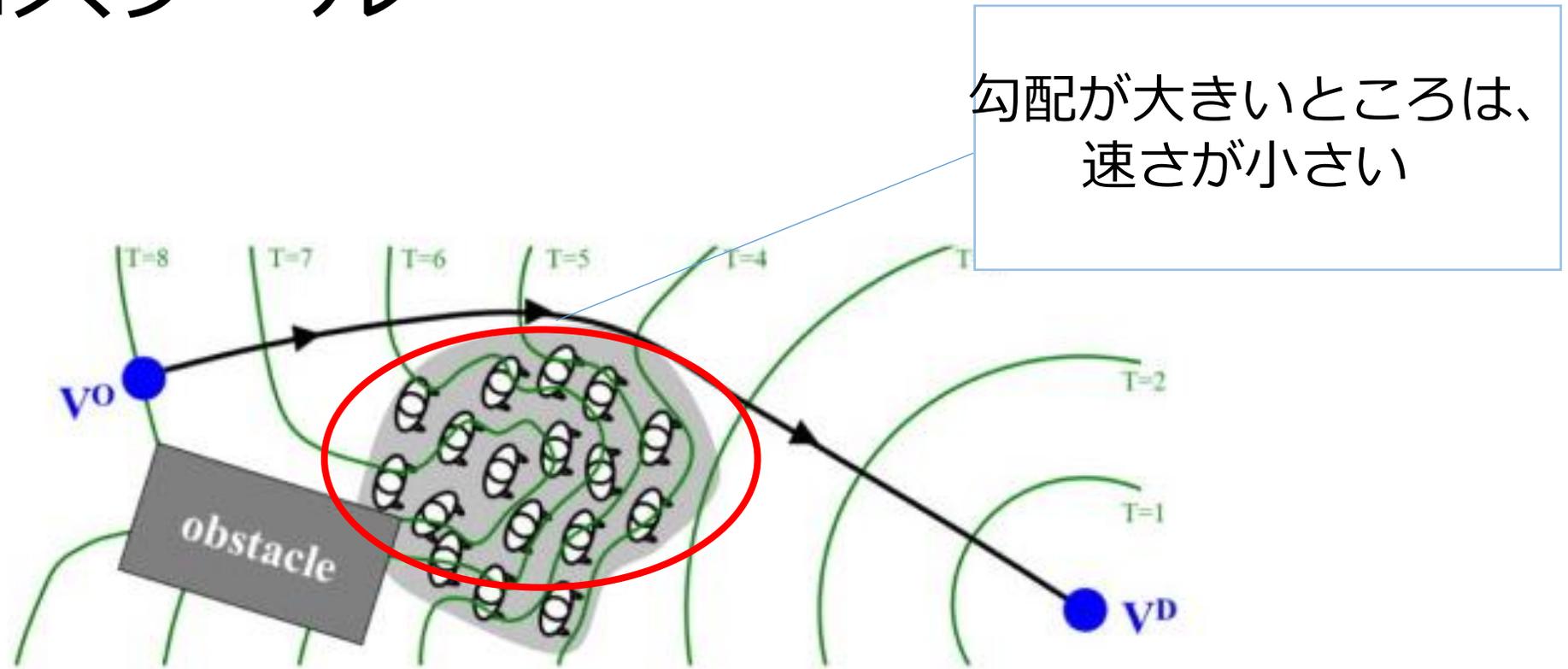
- 波の伝播のアナロジー
- スカラー場  $T(\vec{x})$  であらわされる。
- 速さは局所的な歩行者密度に依存。
- 波面の到着時刻 = 歩行者の推定旅行時間
- アイコナル方程式で表される

$$F(\vec{x})|\nabla T(\vec{x})| = 1 \text{ in } \Omega$$

$$T(\vec{x}) = 0 \text{ in } \Gamma$$

$F(\vec{x})$	速さ
$T(\vec{x})$	到着時刻
$\Omega$	全体領域
$\Gamma$	目的地

# マイクロスケール



## アイコナル方程式

$$\begin{aligned} \overrightarrow{F}(\vec{x}) |\nabla T(\vec{x})| &= 1 \text{ in } \Omega \\ T(\vec{x}) &= 0 \text{ in } \Gamma \end{aligned}$$

$\overrightarrow{F}(\vec{x})$  速さ  
 $T(\vec{x})$  到着時刻  
 $\Omega$  全体領域  
 $\Gamma$  目的地

アイコナル方程式は、  
Fast Marching Method (FMM) で  
解かれる

# マイクロスケール

## セルオートマトンの導入

- ・ 解析対象をセルに分割
- ・ 各セルに離散的状態量が与えられる
- ・ 状態量は近傍のセルとの相互作用（局所近傍則）のみによって決定
- ・ 離散時間ステップごとに状態変異則に従い推移

→全体としての現象を表現

## セルオートマトンと人の流れの応用例

店内の購買客の動き、建物からの避難、駅広告の注目評価 などなど

1	0	0	0	1
1	0	0	2	1
0	0	2	0	1
0	2	0	0	1
0	0	0	0	0

状態量	
0	何もない
1	壁
2	人

セルオートマトンと人の流れの一例

# マイクロスケール

## セルオートマトンの導入

- ・ 解析対象をセルに分割
  - ・ 各セルに離散的状態量が与えられる
  - ・ **状態量は近傍のセルとの相互作用（局所近傍則）のみによって決定**
  - ・ 離散時間ステップごとに状態変異則に従い推移
- 全体としての現象を表現

