

講演9 基調講演 **「移動知から発達知へ」**

東京大学 人工物工学研究センター 教授

浅 間 一

第10回科学技術交流フォーラム
「発達知」
 ～先端科学技術と人間発達研究～

移動知から発達知へ

東京大学 人工物工学研究センター 教授

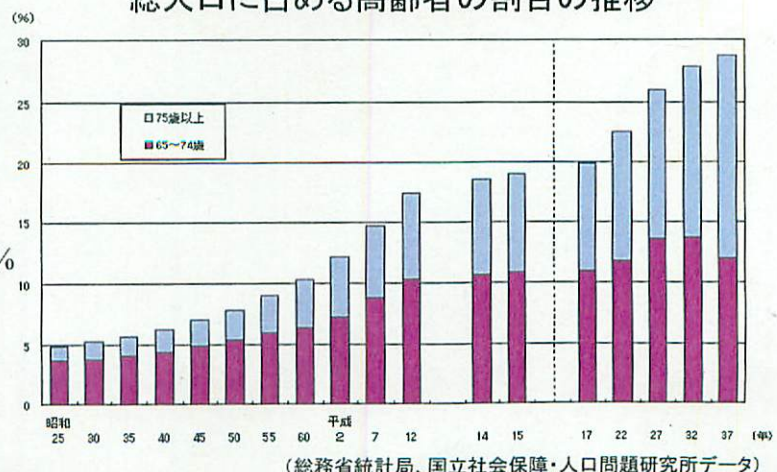
浅間 一

背景



- 少子高齢化がもたらすもの
 - 福祉・介護や高齢者を対象とするサービス
 - バリアフリー, ユニバーサル・デザイン, 老年学, QoL
 - 労働力不足, 若年層への負担の増加

総人口に占める高齢者の割合の推移

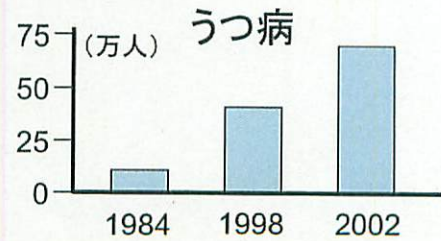


(H17.11.1現在)
 65歳以上人口 2567万人、20.1%
 H27('15) 3277万人、26%

背景





- 若年層の心の問題
 - 閉じこもり・うつ病などの社会適応障害の増加
 - 発達障害
 - 社会環境・人工環境の影響
 - 物理的要因(環境問題など)
 - 精神的要因(社会環境の変化)



QoL, ADLの低下(幸せな生活が営めない)
国の生産力の低下

発達障害をはじめとする社会適応障害が
どのようなメカニズムで発生するのは不明

 Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo



文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究(領域番号454)
移動知

| JAPANESE | ENGLISH |

- ホーム
- 移動知とは
 - 本領域の概要
 - アプローチ
 - 期待される成果
- シンポジウム・OS・チュートリアル等のご案内
- 研究組織
 - 総括班
 - A班(環境適応)
 - B班(身体適応)
 - C班(社会適応)
 - D班(共通原理)
 - メンバーリスト
- 活動
 - 活動実績
 - 研究成果
- 求人・公募
- リンク
- 内部連絡

文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究(領域番号454)

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現

- 移動知の構成論的理解 -


Emergence of Adaptive Motor Function through
Interaction among the Body, Brain and Environment:
A Constructive Approach to the Understanding of Mobiligence




ポスドク研究員募集中: 東京工業大学伊藤宏司研究室[求人・公募]

ポスドク研究員募集中: 東京工業大学倉林研究室[求人・公募]

2006年2月16日、ホームページをリニューアルしました

 | サイトマップ | お問い合わせ |

適応的行動

一環境に応じて適切に行動する知的能力



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

6

本領域の目指すもの



移動知

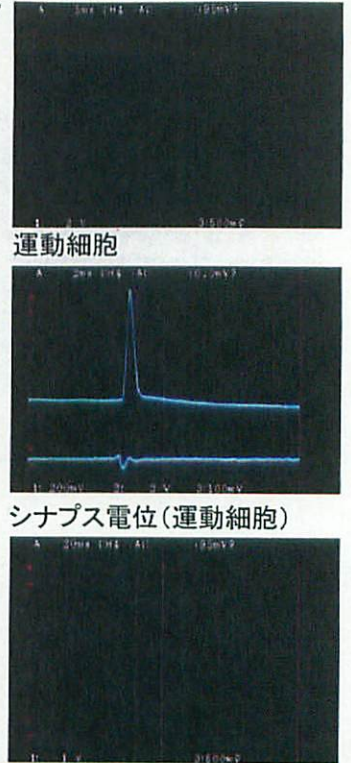
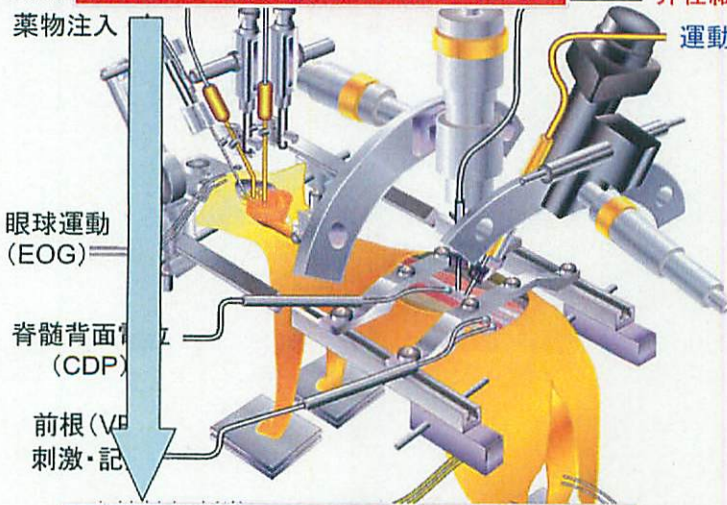


