

# ナイーブな欲求に基づく インタラクシヨンの始まりとデザイン

竹内勇剛  
(静岡大学)

2019年12月6日

第28回 全脳アーキテクチャ勉強会

# 自己紹介

## 竹内 勇剛 TAKEUCHI, Yugo

静岡大学情報学部情報科学科・教授

博士（学術）：認知科学，HAI，言語／非言語コミュニケーション，STEM教育

1994～1999年 名古屋大学 大学院人間情報学研究科 社会情報学専攻 認知情報論講座

1996～2001年 A T R 知能映像通信研究所

2001年～ 現職

# 生命・生物の原初的な行動の原理

死なない  
keep alive

生き続ける  
survive

ように行動する



【YouTube】ホタテがヒトデから逃げる瞬間【浅虫水族館公式】



【YouTube】Lion Hunt At Lewla! Zebra Ambush



【YouTube】赤マルとマムシの対決（閲覧注意）

# インタラクションが始まること

- インタラクションが始まる**条件**が整わなければ，インタラクションは始まらない。
- インタラクションには**段階（層）**があり，認知機序に基づいて高次化してくる。



物質と生物・人間との違いや，人らしさ，擬人化，他者の行動予測，意図推定などの問題に対して，インタラクションが始まる問題は重要な役割をもっている。

# インタラクションの段階

コミュニケーションの階層性

坂本孝文 (2019)

メタ認知的コミュニケーション

言語的コミュニケーション

前言語的コミュニケーション

予示的なインタラクション

直接的なインタラクション



# 直接的なインタラクション

- 一方の作用が他方の物理的，身体的な変化を引き起こすような相互作用を表す。
- このレベルの相互作用は物理的な接触を伴う。
- 例えば，体当たりにより相手を動かす行動や，噛み付くことで相手の身体を傷つける行動など。
- 直接的な相互作用の参加者は，作用する側と作用さえる側に分かれる。
- 攻撃に対する反撃は作用する側と作用される側の入れ替わり，もしくは同時に作用・被作用が2つの方向に働いている状態といえる。



# 予示的なインタラクション

- 直接的な相互行為の準備行動を示したり、実際に行動を開始したりすることで、相手の行動を引き起こすような相互作用を表す。
- 例えば、捕食動物の追跡と非捕食動物の回避行動や、威嚇することで相手をなわばりの外側に追いやろうとする行動、求愛行動など。
- 直接的な相互作用の前段階として現れる。
- 直接的な相互作用が開始する可能性を察知し、結果を予期し、それを避けるか、受け入れる行動を示す。
- そのため、学習のプロセスを要するが、これは主に生物進化を通じた適応（系統発生的適応）により実現されている。
- これは直接的な相互作用に対して予期的に反応できることが、生存するうえで有利に働くためである。
- 第三者（分析者）視点から見ると、一方の行動を観察することで、他方の行動（反応）の予測可能性が上昇するため、情報のやり取りが成立しているといえる。
- 一方の先行する行動をシグナルとして読み取ることで、他方の後発する行動が誘発される。
- 先行する行動と誘発される行動の間には因果関係が成立する。
- 先行する行動が、相手の行動選択の範囲を狭めるため、系全体の冗長性が高まる。つまり情報が生まれる。
- この段階では騙しのような行動は現れない。つまり、シグナルの信頼性は揺らがないか、揺らぎが大きくなった瞬間に相互作用として成立しなくなる。
- 相互行為が収束する方向に学習が働く。相互作用が発散するケースでは相互の学習が成立しないということなので、冗長性は生まれない。それゆえに、予示的相互行為とは別の相互行為といえる。
- 擬態という形で第三者（別種の生物）が予示的なシグナルを利用することは起こりうる。
- しかし、この擬態によるシグナルの利用は、そのシグナルの信頼性を落とさない程度にとどまる必要がある。
- 信頼性が落ちるとは、学習が収束する方向に働かなくなることであり、その行動はもはやシグナルとし機能しなくなる。
- この擬態は学習の系の外側の系であって、学習の系内で相手を騙す行動が生じると、行動パターンが発散する。
- 当事者内で騙そうとする行動は、葛藤という形で現れる可能性がある。



# 前言語的コミュニケーション

- 自身と相手との関係（二項関係）を表すための相互作用を表す。
- 直接的な作用または予示的シグナルとしての機能と並行して、ある行動に関係を表すシグナルとしての効果が生じることで成立する。
- 非言語的なコミュニケーション。非シンボリックな相互作用。身振りの会話。
- コンテキストに依存する。動物では、予示的コミュニケーションを足がかりにコンテキストが構築される。
- 例えば、母子関係で行われるシグナルを社会的地位の上下関係を表すシグナルとして利用する。
- 哺乳動物では（特にその種の中で）類似した養育期間があり、そこでは類似した直接的、予示的相互作用が行われている。
- ここで行われる行動—反応の対応関係を利用することで、ある行動が前言語的なシグナルとして機能する。
- 二次の学習、すなわち「行動パターンの学習」が必要となる。
- 種内の学習（系統発生的適応）だけでなく個体内の学習が必要となる。
- 相手との関係が変化することで取るべき行動が変わるため、個体が生存している時間内で行動パターンを調整する必要が生じる。
- 人が動物に芸を覚えさせるのは、予示的コミュニケーションと前言語的コミュニケーションが関わる。
- 予示的コミュニケーションとして、信号の提示と報酬に基づき行動を強化する。
- 人側は動物に芸を仕込むことを学習し、動物側は芸の学習を学習することで、次々に芸を覚えていく。
- これは人—動物で飼い主—ペットの関係が構築されていく過程であり、ここで行われるコミュニケーションは関係を伝え合う前言語的なコミュニケーションといえる。
- このような行動パターンの獲得過程は、人—動物の関係を規定する前言語的コミュニケーションといえる。



# 言語的コミュニケーション

- 三項関係かそれ以上の関係，または関係以外の事柄を伝えることができるコミュニケーションを表す。
- 相手への指示が可能となる。
- また相手の指示を解釈することが可能となる。
- 相手との協調が可能となる。
- 当事者間の二項関係の側面は並行する。
- 報告と命令を認識できる必要がある。

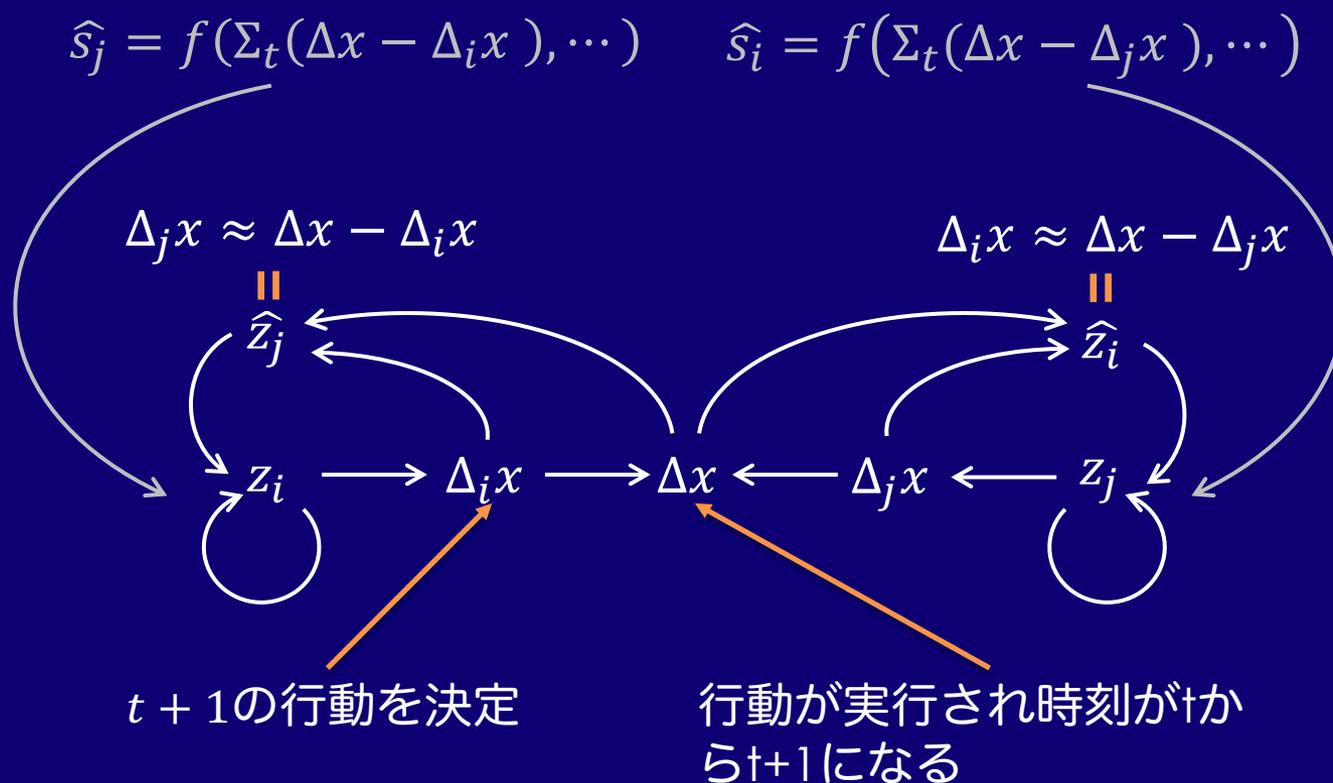


# メタ認知的コミュニケーション

- 自己を指示の対象としたコミュニケーションが可能な行為者間で成立するコミュニケーションを現す。
- 相手の行動だけでなく，自身の行動が解釈可能であり，戦略的に行動できる。
- シンボリック相互作用論のいうところの意味の成立。自身は相手を考慮するし，相手も自身を考慮しているという前提が成立した上で行われる。
- 社会のレイヤー。

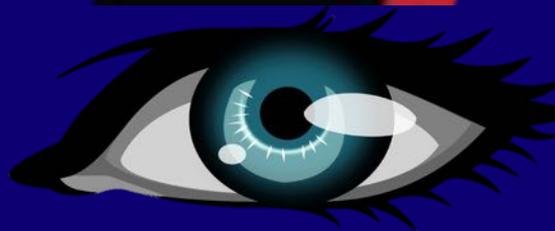
# 知的さを伴うインタラクション

予示的なインタラクションよりも上位層



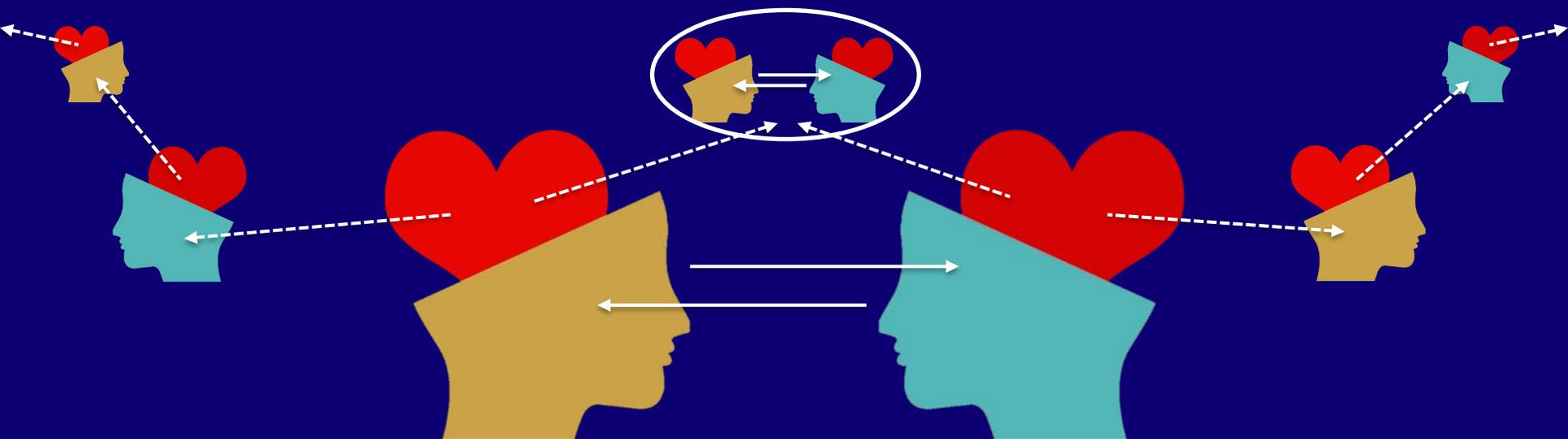
知的インタラクションを成り立たせるアーキテクチャ (モデル)