## セルオートマトンと人の流れの応用例

店内の購買客の動き、建物からの避難、駅広告の注目評価 などなど

ムーア近傍

1	0	0	0	1
1	0	0	2	1
0	0	2	0	1
0	2	0	0	1
0	0	0	0	0

状態量	
0	何もない
1	壁
2	人

セルオートマトンと人の流れの一例

# マイクロスケール

## セルオートマトンの導入

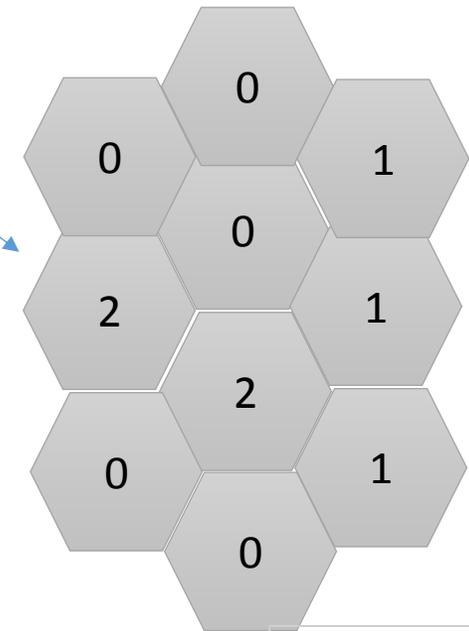
- ・ 解析対象をセルに分割
- ・ 各セルに離散的状態量が与えられる
- ・ 状態量は近傍のセルとの相互作用（局所近傍則）のみによって決定
- ・ 離散時間ステップごとに状態変異則に従い推移

→全体としての現象を表現

## セルオートマトンと人の流れの応用例

店内の購買客の動き、建物からの避難、駅広告の注目評価 などなど

セルは六角形や  
三角形のときも



状態量	
0	何もない
1	壁
2	人

セルオートマトンと人の流れの一例

# マイクロスケール

## セル上で他の歩行者を考慮する

セルに人がいないなら、  $F(\vec{x}) = 1$  (*Constant*)

セルに人がいるなら、  $F(\vec{x}) = \frac{1}{1+\delta}$  ( $\delta$ : *penalty factor*,  $\delta > 0$ )

→状況に応じて、 $T(\vec{x})$  がかわる。

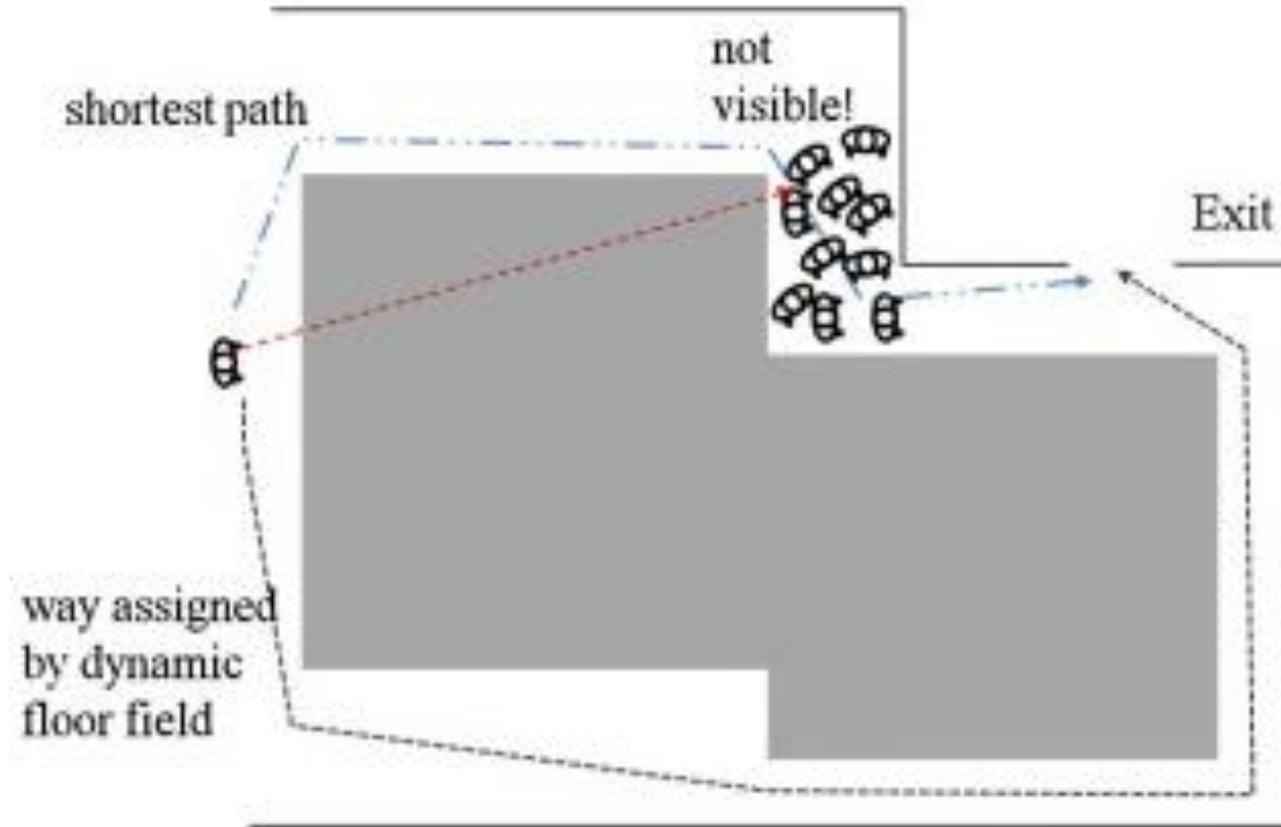
→Navigation Fieldの再計算

動的に変化する状況を表現できている。

# マイクロスケール

歩行者はそんなに合理的??

アイコンナール方程式が与える  $\nabla T(\vec{x})$  は、一番早い経路を教えてくれるが、「歩行者は常に現在の状況に応じて最短経路に従う」という合理的な前提がもたれている。



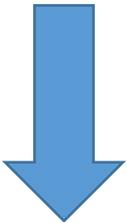
Navigation field に従うと、  
見えないところまで予測して経路を選択してしまう場合がある。  
Too intelligent!

# マイクロスケールからマクロスケールへ

Navigation field に従うと、  
見えないところまで予測して経路を選択してしまう場合がある。  
Too intelligent!