生物学の分析的アプローチの限界

介在細胞

7

刺激・**固定した状態での動物実験** (橋網) 薬物注入 感覚線維 介在細胞 運動細胞



静止した状態での脳単体の機能

Carbacnoi (1.6-4.0 $\mu\text{g}/0.20\sim0.25 \mu\text{l}$)
Serotonin (4.0-12.0 $\mu\text{g}/0.25\sim0.5 \mu\text{l}$)

ヒラメ筋 筋電図 (EMG)

動いている状態での身体・脳・環境の相互作用は不明

本領域のアプローチ

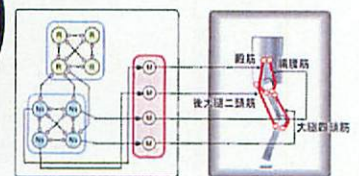
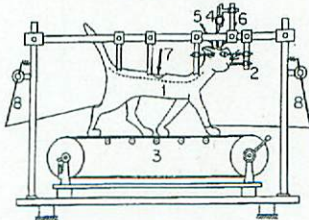
8

生物学

工学

神経生理学などの
知見・仮説

動的モデリング
メカトロニクス技術



生体システムモデル

新たな仮説

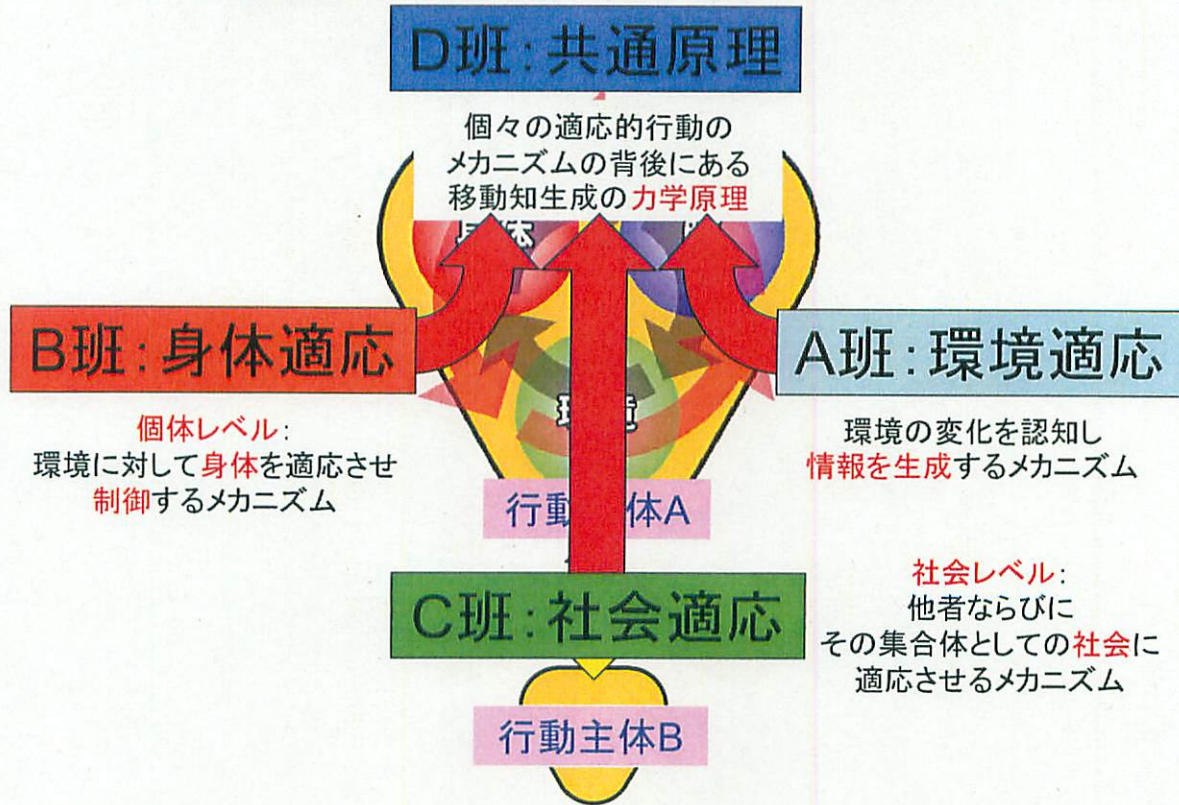
適応的システムの
設計論