# 主体間のインタラクション



外部から見ただけではわからないことが起きている

# 主体間の相互的な認知

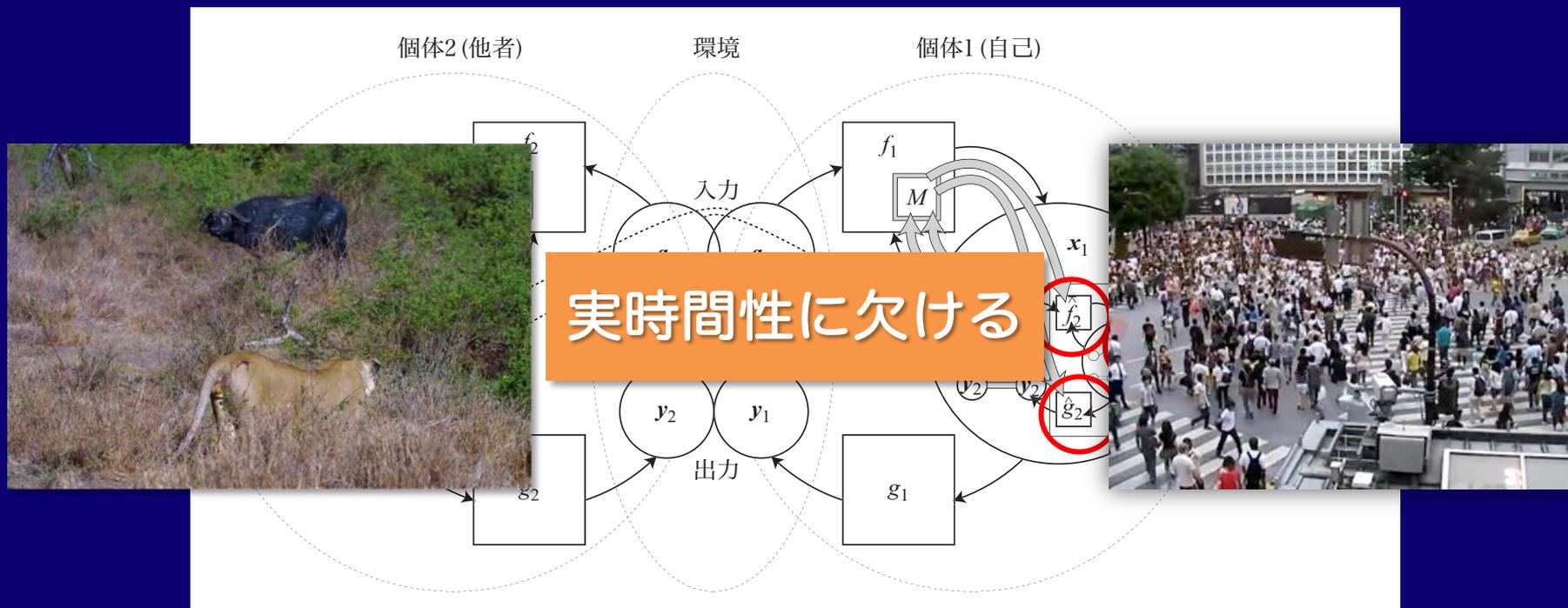


主体=エージェント

自分という主体→自分の中の他者  
他者という主体→他者の中の自分

主体の内部状態とその働き（⇒認知）を記述する必要がある

# Self-Observation Principle Makino & Aihara (2003)



ダイナミクス推定問題としてのコミュニケーションモデルを想定した際、他者に関するダイナミクスモデルのパラメータ（赤丸）のすべてを観察に基づいて推定するのは極めて複雑であり困難だろう。