見えるところと見えないところを分ける必要がある

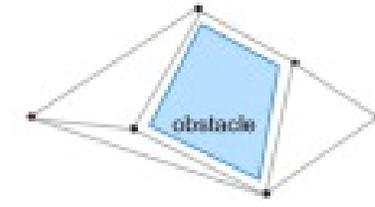


マクロスケールで、Navigation Graph を構築することで解消

# マクロスケール

Model setup

large-scale  
navigation



navigation  
graph

Navigation Graph

## Network-based approach

- Navigation Graphをつくる
- どんな経路探索アルゴリズムを用いるか？  
→最短経路探索、最速経路探索、混雑をさけるのか否か など
- どんなリンクの重み付けを行うか？  
→旅行時間（リンクの距離と歩行速度）
- 歩行速度は、局所密度（混み具合）に依存  
→局所密度は推定値として与えられる



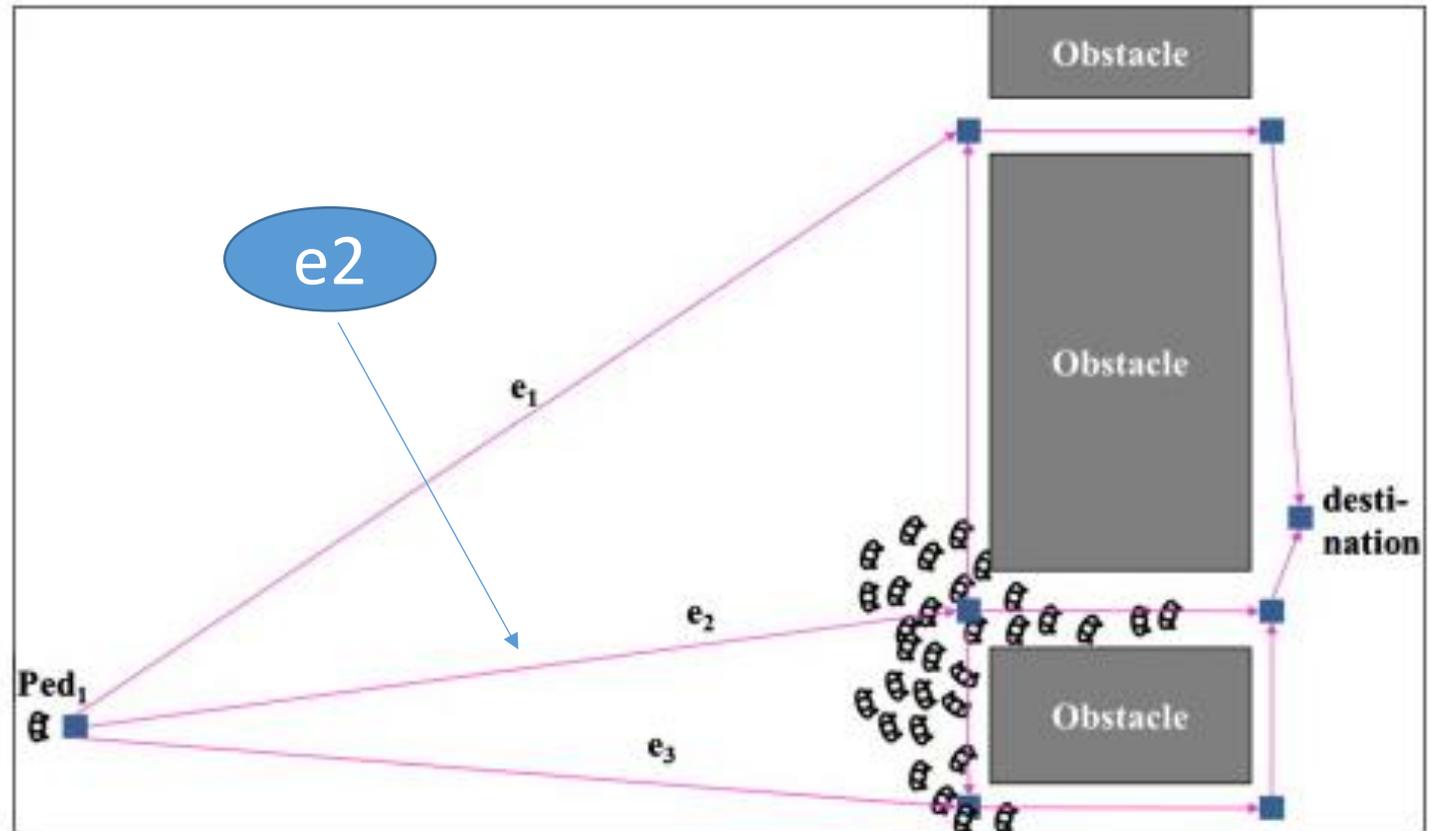