生工融合による構成論的アプローチ

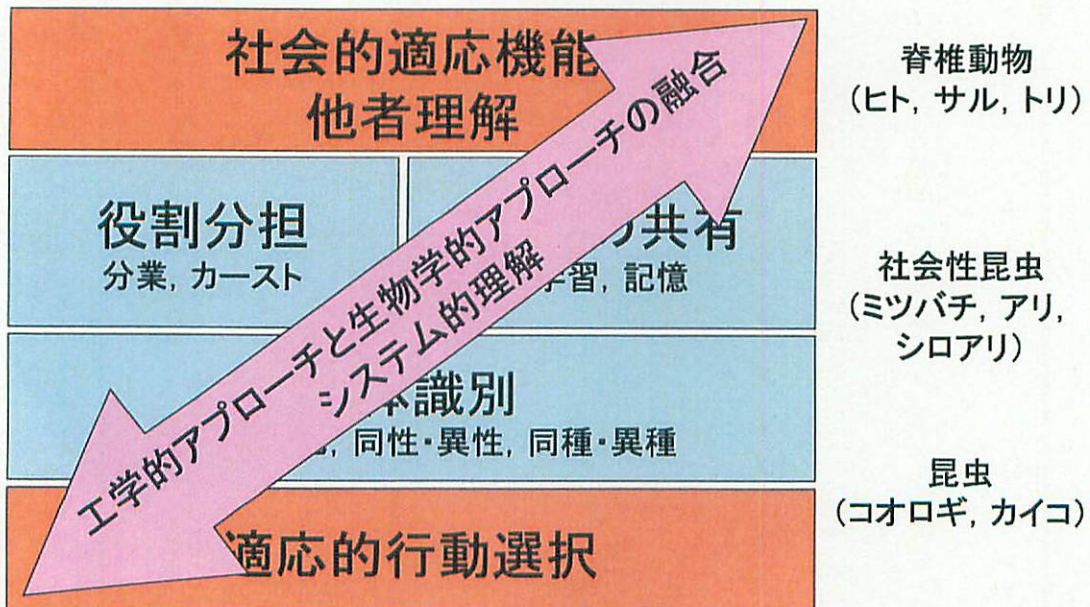
BMハイブリッドシステム シミュレータ ロボット

適応的行動のメカニズム

9



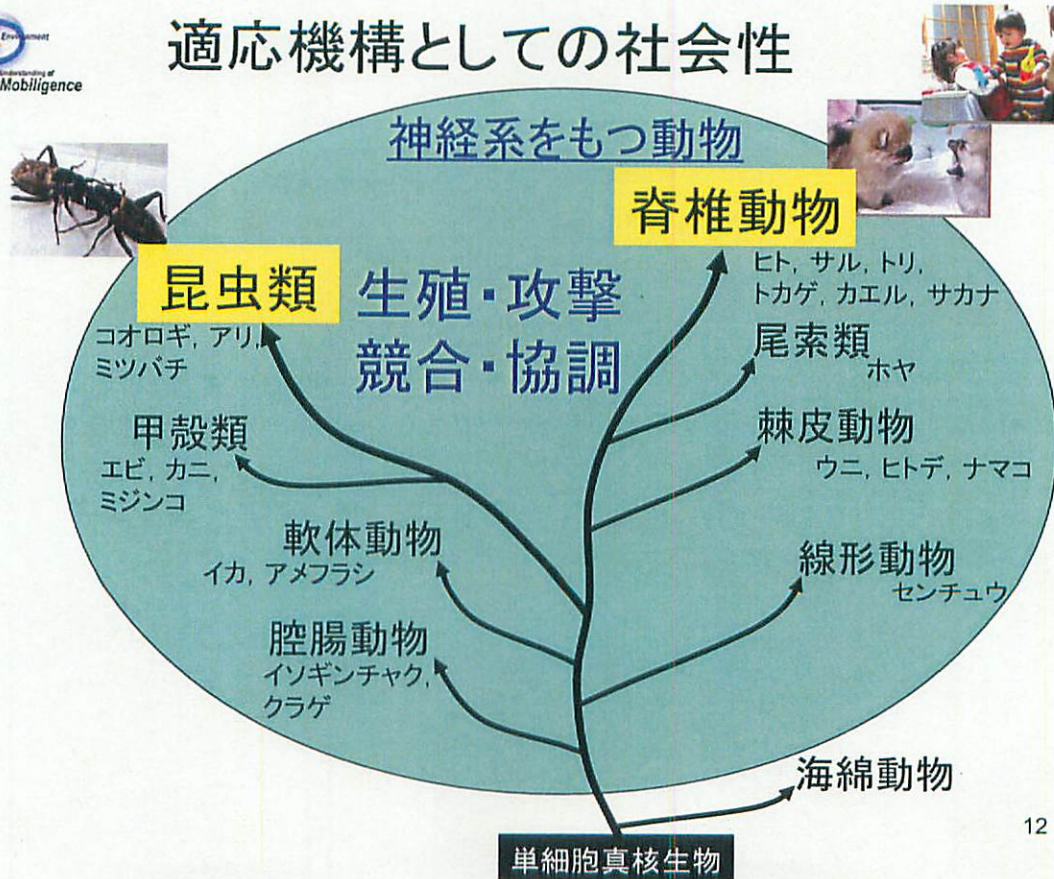
社会適応のメカニズム解明に向けて

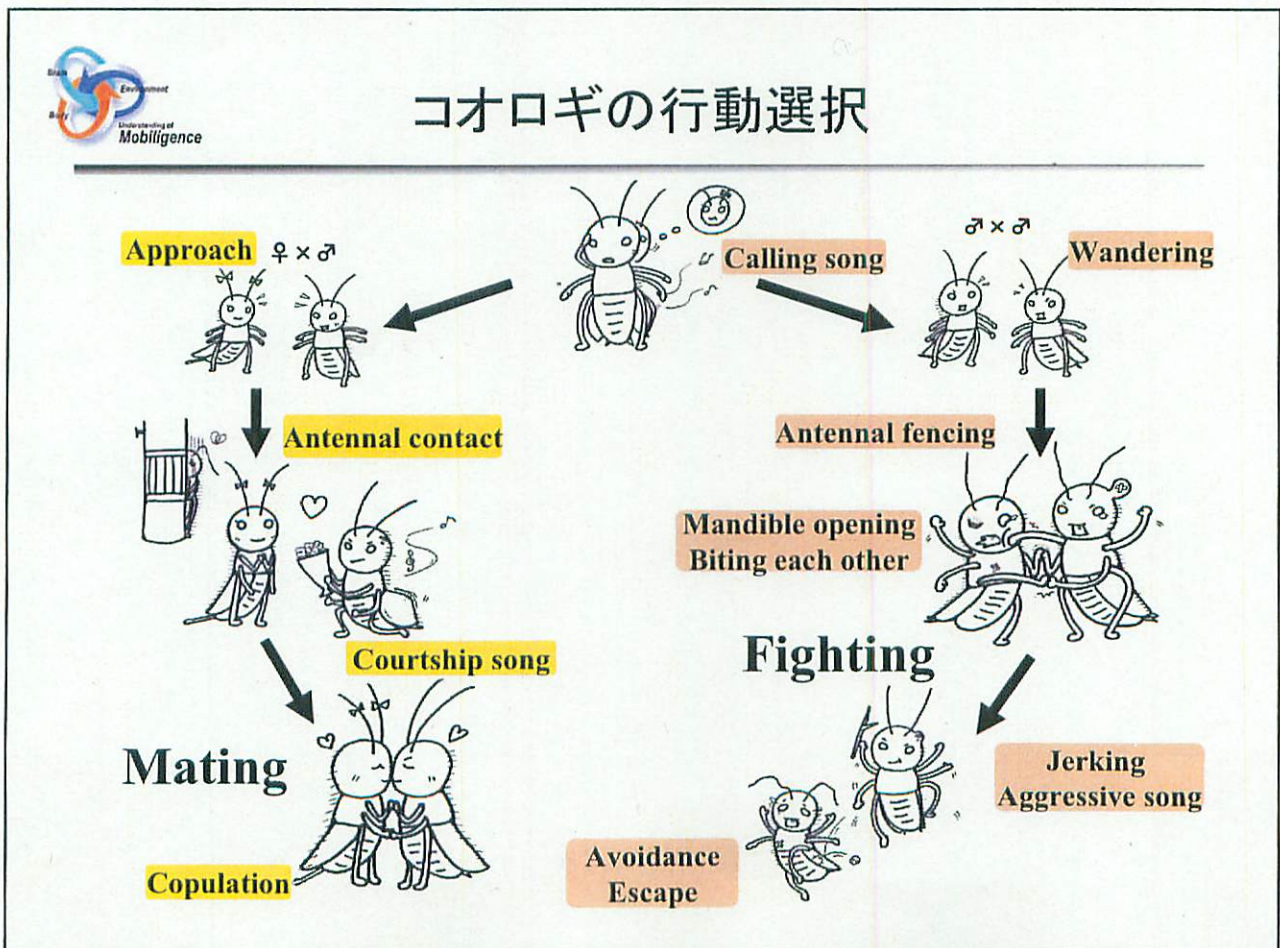
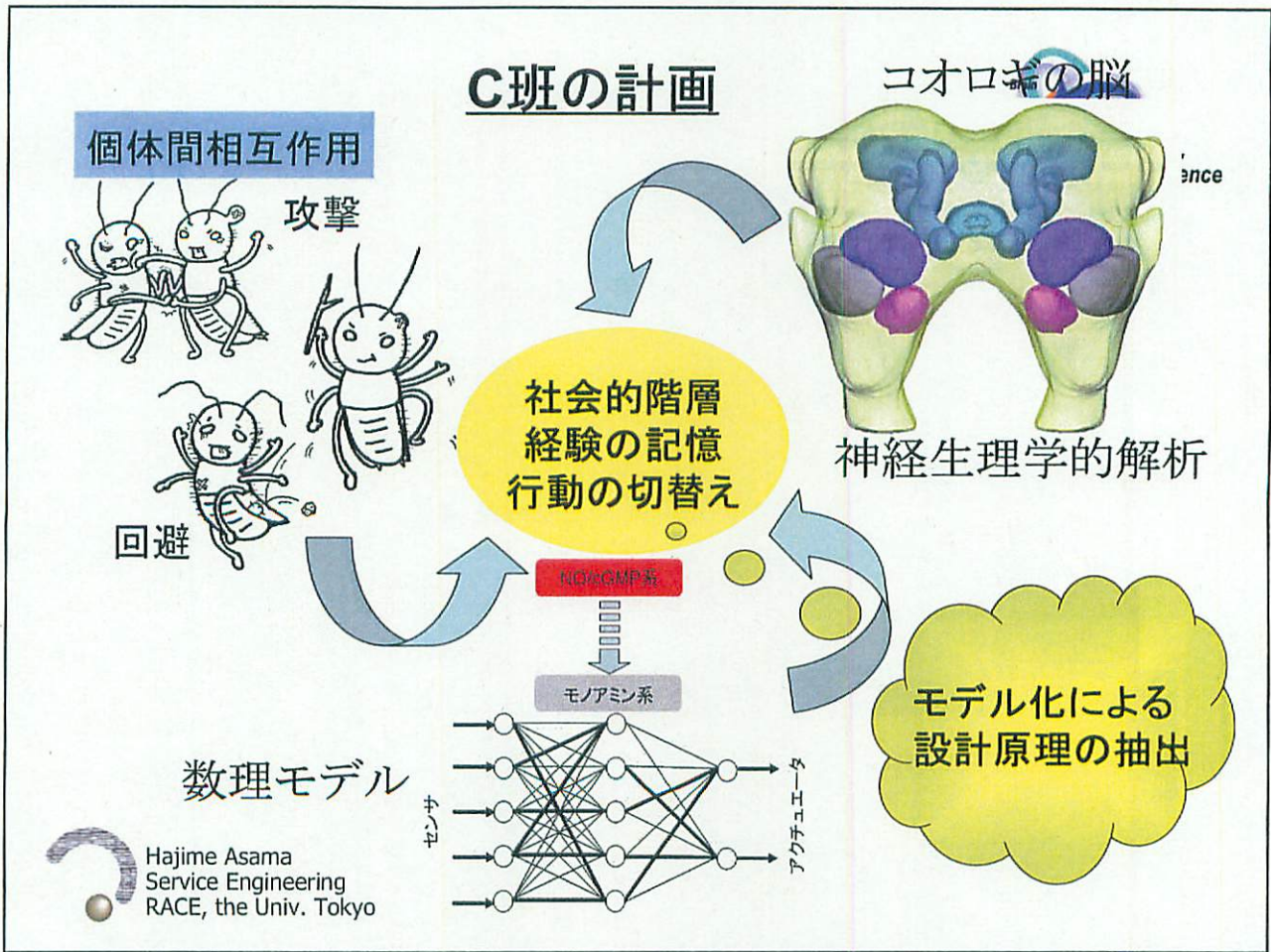