# インタラクションの段階

コミュニケーションの階層性

メタ認知的コミュニケーション

言語的コミュニケーション

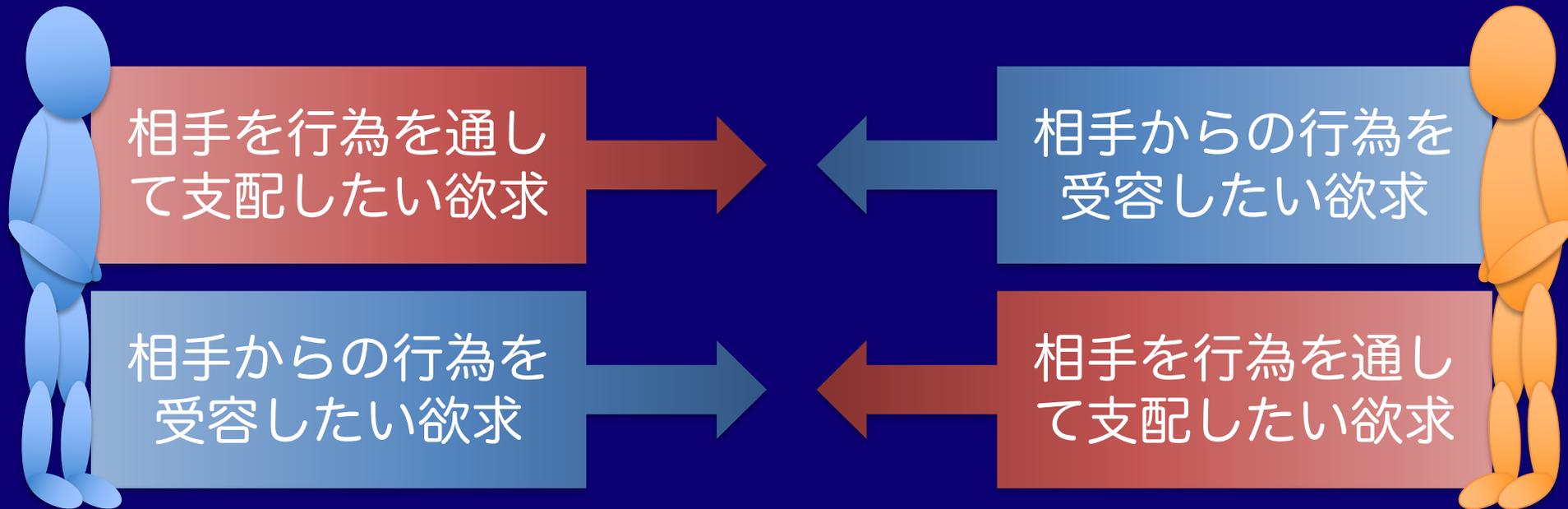
前言語的コミュニケーション

予示的なインタラクション

直接的なインタラクション

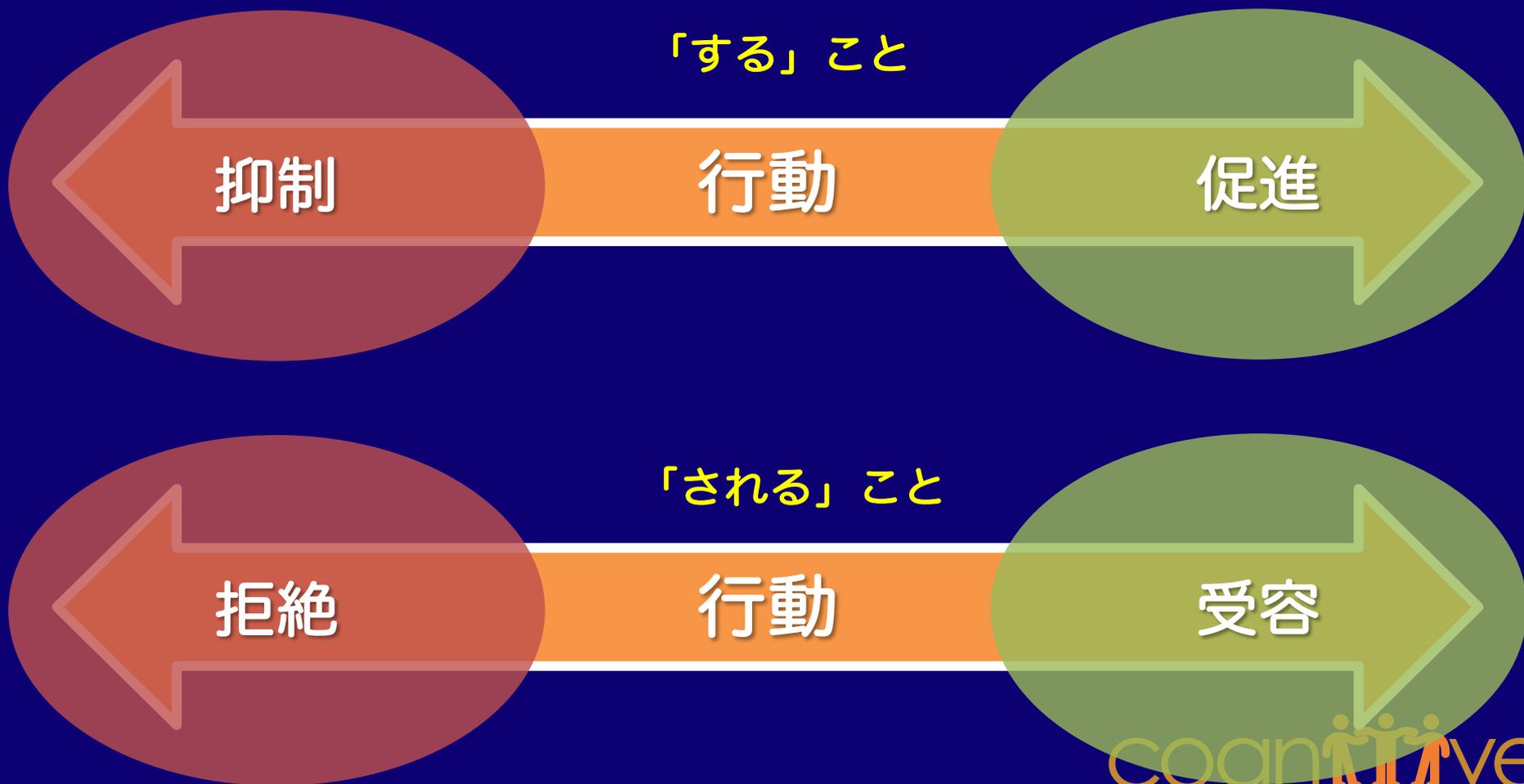
# インタラクションの成立過程

インタラクションは当事者間の2つの次元の欲求が相互にカップリングしなければ成立しない

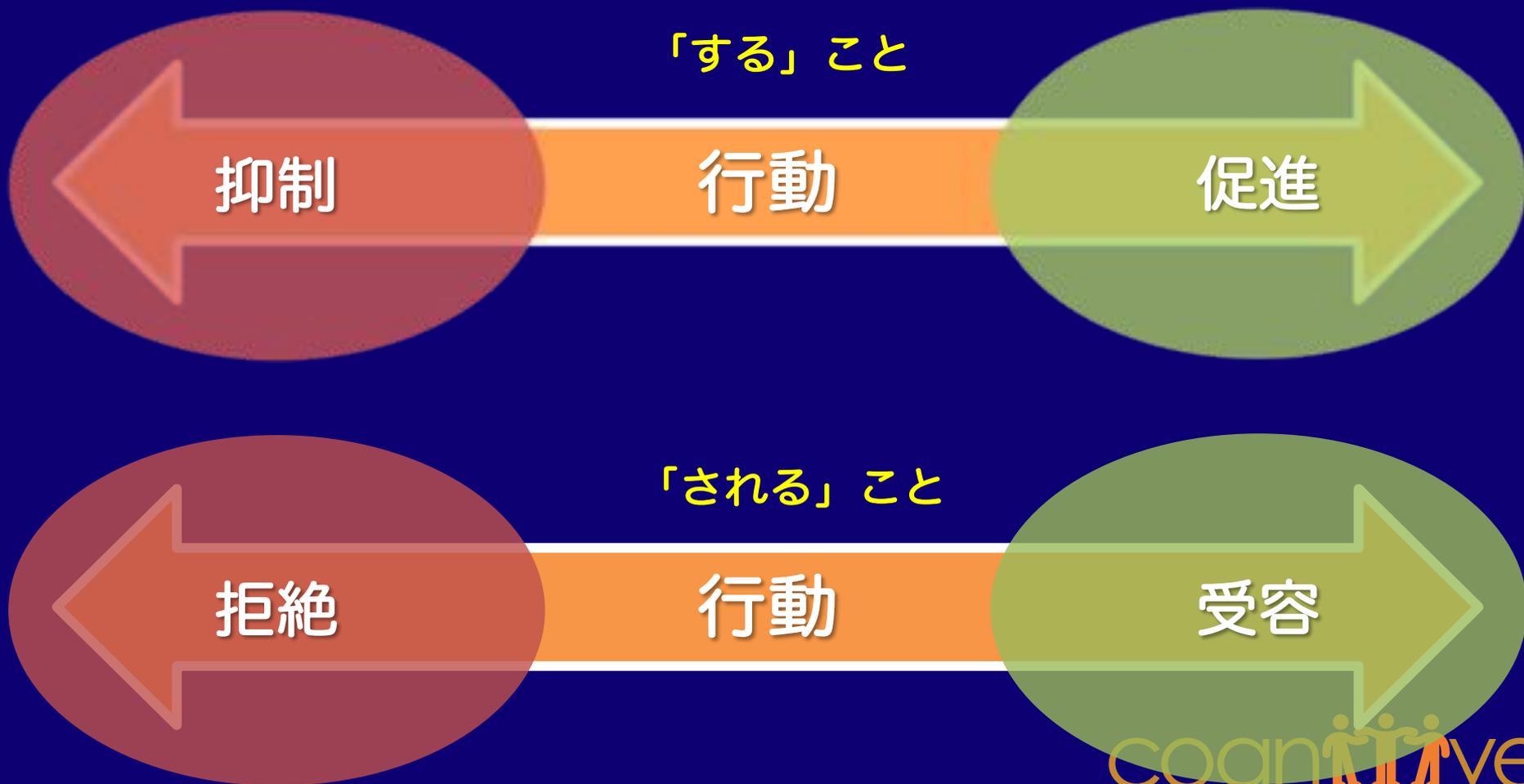


- 相手への行為の効果は相手を受容する大きさに依存する
- 互いに相手からの行為を受容しなければコミュニケーションは不成立

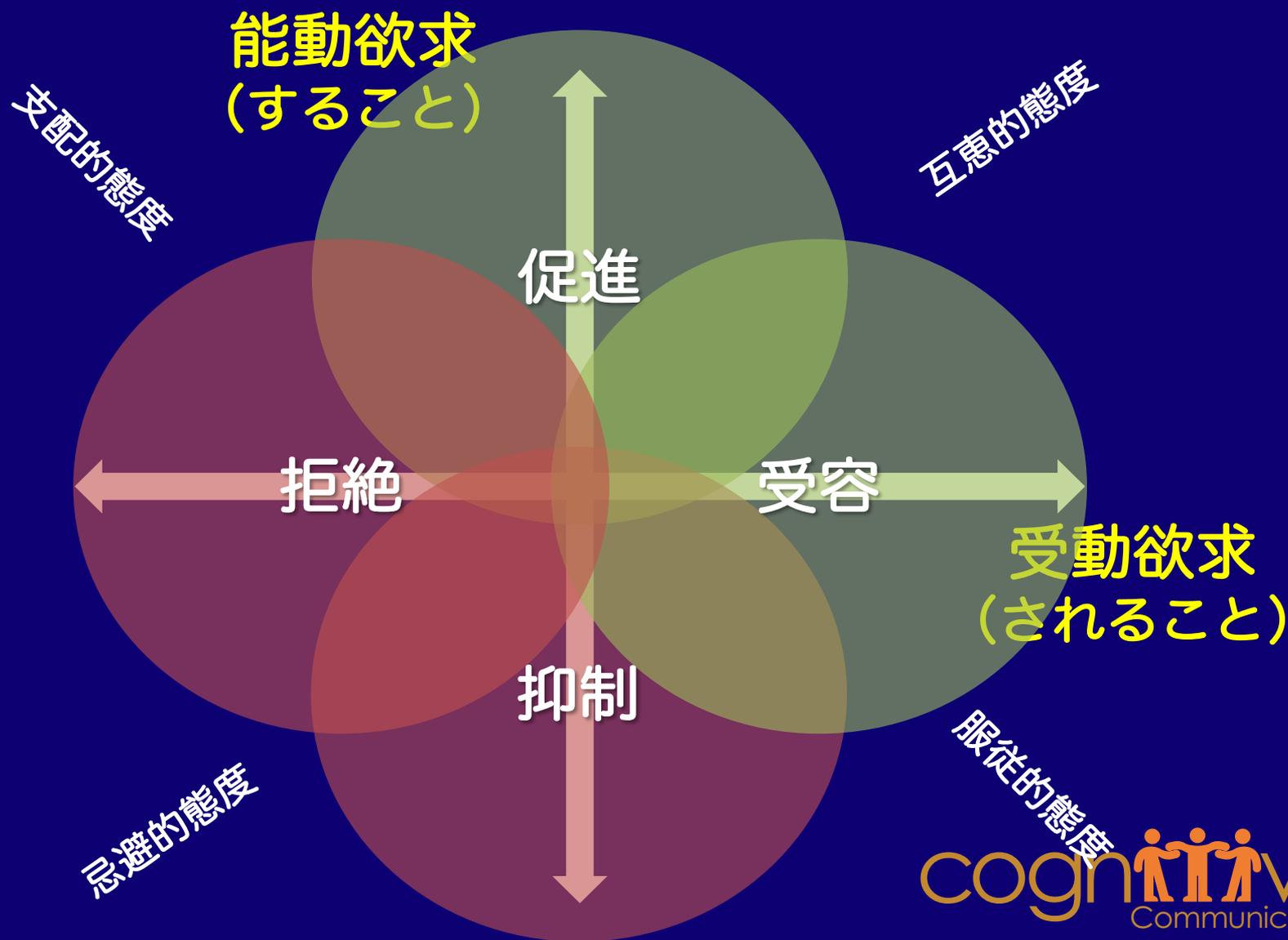
# 行動の構造



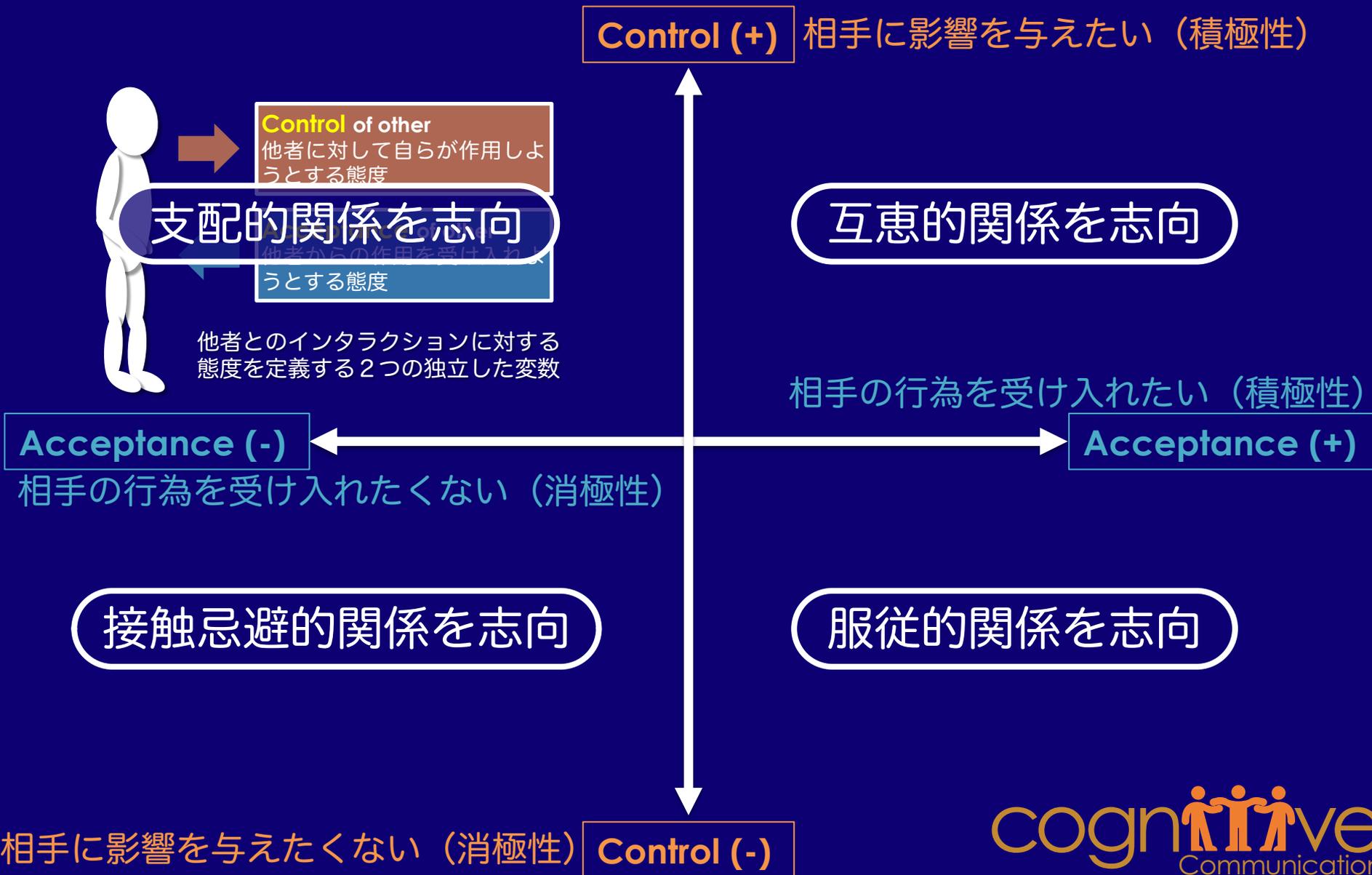
# 行動の構造



# コミュニケーション欲求の2次元モデル



# インタラクションに臨む個体の認知構造と状態



# 1 効用関数に基づくエージェントの 内部状態からの行動生成

インタラクション誘発モデルの構造  
内部表現

# モデルに基づく行動生成 (1)

## 相対位置と関与の度合い

- 対象との相対位置から関与の度合い  $\alpha$

$$\alpha = f(r, |\theta|)$$

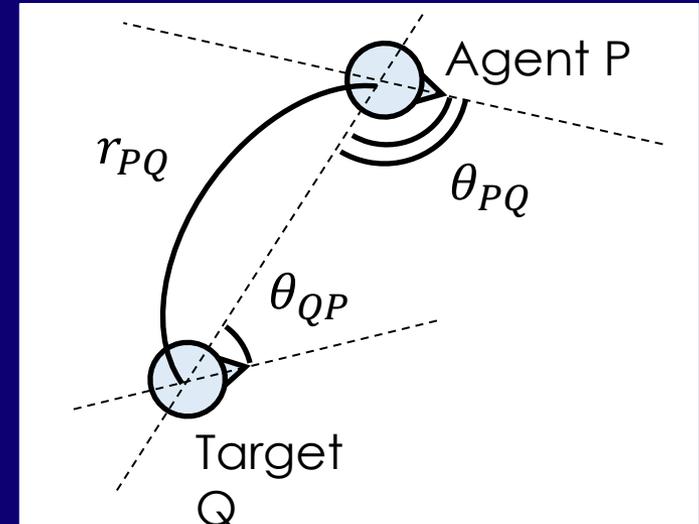
距離が近づく  
正面からの角度が小さくなる  
↓  
関与の度合いが大きくなる

- 自分から相手への関与の度合い  $\alpha_{PQ}$

$$\alpha_{PQ} = f(r_{PQ}, |\theta_{PQ}|)$$

- 相手から自分への関与の度合い  $\alpha_{QP}$

$$\alpha_{QP} = f(r_{PQ}, |\theta_{QP}|)$$



$r$ : 距離

$\theta$ : 相対角度

$f(\cdot)$ : 単調減少関数

$r_{PQ}$ : エージェントと対象の距離

$\theta_{PQ}$ : エージェントから見た相対角度

$\theta_{QP}$ : 対象から見た相対角度

# モデルに基づく行動生成 (2)

## 効用関数

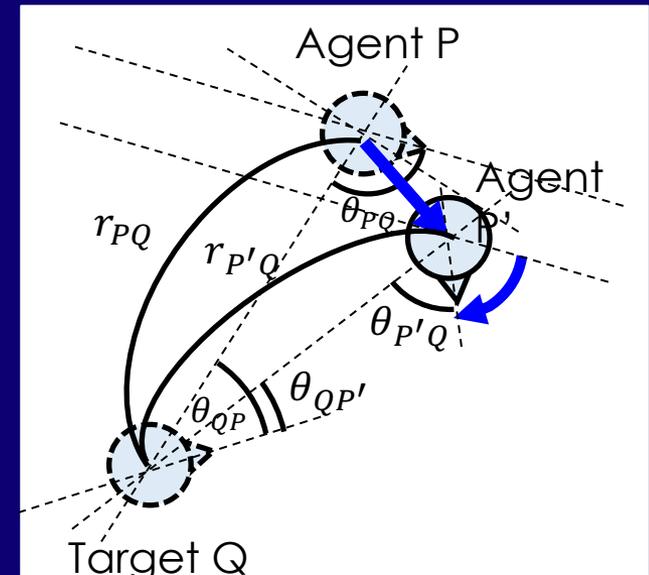
- 自身の内部状態と関与の度合いから効用値を求める

$$\begin{aligned} \bullet u(\cdot) &= c(z)\alpha_{PQ} + a(z)\alpha_{QP} \\ &= c(z)f(r_{PQ}, |\theta_{PQ}|) + a(z)f(r_{QP}, |\theta_{QP}|) \end{aligned}$$