局所密度や旅行時間は正確な値ではなく推定値

# マクロスケール

e2の先端は混雑しているの  
で、リンクとしての密度が  
高くなる

E2のリンク上の旅行速度は  
小さくなる

旅行速度が小さいと、リン  
クの先端に到達するまでに、  
混雑が解消されているおそ  
れがある



# マクロスケール

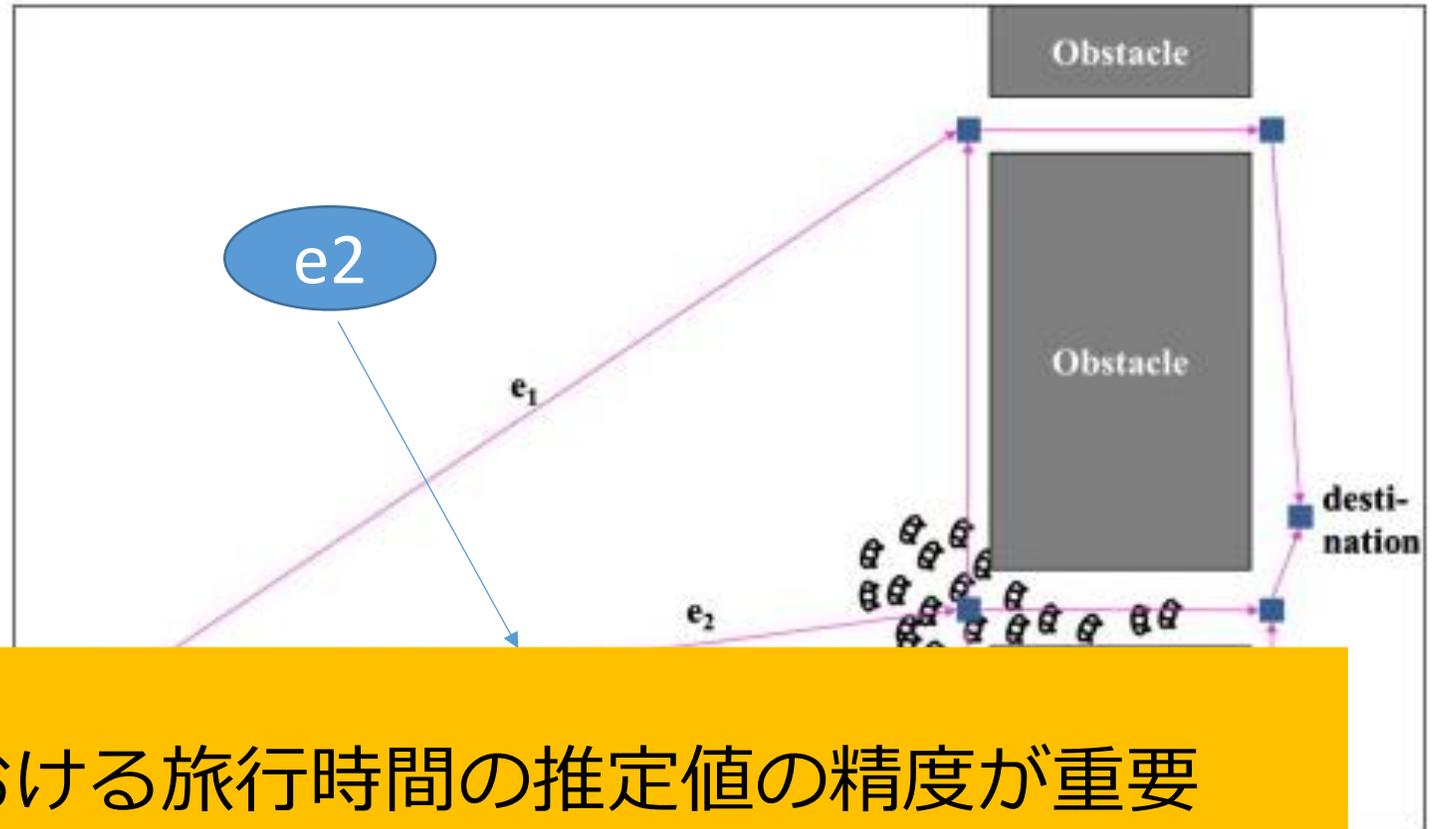
e2の先端は混雑しているの  
で、リンクとしての密度が  
高くなる

E2のリンク上の旅行速度は  
小さくなる

旅行速度が小さいと、リン  
クの先端に到達するまでに、  
混雑が解消されているおそ  
れがある

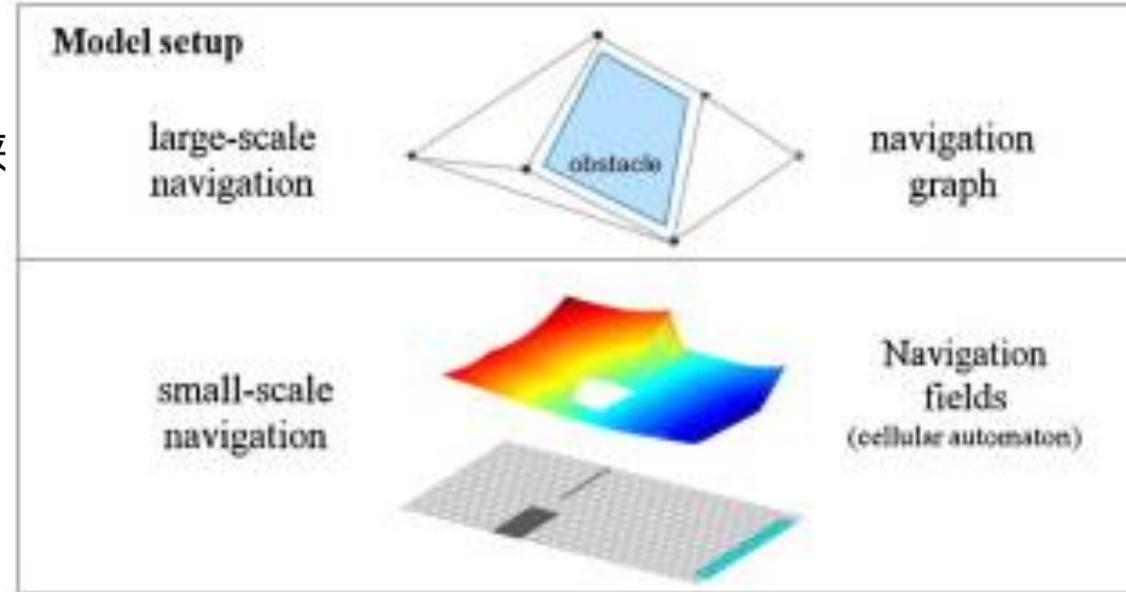
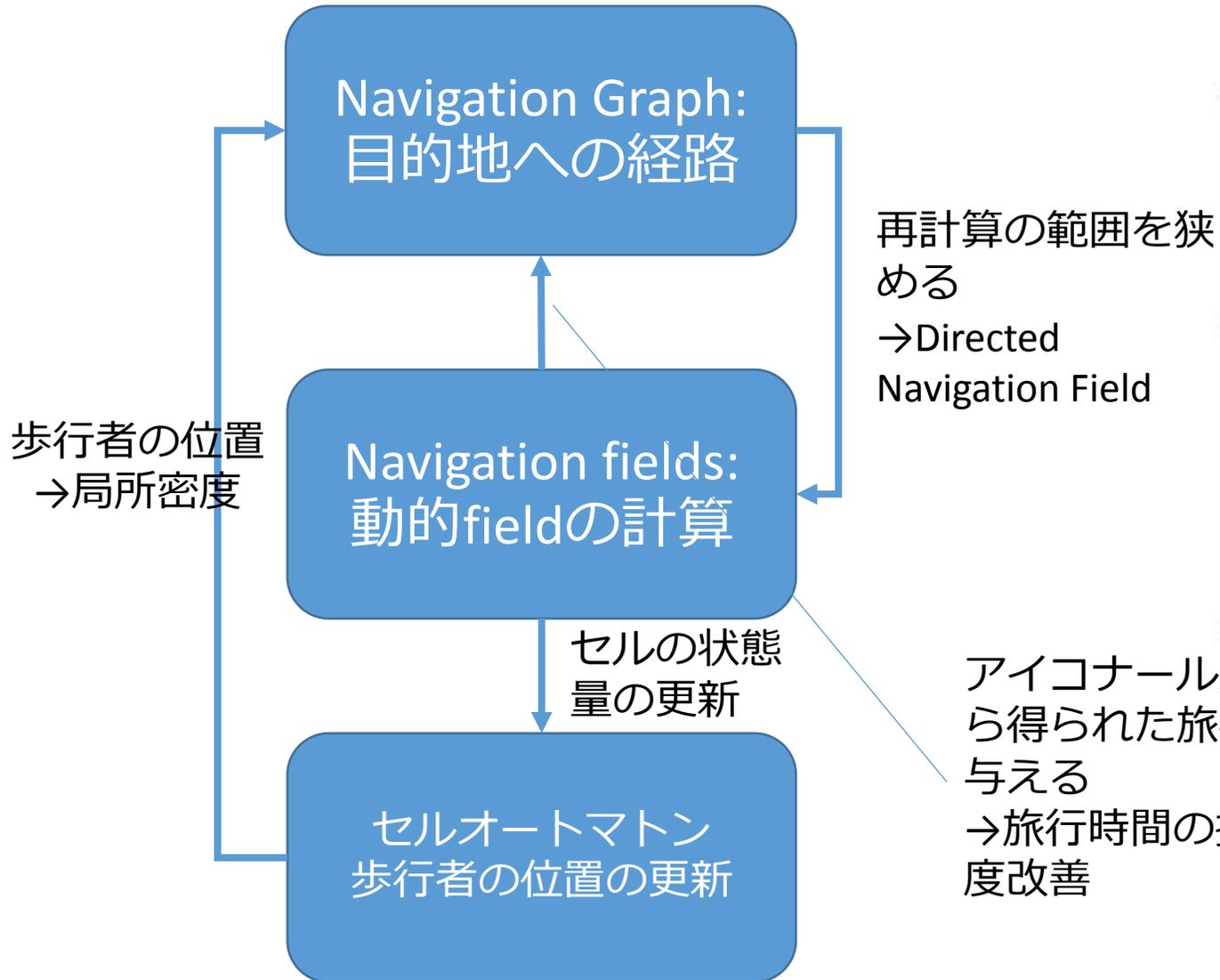
Navigation Graph を動的に変化させ  
る必要