C班の研究構成

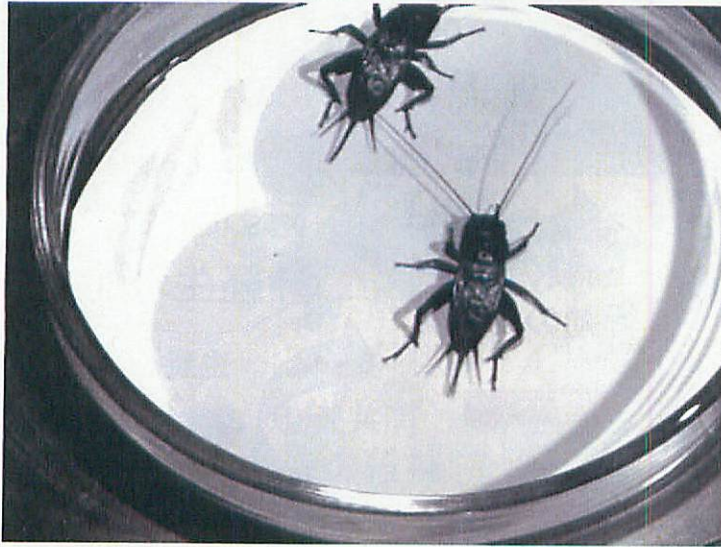


適応機構としての社会性





雄コオロギの闘争行動

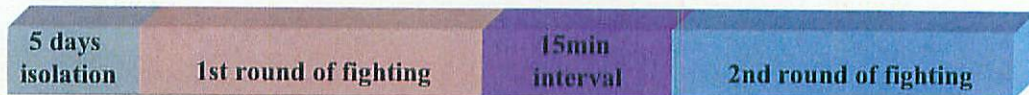


- Antennal fencing
- Mandible spreading and attacking opponent
- biting each other