- エージェントは接近・回避行動（相対位置の変化）により関与の度合いを変化させようとする

$$\bullet u(z, r_{PQ}, \theta_{PQ}, \theta_{QP}) \leq u(z, r_{P'Q}, \theta_{P'Q}, \theta_{QP'})$$

自身の内部状態，距離，相対角度に応じて効用値が**増加するように**行動する（次位置を決定する）。



$z$ : 内部状態

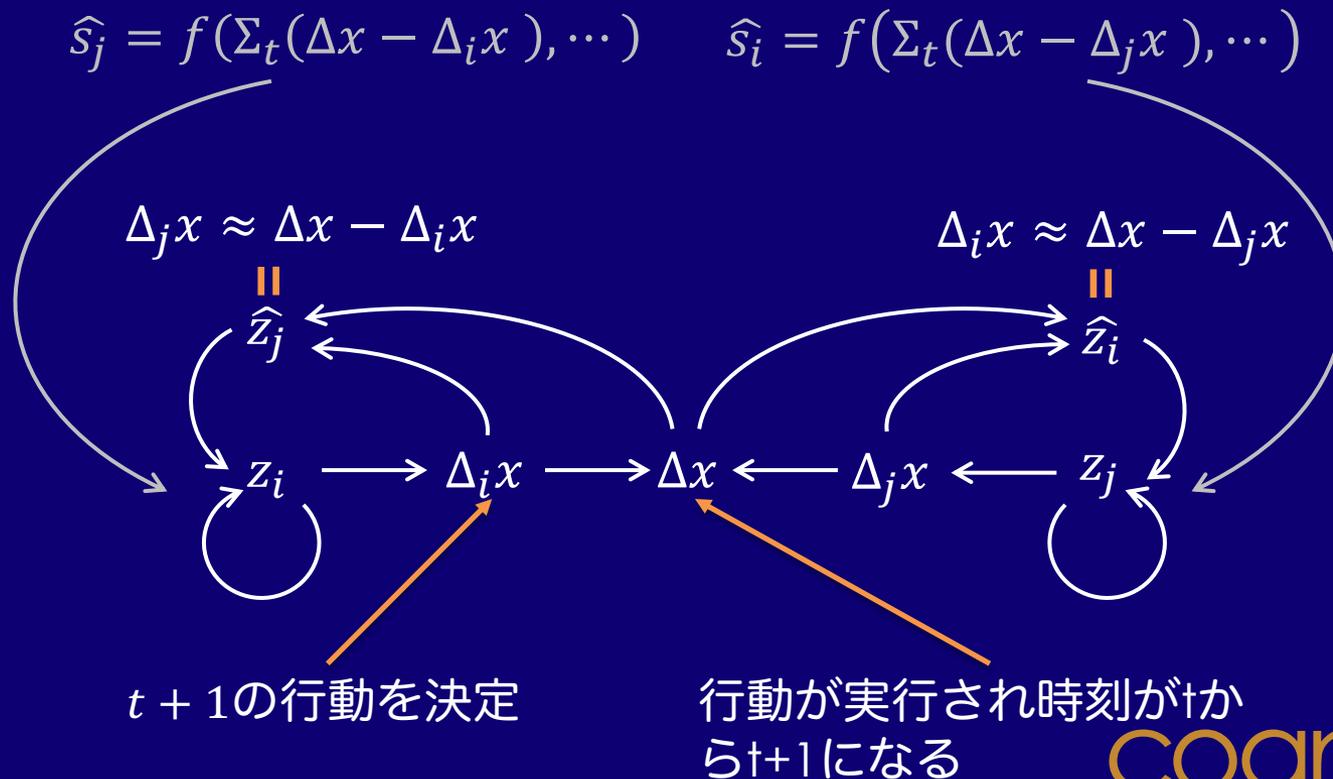
$c(z)$ : controlの値

$a(z)$ : acceptanceの値

$P'$ : エージェントの次の位置

# モデルの内部表現

エージェントの内部状態が行動により直接表出される段階のインタラクション



# 内部状態に基づく行為生成と予測

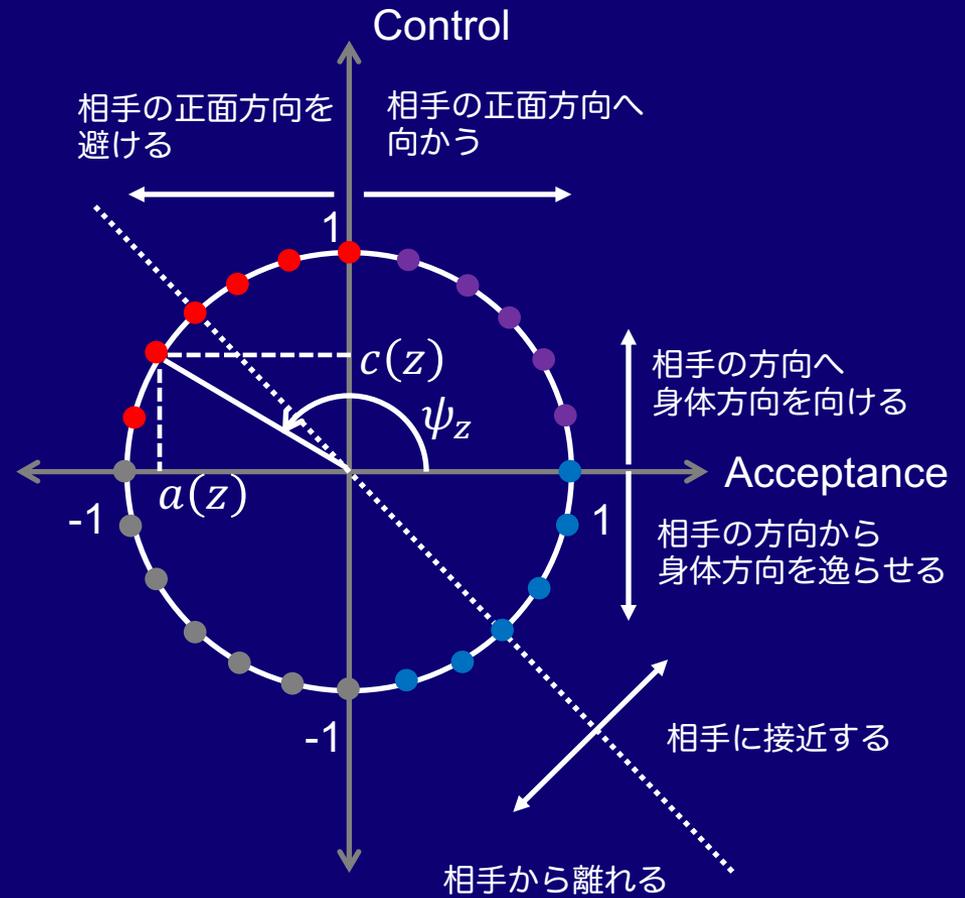
- 内部状態に基づき行為（ポジショニング）が自動的に生成される。
  - 距離要素
  - 角度要素
- 2つの主体それぞれの内部状態に基づき2者間の相対的な位置関係が変化する。
- 相手もモデルに従っているならば、「自分の行為による変化」に関する予測と「実際の状況の変化」のギャップから他者の内部状態が推定可能となる。
- ギャップに基づき自分自身の内部状態を調整する。

## 2 コンピュータシミュレーション

内部状態に基づく行動生成  
行動シミュレーション

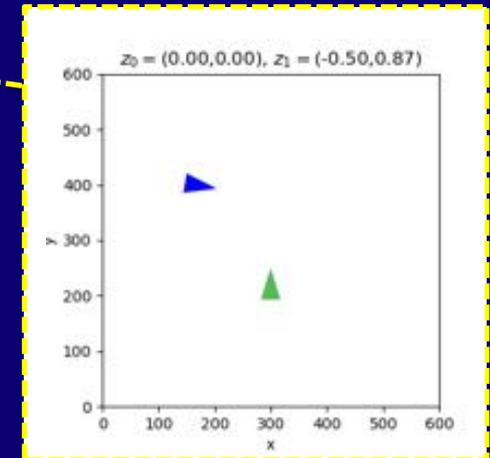
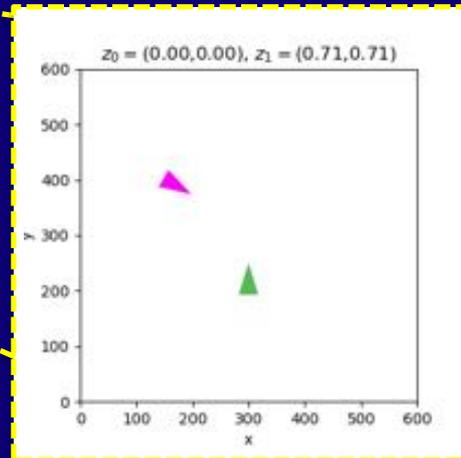
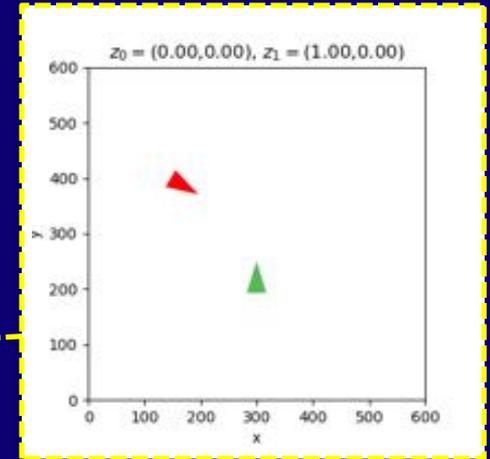
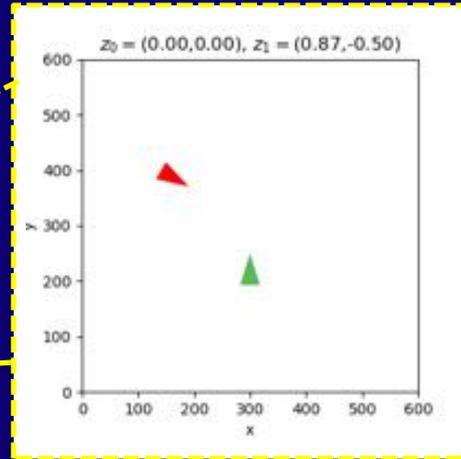
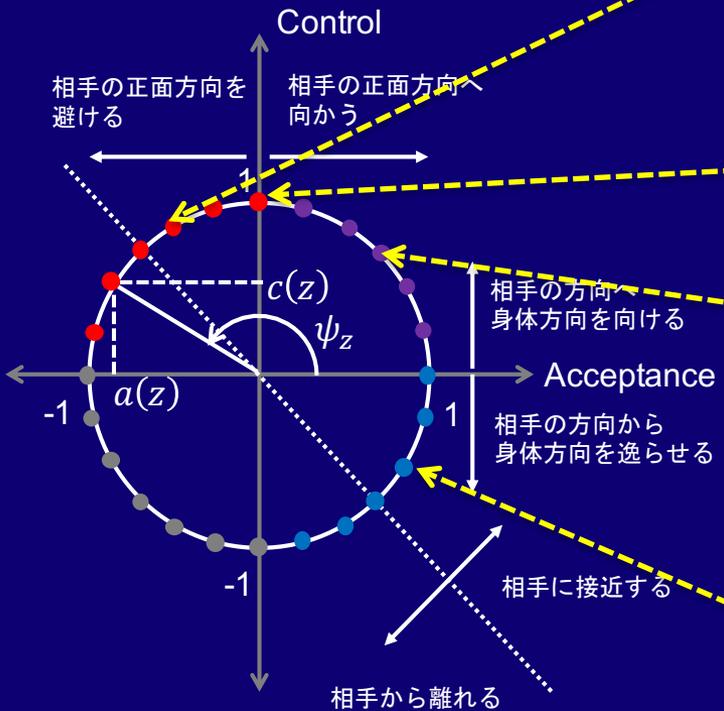
# シミュレーション

- シミュレーションを行うエージェントの内部状態  $\psi_z$
- 同一円状の24点とする.
- $\Psi_z = \{180 - 15n | n \in \mathbb{Z}, 1 \leq n \leq 24\}$
- ControlとAcceptanceの値は以下で得られる.
- $c(z) = \sin \psi_z$
- $a(z) = \cos \psi_z$