→リンクを消去したり、重み付けを変える



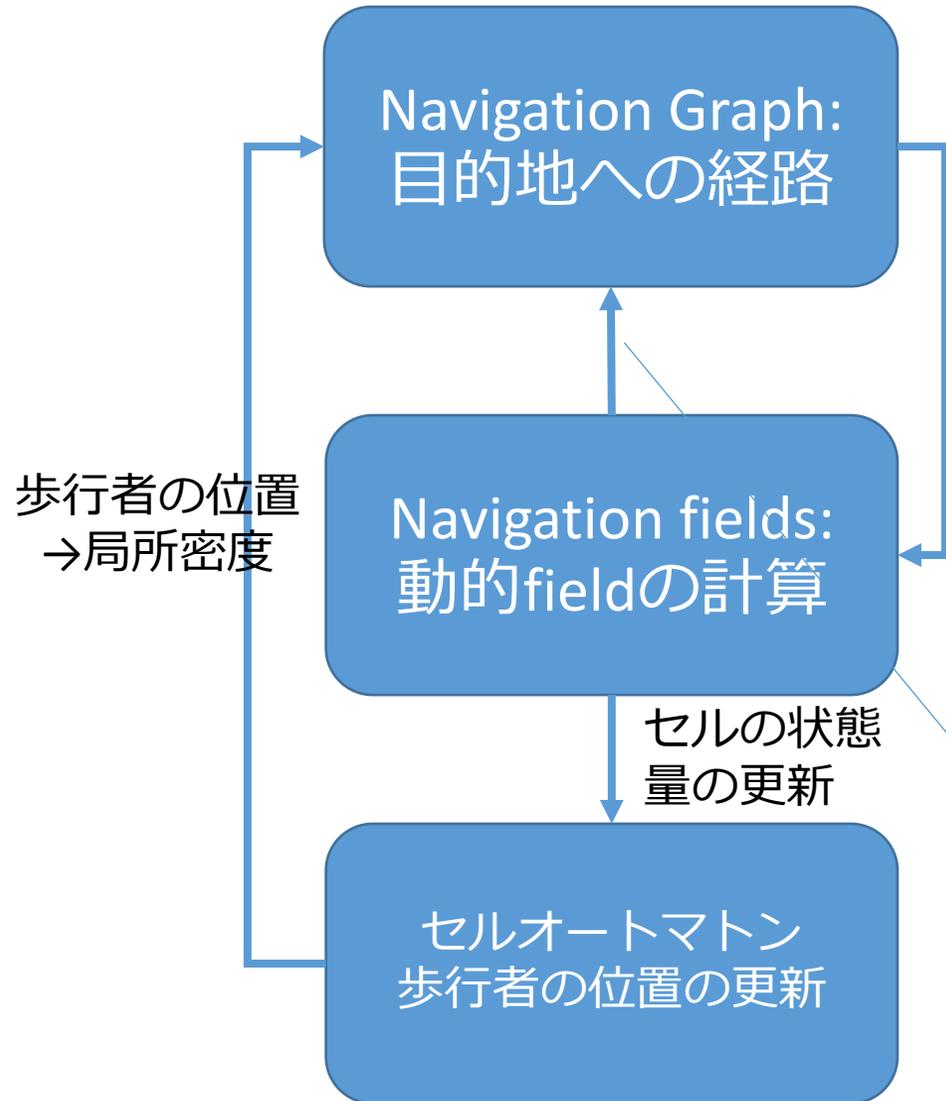
Navigation Graph における旅行時間の推定値の精度が重要

# マルチスケール



アイコンール方程式から得られた旅行時間を与える  
→旅行時間の推定の精度改善

# マルチスケール



再計算の範囲を狭める  
→ Directed Navigation Field

アイコンナール方程式から得られた旅行時間を与える  
→ 旅行時間の推定の精度改善

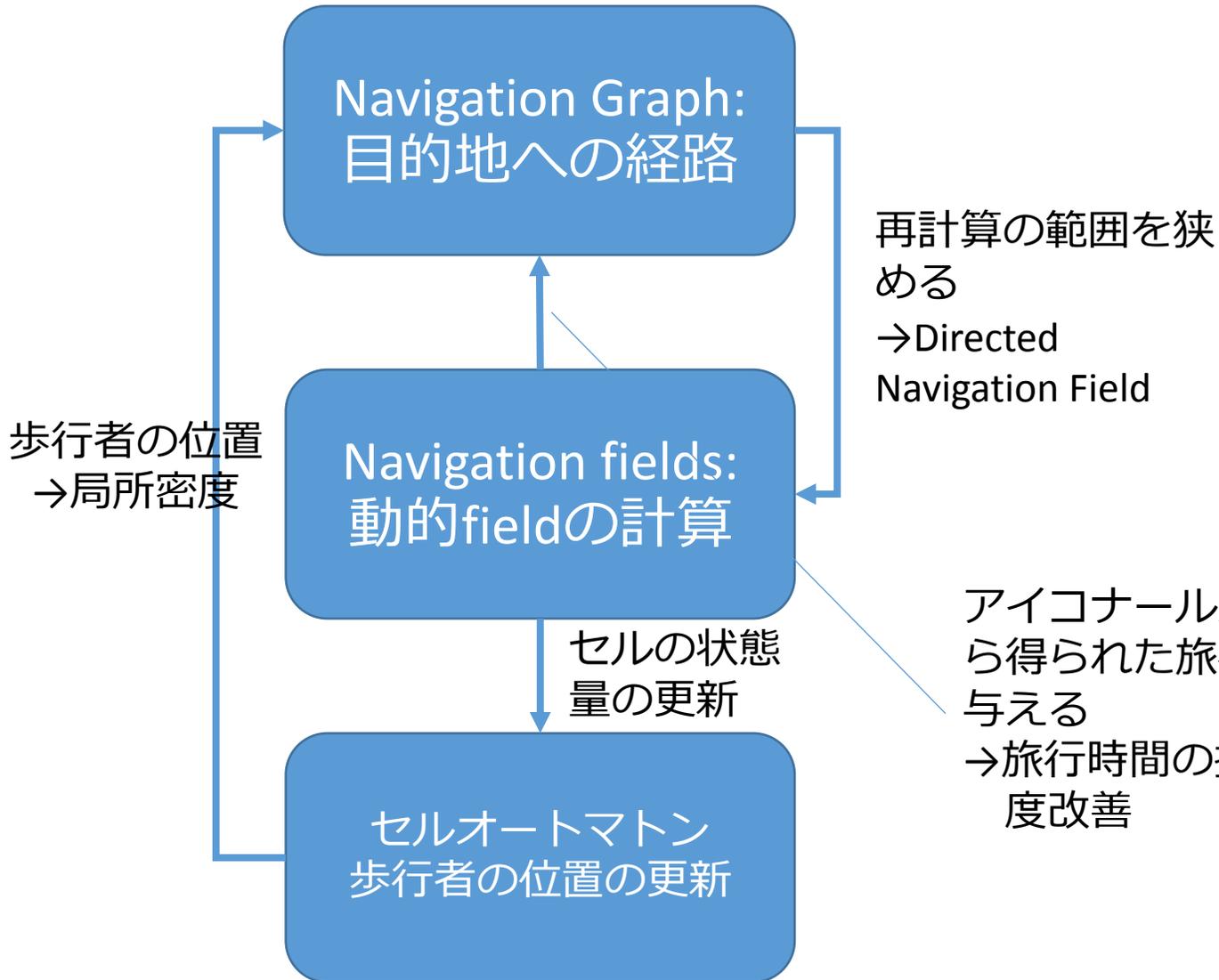