Winner (dominant) : body-jerking, aggressive song, chasing the opponent

Loser (subordinate) : Avoiding from the dominant

コオロギの闘争行動と記憶

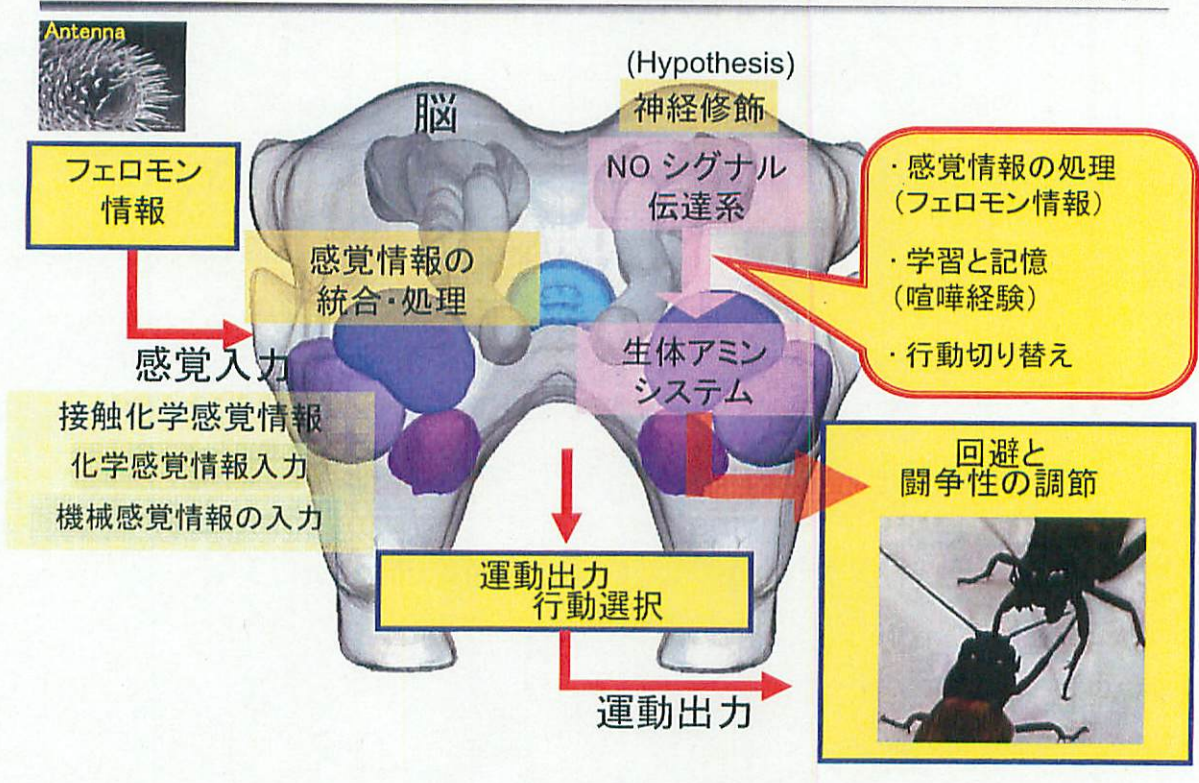


Winner crickets → Aggression

Beaten crickets → Avoidance and escape

社会的経験に基づく

行動切り替えの神経機構



コオロギの脳におけるNO生成と闘争性の関係

NADPH-diaphorase histochemistry

Pheromone

NO generation in brain

AL

TMS

100 μ m

50 μ m

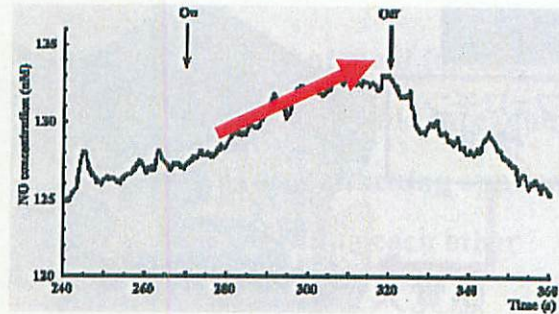
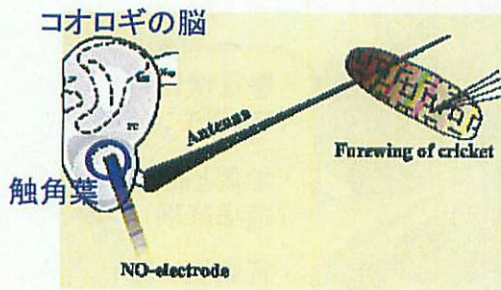
AL

50 μ m

TMS

Aggressive behavior

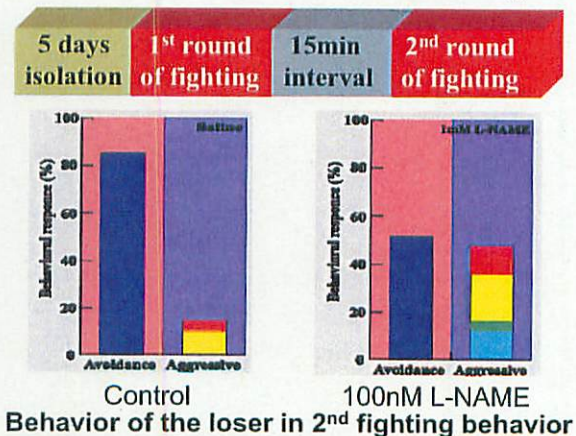
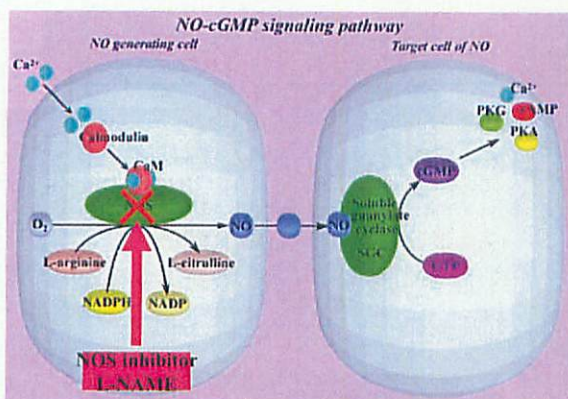
フェロモン刺激とNO (neuromodulator)