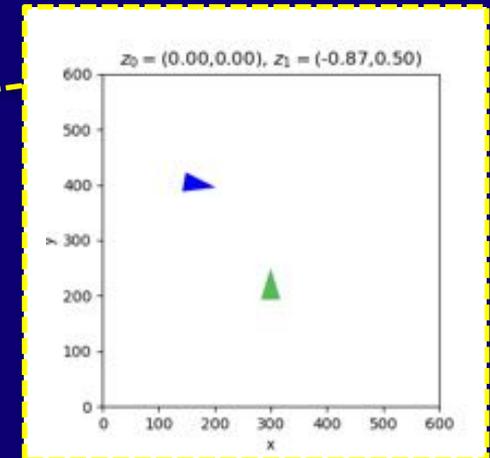
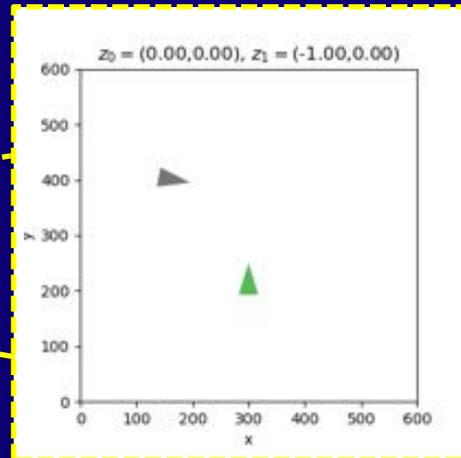
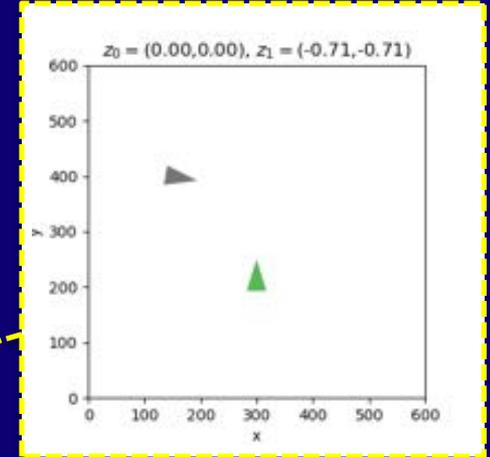
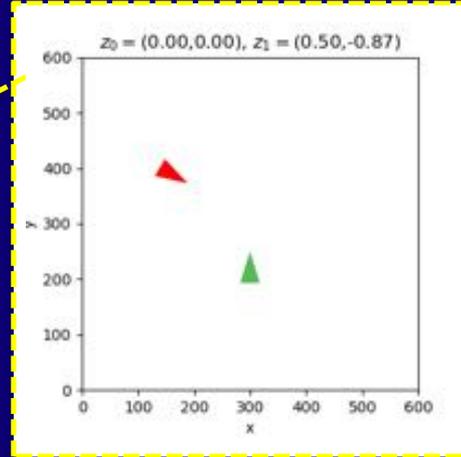
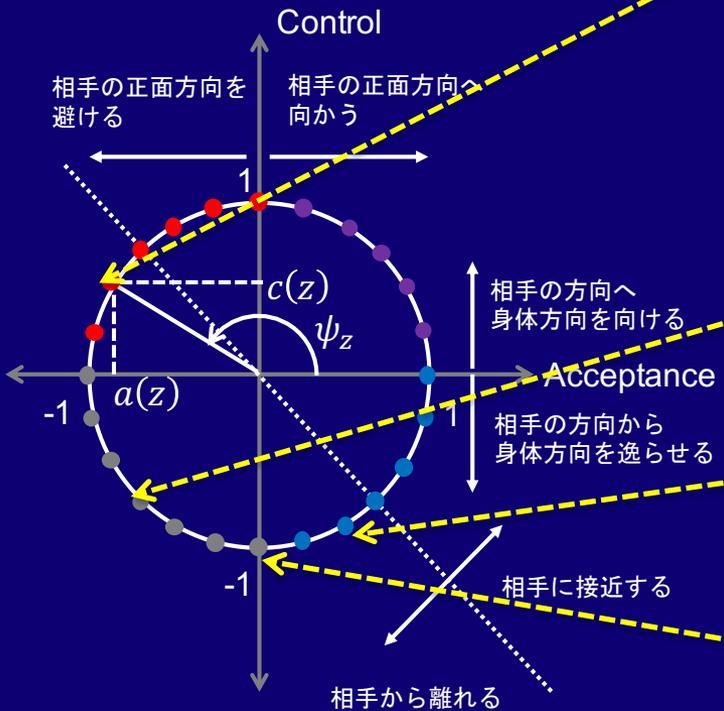
# シミュレーション

## 接近行動



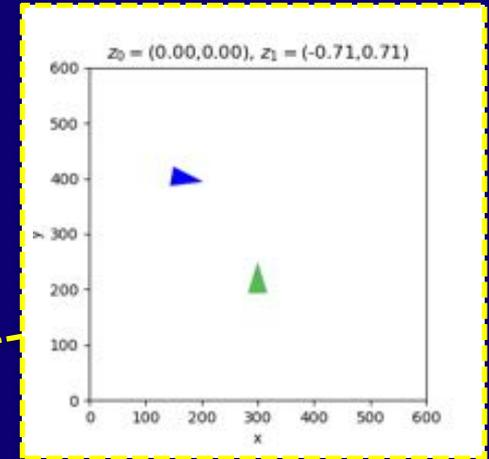
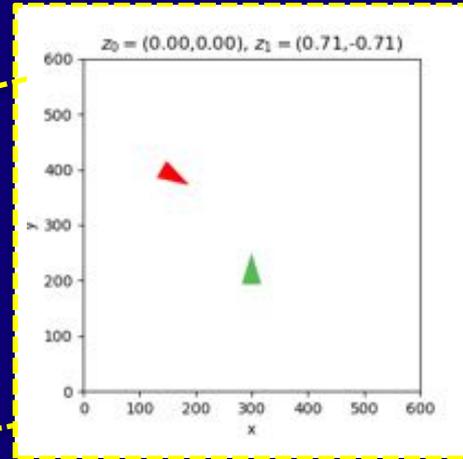
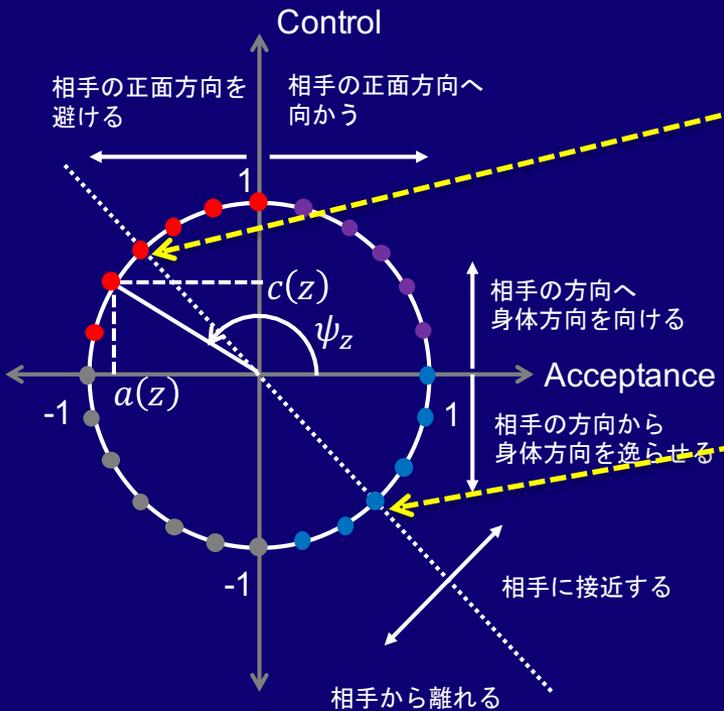
# シミュレーション

## 回避行動



# シミュレーション

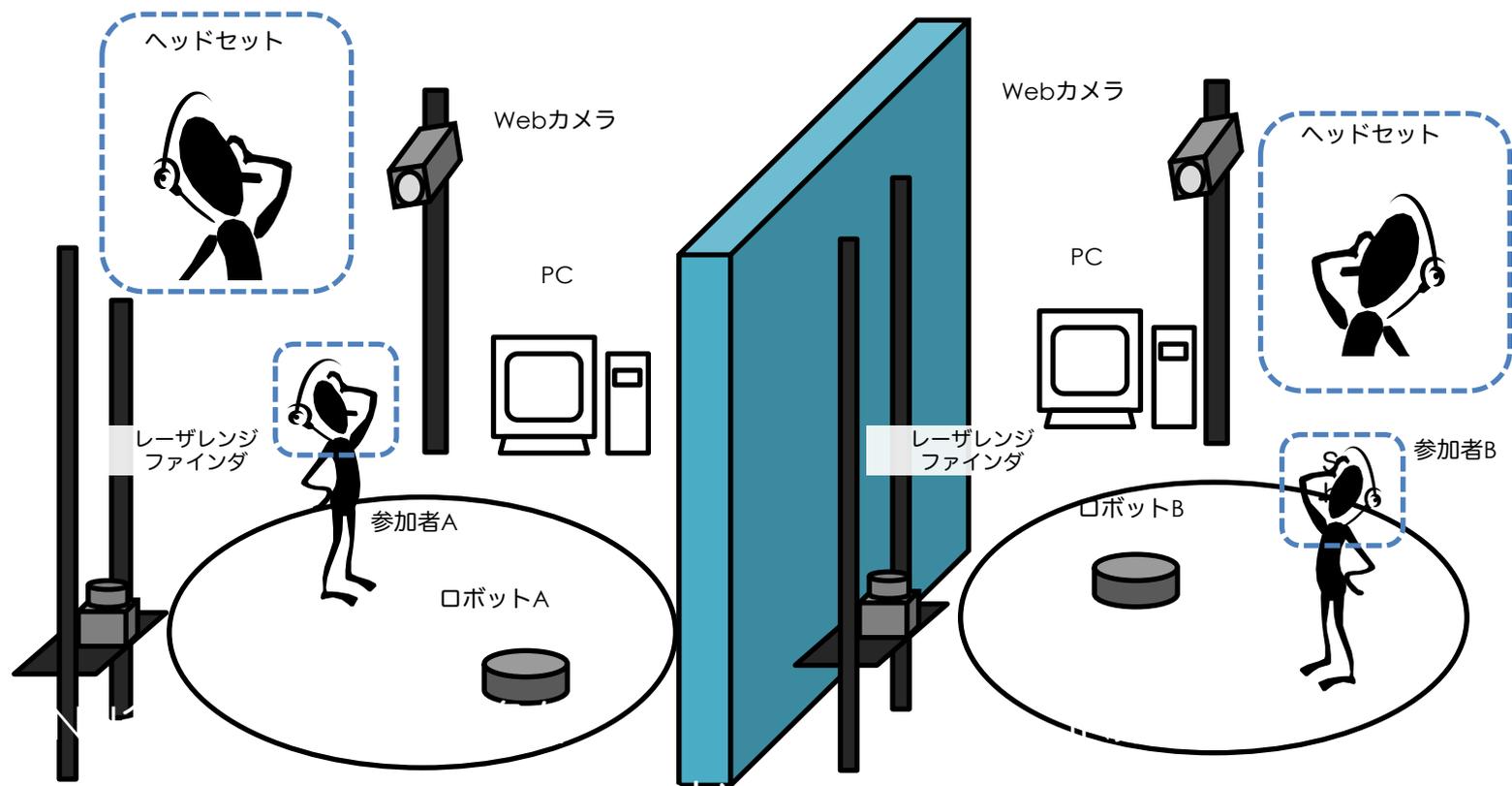
## 周回行動



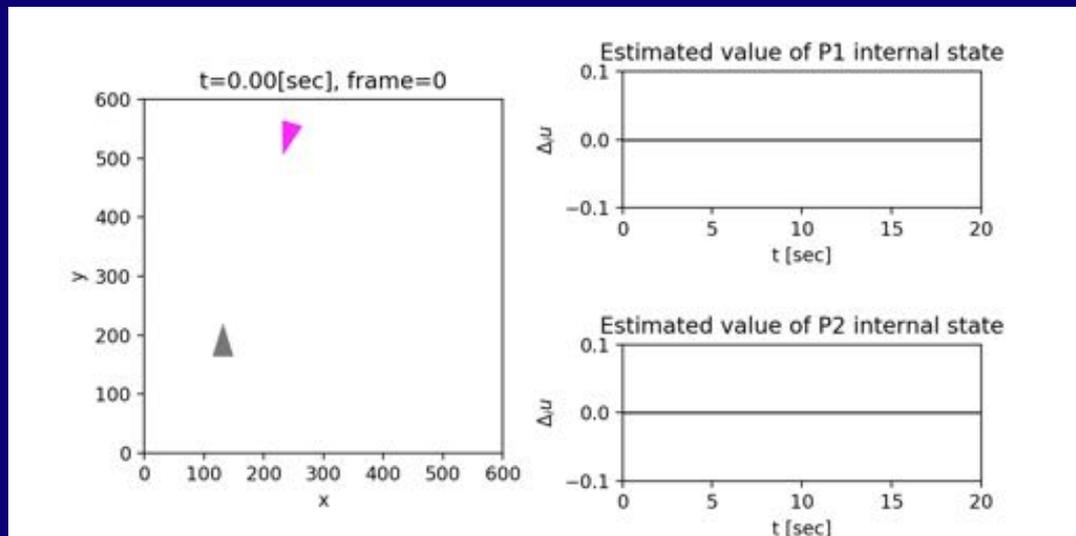
# 3 人-人インタラクションにおける モデルに基づいた人の内部状態の推定

効用関数に基づく内部状態と行動の対応  
行動からの内部状態の推定の可能性

# 人-人インタラクション実験



# モデルに基づく内部状態の推定



P1の内部状態推定値

— : Control

— : Acceptance

P2の内部状態推定値

— : Control

— : Acceptance

IN-NI条件の例



▲ : P1 (左側) の座標

▲ : P2 (右側) の座標

# 効用関数の定義

- 関与の度合い

$$\alpha = f(r, |\theta|)$$

$$= \frac{(r_{max} - r)(|\pi - \theta|)}{r_{max}\pi}$$

$r_{max}$ : 距離の最大値 (フィールドの直径)