## Directed Navigation Field

$$k(\vec{x}_i) = \alpha T(\vec{x}_i) + (1 - \alpha)\beta d(\vec{x}_i, V^o)$$

歩行者の進行方向    **N.F.のポテンシャル**    N.G.の出発点と現在地の距離

$\alpha, \beta$ は正の定数  
 $0 < \alpha < 1$

# マルチスケール



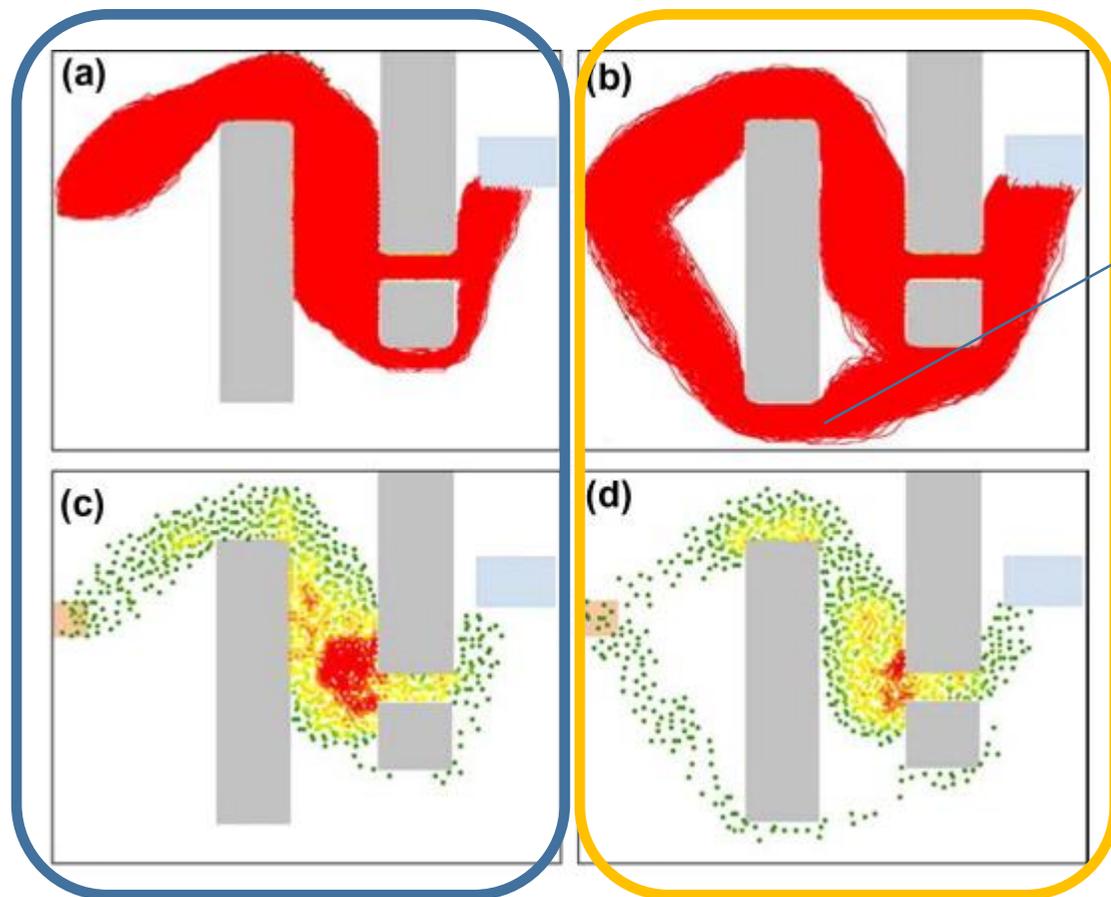
## マルチスケールの利点

- リンクの重みがより正確になった
- Directed Navigation Field により更新の範囲が狭まり、計算負荷が減った