- NO電極を触角葉(Antennal Lobe, AL)の前面に設置
 - 雄コオロギのForewingにより, NOレベルが約5nM上昇
 - 雌コオロギや洗った雄コオロギのForewingでは上昇しない
- 雄コオロギのフェロモンにより, 触角葉のNOレベルが上昇

Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

NO/cGMPカスケードと闘争行動



- NO/cGMPカスケードの阻害により, 負けたコオロギも再び闘争行動を取りやすくなる
 - 「負けた経験」の持続時間が短くなる
 - 短期記憶の短期化

Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

[Aonuma et al. 2004]

闘争行動とオクトパミン



Rest: 闘争前
Domi: 闘争に勝った個体
Sub: 闘争に負けた個体

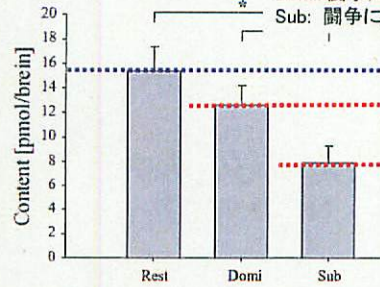
オクトパミン Octopamine (OA)

従来から闘争行動に関係していると考えられている物質。脂肪からエネルギーを取り出すのに使われる。

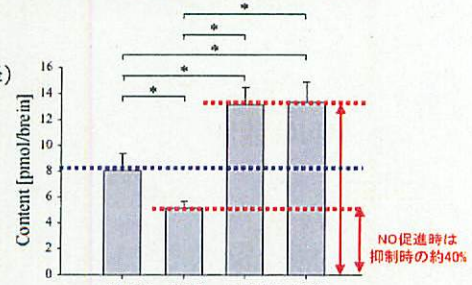
- 闘争行動の前後において濃度が減少
- 負けたコオロギは、勝ちコオロギより減少
- NO/cGMPカスケード関連の試薬で変化
(カスケード阻害でOA濃度上昇, NO供与剤によりOA濃度下降)

NO/cGMPカスケードによってOA濃度が変化

行動選択への関与が考えられる



闘争行動とOALレベルの変化



カスケード状態-OALレベルの変化

[Aonuma et al. 2007]

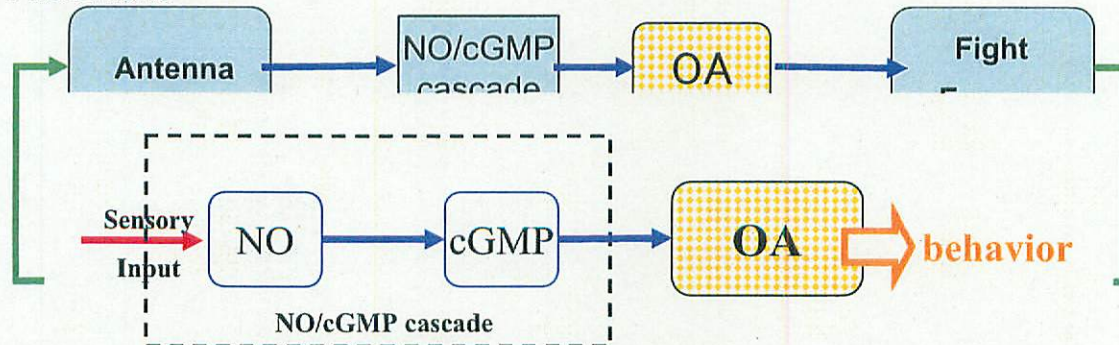


Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

NO/cGMPカスケードによる行動選択モデル



Pheromone



モデリングの仮定

- NOはスイッチとしての役割 (相手がいるか? High/Low)
- OALレベルが行動選択基準となる ⇒ 短期記憶
- NO, cGMP, OAは[0:1]に正規化して写像をモデル化



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

モデリング
Sensory
Input



モデリングの詳細 (NO)



- 触角葉での反応領域を1次元として考える
 - 触角葉の長さ: 約100[μm]程度と仮定
- 触角からの入力(他者のフェロモン, Yes/No)
 - NOの発生量を変化させる (High/Low, × 1.5)
- NOの特性
 - 触角葉(1次元, 100[μm])を拡散
 - フリーラジカル ⇒ 急速に消滅 (10sec後に約5%残る)
 - 固定点から発生, 消費(≒100[μm/sec]) [Philippides et al. 2000]等
 - NO濃度上昇により, cGMP濃度急増を誘因
- その他
 - 触角葉内でのNOの発生位置(x=5), 消費位置(x=8)は固定

Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

モデリング

NO拡散モデル

• 拡散方程式の導入

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - \gamma_N N + N_{in} - N_{out}$$