- 効用関数

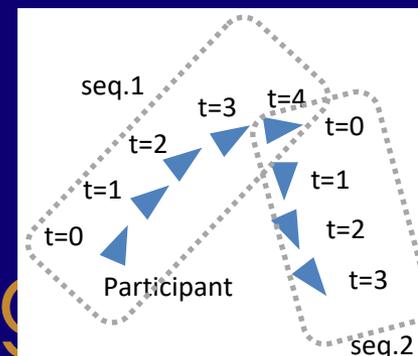
$$u(\cdot) = c(z) \frac{(r_{max} - r_{PQ})(|\pi - \theta_{PQ}|)}{r_{max}\pi} + a(z) \frac{(r_{max} - r_{QP})(|\pi - \theta_{QP}|)}{r_{max}\pi}$$

- シーケンスの区切り方

参加者が動いている部分を分析対象とする。

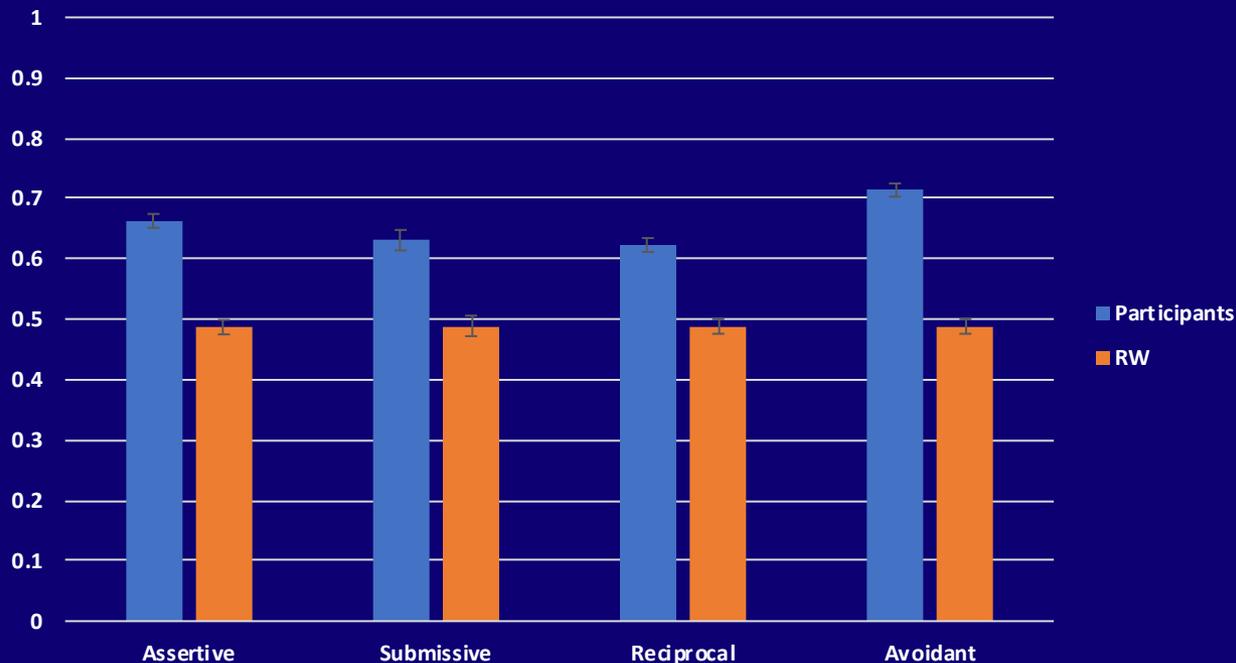
参加者の移動方向が急激に変わる部分でシーケンスを区切る (角度変化量  $> \pi/3$ ) .

この条件で0.5秒以上の長さとなるシーケンスを分析対象とする。



# 分析 1 の結果

分析 1 : 参加者が効用値を増加させた割合



参加者はモデルに従う行動をある程度示す。

# 分析2の結果

分析2：相手側の内部状態の推定値と発話に含まれる単語

Assertive state			
	頻度	残差	残差分析
動く	14	0.14	
追いかける	13	3.14	**
止まる	9	-0.126	
出る	8	3.21	**
感じ	6	2.17	*

Reciprocal state			
	頻度	残差	残差分析
動く	10	-0.404	
動き	8	1.73	+
止まる	8	0.204	
怖い	7	1.56	
近づく	6	0.982	
回る	6	2.40	*

Avoidant state			
	頻度	残差	残差分析
逃げる	12	3.25	**
動く	10	-0.404	
止まる	10	1.11	
動き	6	0.632	
追いかける	5	-0.205	
近づく	5	0.400	
速い	5	2.69	**

Submissive state			
	頻度	残差	残差分析
動く	7	0.872	
怖い	7	3.80	**

+ p<0.10, \* p<0.05, \*\* p<0.01

発話に含まれる単語の出現頻度は相手の行動から推定した内部状態により異なる。

# 分析3の結果

## 分析3：各条件における内部状態の推定値の頻度

推定頻度（状態のフレーム数/全フレーム数）

	Assertive	Submissive	Reciprocal	Avoidant
IN-UNIN	23.1%	13.8%	33.8%	29.2%
UNIN-IN	32.1%	7.72%	27.2%	33.0%
UNIN-UNIN	27.4%	15.4%	24.6%	32.7%

残差分析

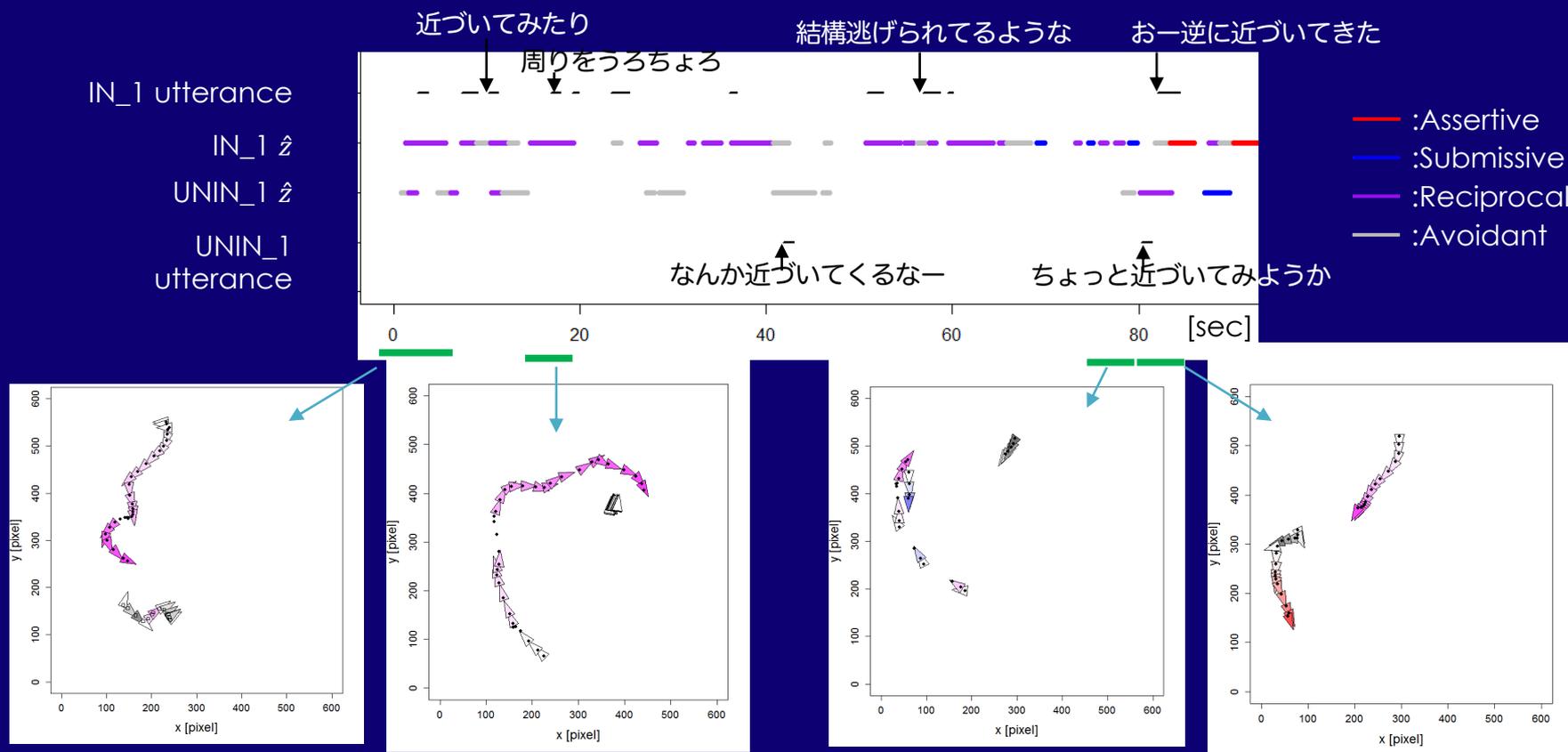
	Assertive	Submissive	Reciprocal	Avoidant
IN-UNIN	-12.1**	2.68**	17.2**	-6.95**
UNIN-IN	12.3**	-17.9**	-1.79+	2.97**
UNIN-UNIN	0.503	12.9**	-14.1**	3.79**

+ p<0.10, \* p<0.05, \*\* p<0.01

参加者の行動から推定した内部状態の頻度は教示（相手に関わろうとする）の有無により異なる。

# 分析4の結果

## 分析4：インタラクションの分析の例



インタラクション最中の人の行動（移動方向や身体方向の変化）から内部状態を推定し、内部状態の変化のパターンを分析。

# 他者との遭遇場面における行動のモデル化

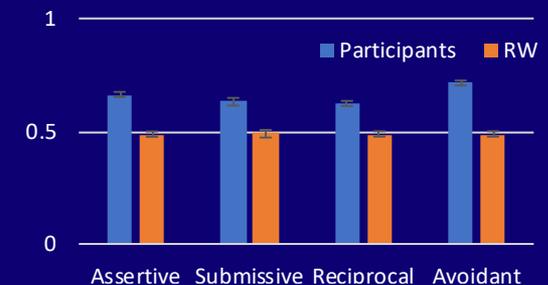
- モデルに基づく人—人インタラクションの分析

- モデルから効用値を計算
- 効用値を上昇させる行動を示した割合を比較
  - 参加者の割合 > ランダムウォークの割合
  - 参加者はモデルに従う動作を示した。

- 参加者の発話データと相手の行動から推定した内部状態の間に関係があるかを検証

- 発話に含まれる単語の出現頻度は相手の行動から推定した内部状態により異なる。

- モデルを用いた内部状態の推定に妥当性があることが示唆された。



Assertive state			
	頻度	残差	残差分析
動く	14	0.14	
追いかける	13	3.14	**
止まる	9	-0.126	
出る	8	3.21	**
感じ	6	2.17	*

Avoidant state			
	頻度	残差	残差分析
逃げる	12	3.25	**
動く	10	-0.404	
止まる	10	1.11	
動き	6	0.632	
追いかける	5	-0.205	
近づく	5	0.400	
速い	5	2.69	**