# ケーススタディ

Navigation graph あり

Navigation graph なし



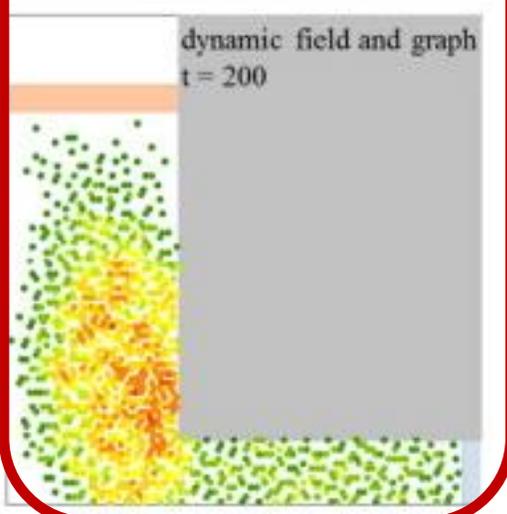
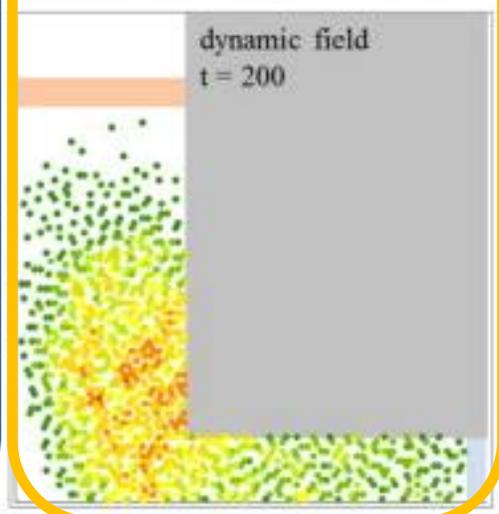
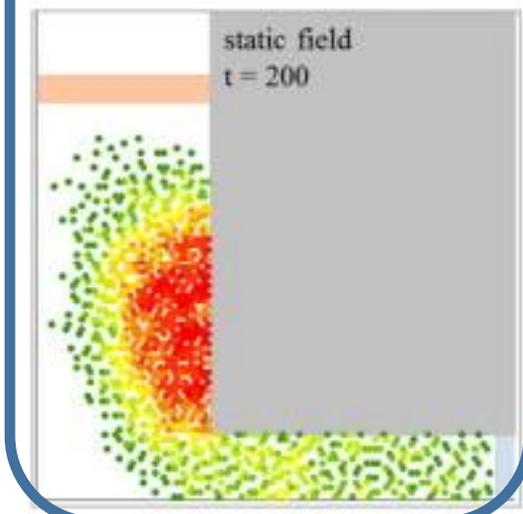
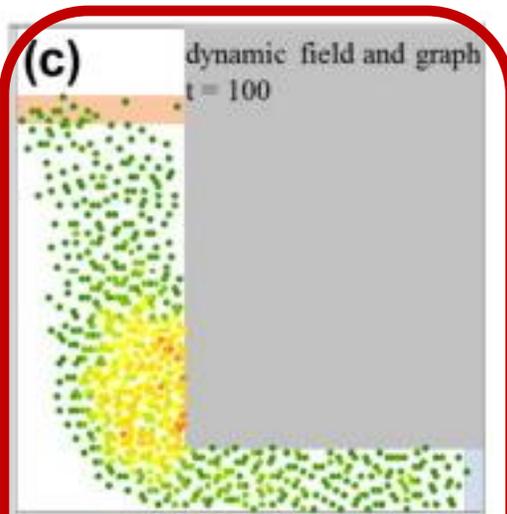
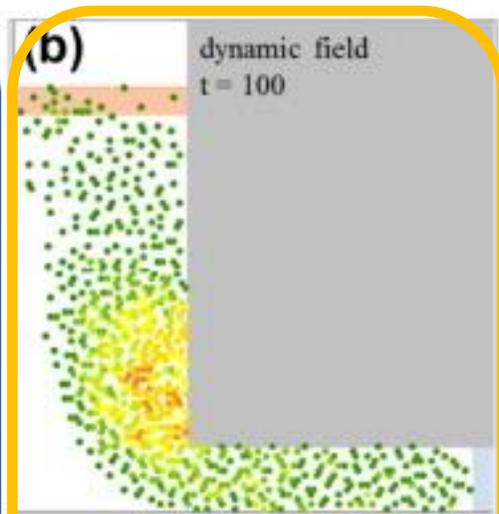
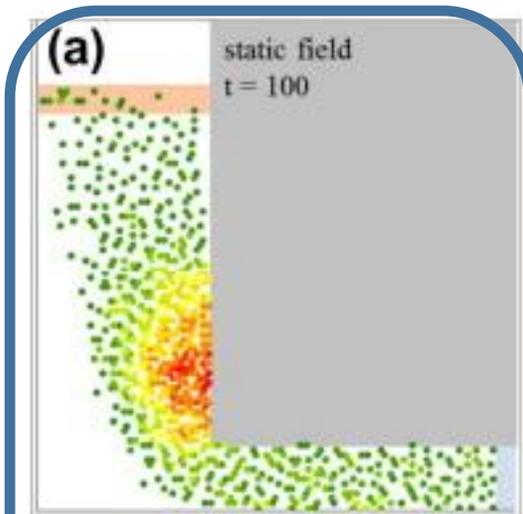
大域的 shortest 経路を知っている。