Reciprocal state			
	頻度	残差	残差分析
動く	10	-0.404	
動き	8	1.73	+
止まる	8	0.204	
怖い	7	1.56	
近づく	6	0.982	
回る	6	2.40	*

Submissive state			
	頻度	残差	残差分析
動く	7	0.872	
怖い	7	3.80	**

+ p<0.10, \* p<0.05, \*\* p<0.01

モデルを用いることで、インタラクション最中の人の行動（移動方向や身体方向の変化）から内部状態を推定し、内部状態の変化のパターンを分析できる。

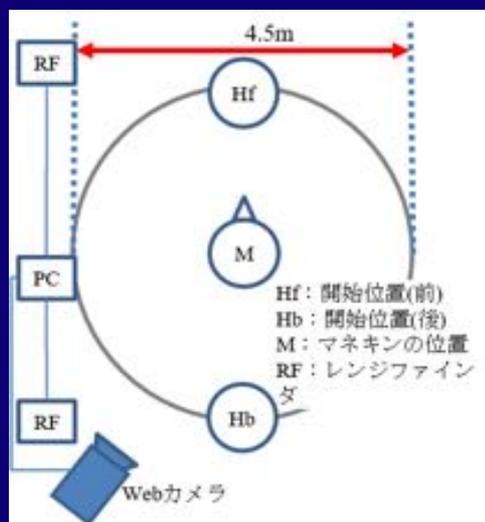
## 4 応用実験と展望

他者への配慮の誘発  
狭い道でのすれ違い

# 他者への配慮の誘発に関する実験

## 対象の内部状態を想定した話かけ課題

対象（マネキン，他者と想定）に道を尋ねるために話しかける課題。対象の受容度（他のタスクに対する集中度合い）を想定させ、正面または背面からの接近行動を観察する。



# 実験

- 実験条件

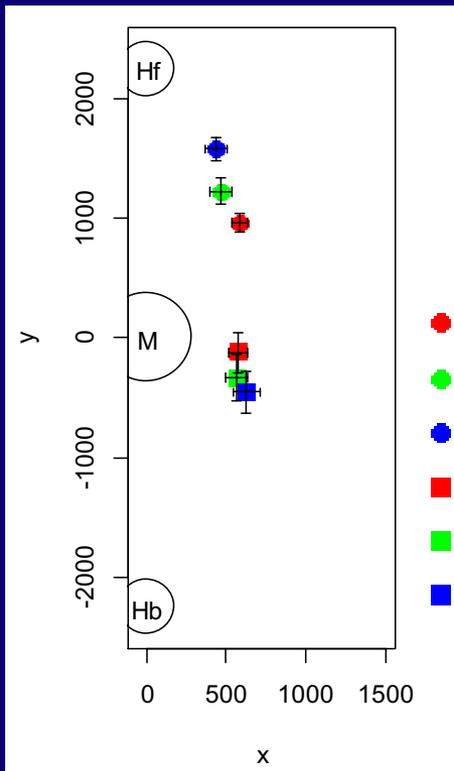
		開始位置	
		正面	背面
教示される 対象の受容度	低（集中して本を読んでいる）	L-F	L-B
	中（本を読んでいる）	M-F	M-B
	高（本を読み終えている）	H-F	H-B

- 実験参加者

- 15名（大学生, 18～22歳）
- 参加者内計画

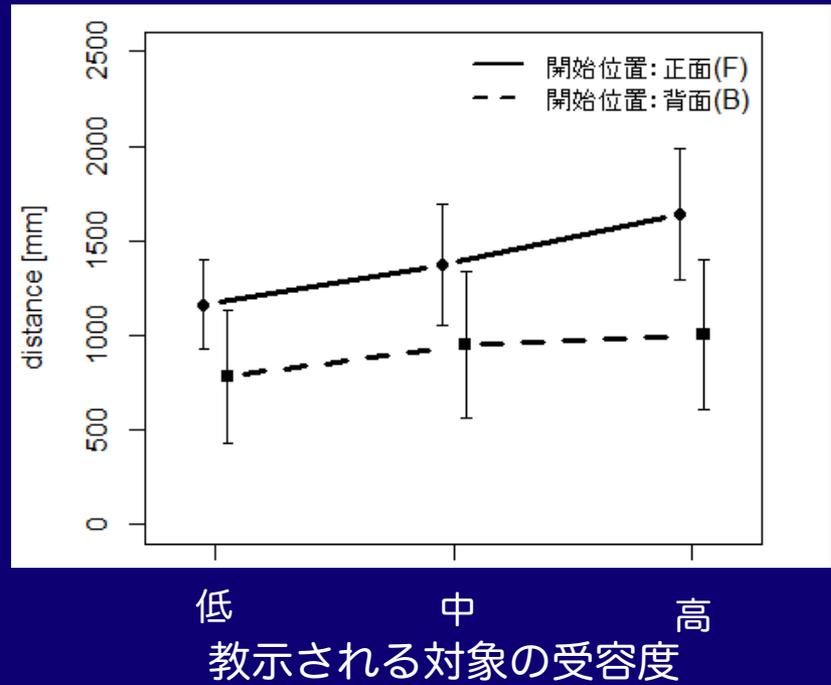
# 実験結果

- 話しかけ開始位置  
座標 (x y) の平均



(エラーバーは標準誤差)

### 参加者と対象間の距離



(エラーバーは標準偏差)

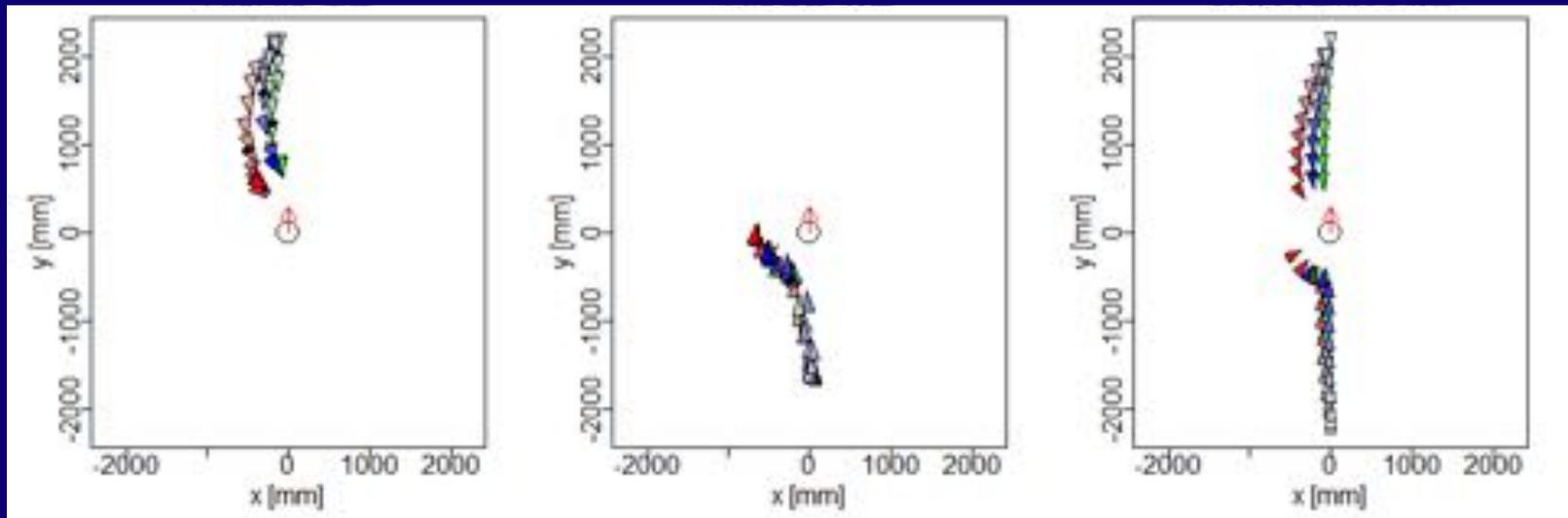
# 実験結果 (1-1)

## 参加者による接近行動の軌道の例

開始位置：正面 (F)

開始位置：背面 (B)

モデルから生成した軌道



▲ 受容度：高 (H)    ▲ 受容度：中 (M)    ▲ 受容度：低 (L)

$$\hat{z}^{HF} = (0.50, -0.22)$$

$$\hat{z}^{HF} = (0.00, -0.50)$$

$$\hat{z}^{MF} = (0.50, -0.06)$$

$$\hat{z}^{MF} = (0.00, -0.50)$$

$$\hat{z}^{LF} = (0.50, -0.13)$$

$$\hat{z}^{LF} = (0.00, -0.50)$$

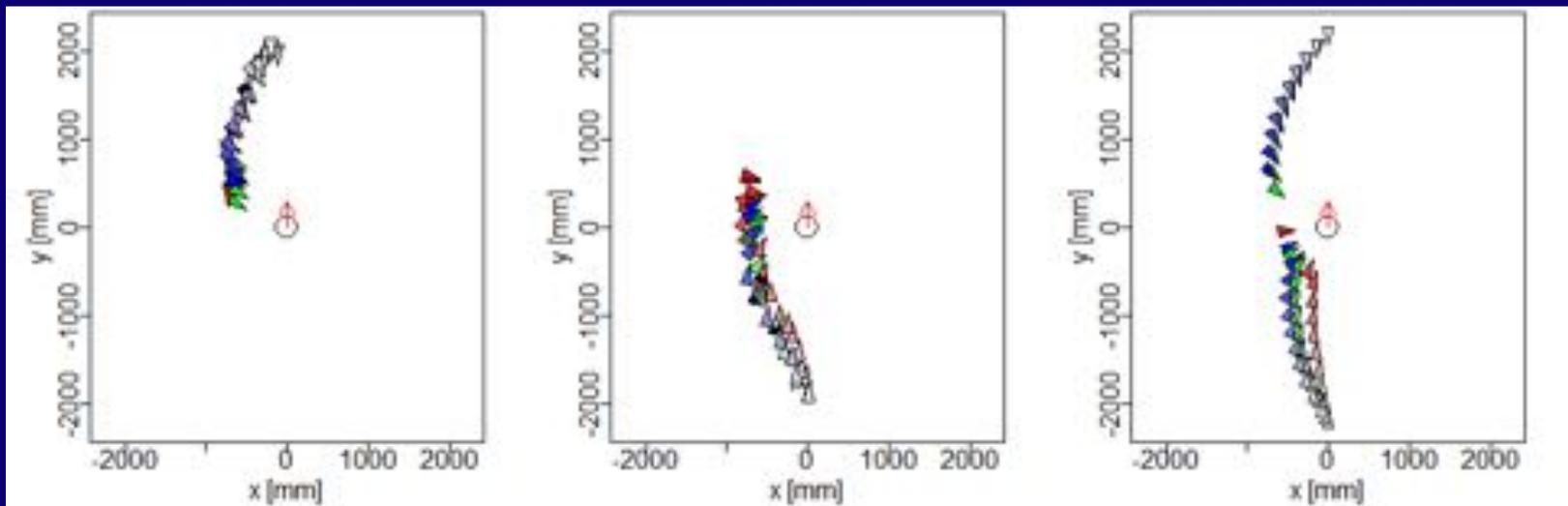
# 実験結果 (1-2)

## 参加者による接近行動の軌道の例

開始位置：正面 (F)

開始位置：背面 (B)

モデルから生成した軌道



▲ 受容度：高 (H)    ▲ 受容度：中 (M)    ▲ 受容度：低 (L)

$$\hat{z}^{HF} = (0.50, -0.33)$$

$$\hat{z}^{HF} = (0.50, 0.07)$$

$$\hat{z}^{MF} = (0.50, -0.33)$$

$$\hat{z}^{MF} = (0.50, 0.19)$$

$$\hat{z}^{LF} = (0.50, -0.35)$$

$$\hat{z}^{LF} = (0.50, 0.26)$$

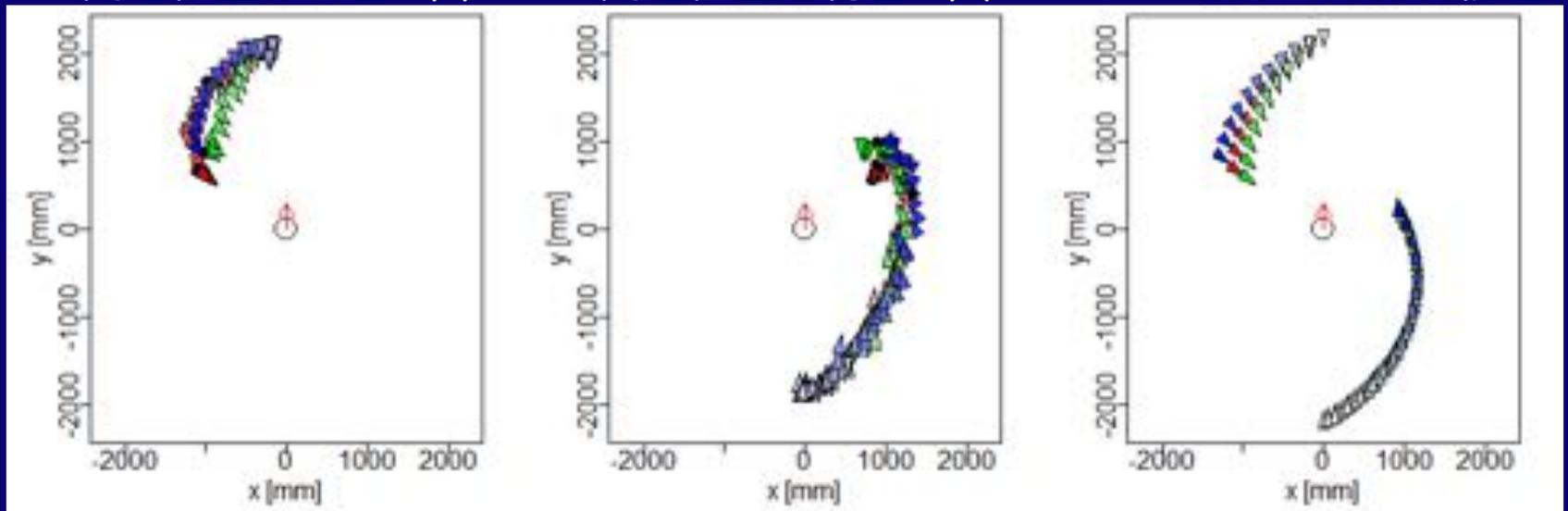
# 実験結果 (1-3)

## 参加者による接近行動の軌道の例

開始位置：正面 (F)

開始位置：背面 (B)

モデルから生成した軌道



▲ 受容度：高 (H)    ▲ 受容度：中 (M)    ▲ 受容度：低 (L)

$$\hat{z}^{HF} = (0.50, -0.50)$$

$$\hat{z}^{HF} = (0.00, 0.50)$$

$$\hat{z}^{MF} = (0.50, -0.44)$$

$$\hat{z}^{MF} = (0.00, 0.50)$$

$$\hat{z}^{LF} = (0.50, -0.58)$$

$$\hat{z}^{LF} = (0.00, 0.50)$$

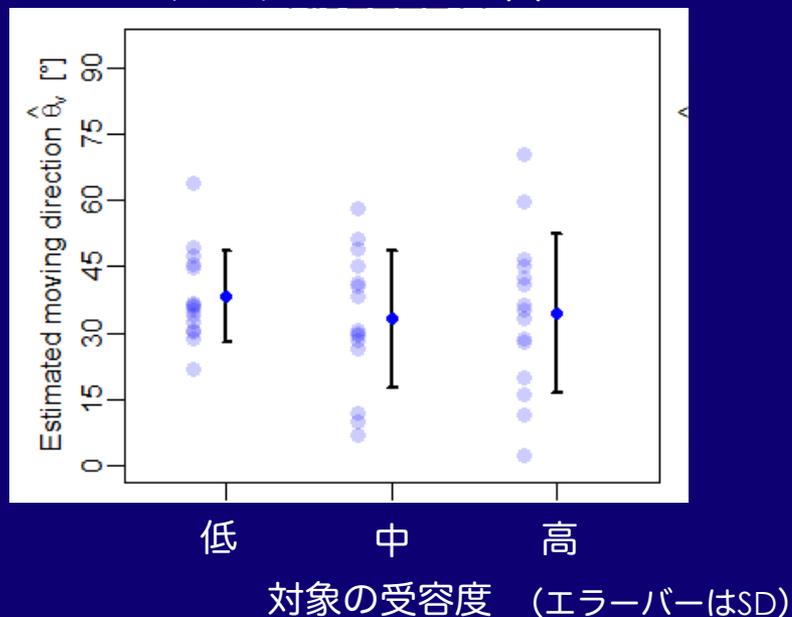


# 実験結果 (2)

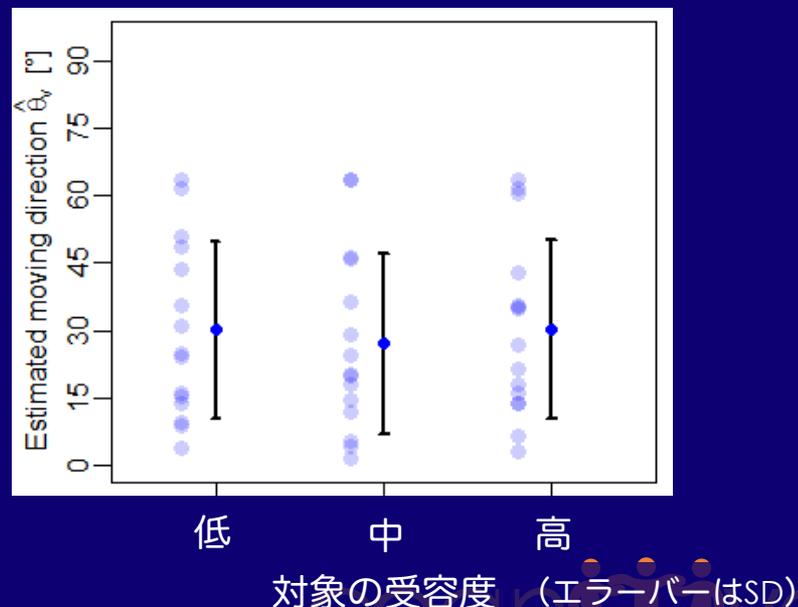
## 接近行動の軌道から提案モデルにおける内部状態を推定

- $c(z) > 0$ とし、各参加者の位置座標( $x, y$ )との距離の合計値が最小となる軌道を生成する内部状態を参加者の内部状態の推定値とする。
- 推定された内部状態から、移動ベクトルの角度を求め比較。

開始位置：正面 (F)



開始位置：背面 (B)

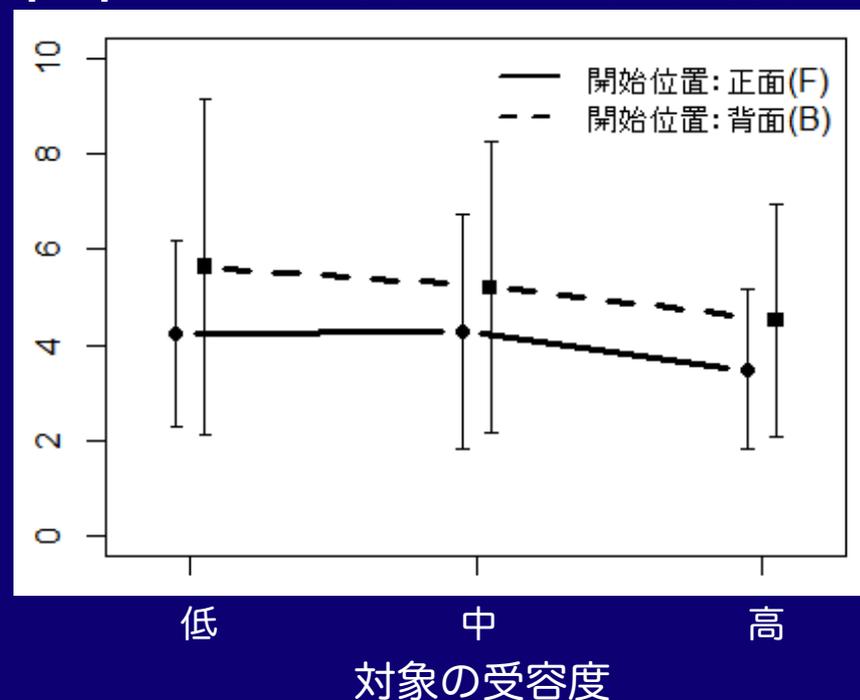




# 実験結果 (3)

- 移動ベクトルの角度に対象の受容度による差は顕著にはみられなかった。
- 一方で、話しかけ開始時の対象との距離については、対象の受容度による差がみられた。  
⇒話しかけ開始までの時間による差
- 相手の内部状態に応じて接近行動を変化させているのではなく、**話しかけるタイミング**を調整している可能性が高い。

[sec] 話しかけ開始までの経過時間



# 結果のまとめ

正面を開始位置とする場合に回り込みながら接近する理由

- a. 相手の関与の度合いを上げない ⇒ 相手への配慮  
直線的に接近する場合, 「(相手から) 関与されたい」というメッセージが接近行動によって強く表出される.
- b. 相手の反応により表出される内部状態を明確化  
正面から直線的に進む場合, 相手が接近に気づいたタイミングや相手に関与するつもりがあるかが不明確になる.
- c. 相手の周辺視野を利用することで気づかれやすくする.

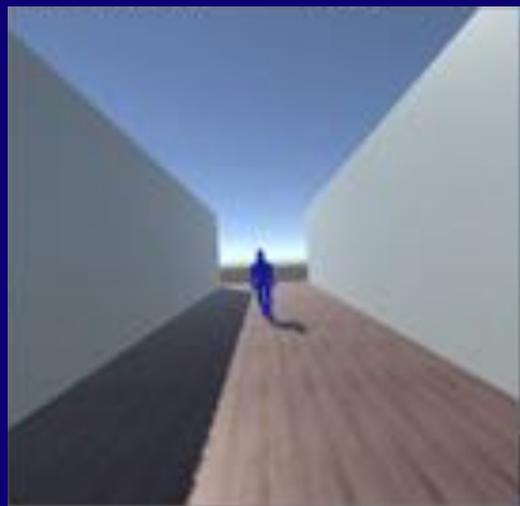
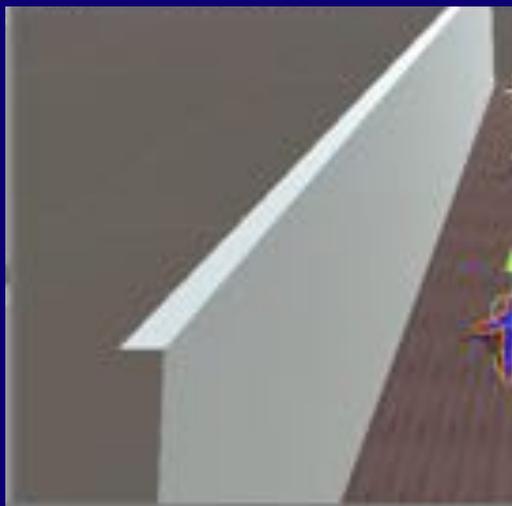
相手への配慮が必要ない状況や開始位置の影響を検討する必要がある.

# 狭い道でのすれ違い行動の計測



仮想空間内のエージェントの内部状態に基づいたすれ違い行動の生成

- 人の行動からその内部状態を推定する
- どのようにエージェントの行動が認知されるか



次世代の交通システムへの応用

# 認知，行為，インタラクション

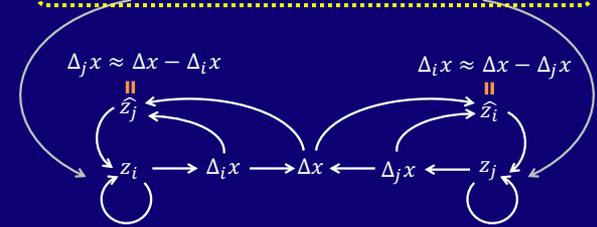
主体間のインタラクションをデザイン・予測するためには，個体の内部モデル（認知モデル）による理解が有用.

インタラクションが開始する過程（相互的な他者認知）を2次元の志向強度とその効用関数によってシミュレートし，実験で検証.

モデルに基づくインタラクション解析を通して，空間・時間的構造だけでなく，周囲への注意 (attention) や社会的構造の理解にも適用・応用可能.

$$\hat{s}_j = f(\Sigma_t(\Delta x - \Delta_i x), \dots) \quad \hat{s}_i = f(\Sigma_t(\Delta x - \Delta_j x), \dots)$$

# 今後の展望



- 任意の行為を相手から引き出すための戦術的インタラクションのための、モデルの拡張と検証。

- 3人称視点（メタ視点）

接客行動，監視と見守りとか

- 欺瞞的・戦術的行動

- モデルの適用領域の検討

- 注意と行動の促進・抑制

- 群衆のすれ違い，自動運転車と歩行者

- 缶蹴り遊び

牧羊犬と羊とか

- 動物の振る舞い など



# ナイーブな欲求に基づく インタラクシヨンの始まりとデザイン

竹内勇剛  
(静岡大学)

2019年12月6日

第28回 全脳アーキテクチャ勉強会