# ケーススタディ

静的Navigation field  
Navigation graphなし

動的Navigation field  
Navigation graphなし

動的Navigation field  
Navigation graphあり



計1200人の歩行者  
起点より6人/sec

- 自由に動ける歩行者
- 高密度エリア
- 高蜜のため歩行者が動けないエリア

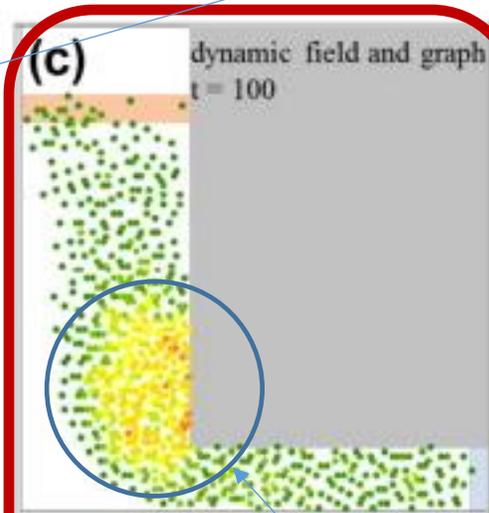
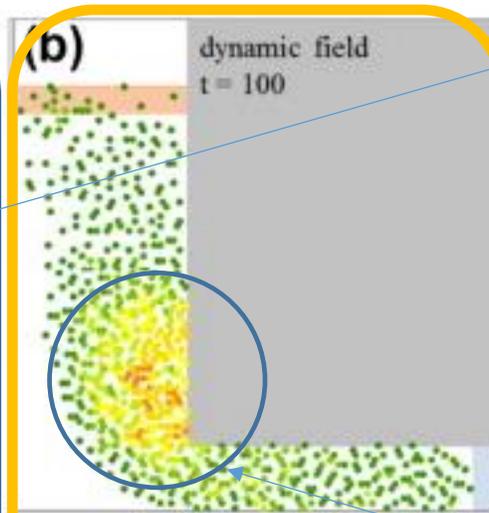
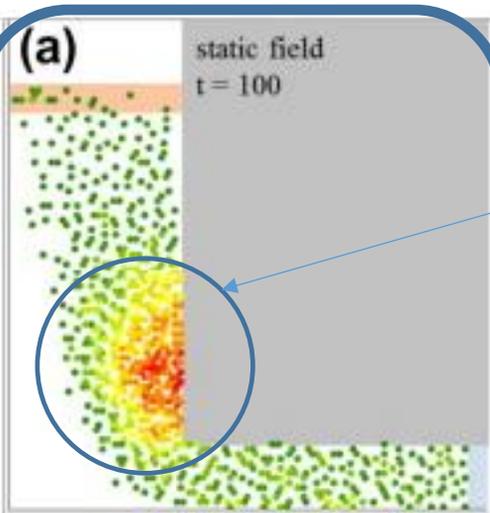
# ケーススタディ

静的Navigation field  
Navigation graphなし

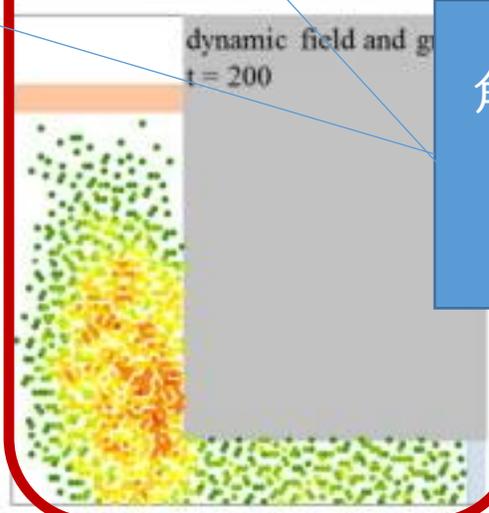
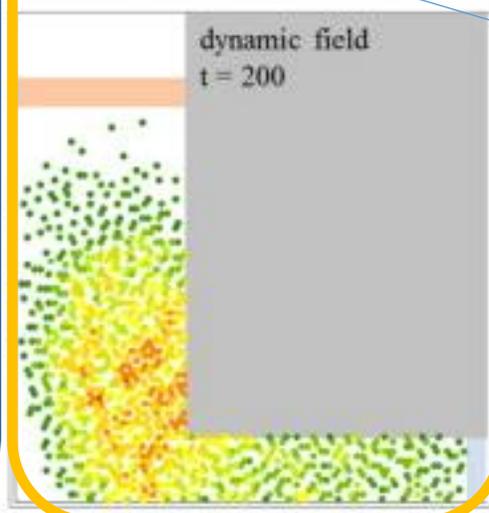
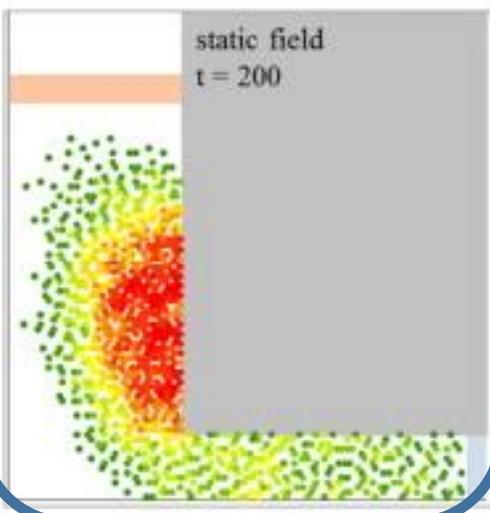
動的Navigation field  
Navigation graphなし

動的Navigation field  
Navigation graphあり

角のほうに集中  
使えるスペース  
を使わない



計1200人の歩行者  
起点より6人/sec



角にはあまり集中しない  
広く分散  
混雑をさける

- 自由に動ける歩行者
- 高密度エリア
- 高蜜のため歩行者が動けないエリア