$N = [N^0 \ N^1 \ \dots \ N^{10}]^T \in \mathbb{R}^{n+1}$: NO濃度ベクトル

$N^0 = N^1, \ N^{10} = N^9$: 両端での境界条件

D, γ_N : 拡散定数, 崩壊定数

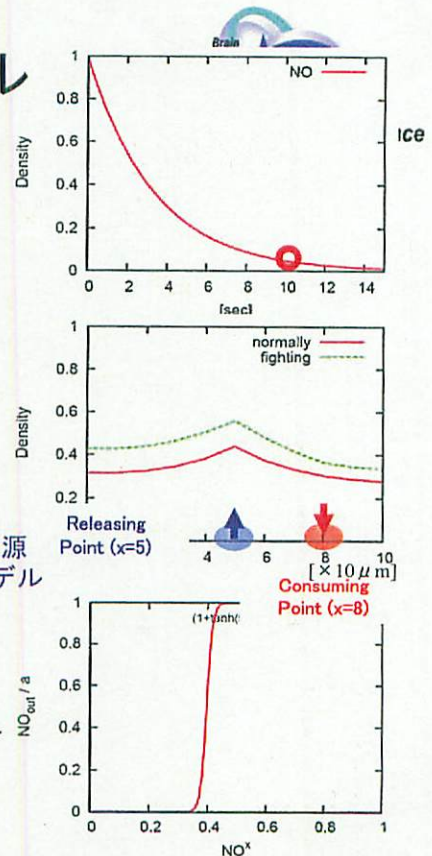
N_{in}, N_{out} : NOの発生量, 消費量

$$N_{in,t}^x = \begin{cases} 0 & \text{if } x \neq 5, \\ 1.5\Delta t & \text{if } (x = 5 \wedge \text{fighting}), \\ 1.0\Delta t & \text{otherwise.} \end{cases}$$

※闘争行動での発生源
NO濃度上昇をモデル

$$N_{out,t}^x = \begin{cases} a \times (1 + \tanh(50 \times (N_{t-\Delta t}^x - 0.4))) / 2 & \text{if } x = 8, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

※NO濃度によるcGMP発生
の急増効果をモデル



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

モデリング



モデリングの詳細 (cGMP)



- cGMP
 - NOにより固定点(x=8)で生成
 - OAの生成に対し、抑制性に働く
 - 自己代謝

[Aonuma et al. 2007]

cGMP変化量のモデル

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\gamma_C C + C_{in} - C_{out}$$

$C \in \mathbb{R}$: cGMP濃度値 定常状態 $C=0.6$

γ_C : 崩壊(消費)定数

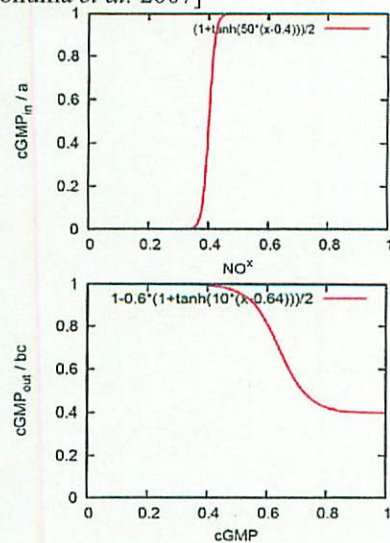
C_{in}, C_{out} : cGMP発生量, 消費量

$$C_{in,t} = \sum_x N_{out,t}^x \quad \text{※NO消費の総和をモデル}$$

$$C_{out,t} = bc \times (1 + \tanh(10 \times (C_{t-\Delta t} - 0.64))) / 2 \quad \text{※OA生成を抑制}$$



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo



モデリング



モデリングの詳細 (OA)



Octopamine (OA)

- 闘争行動で消費される [Stevenson et al. 2005]
 - 回避行動閾値としての示唆
- cGMP量: OA生成に抑制性
- 行動選択の閾値: η
- 自己代謝

OA変化量のモデル

$$\frac{\partial A}{\partial t} = -\gamma_A A + A_{in} - A_{out}$$

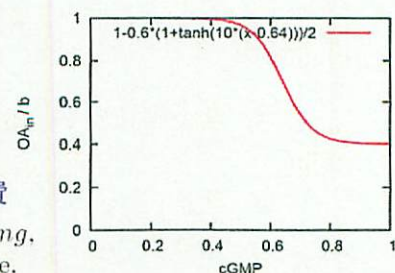
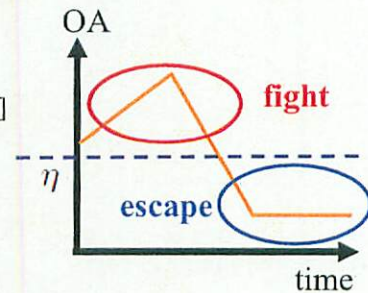
$A \in \mathbb{R}$: OA濃度値 定常状態 $A=0.8$

γ_A : 崩壊(消費)定数

A_{in}, A_{out} : OA発生量, 消費量

$$A_{out,t} = \begin{cases} d & \text{if fighting,} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$A_{in,t} = b - 0.6 \times C_{out,t} \quad \text{※cGMPがOA生成を抑制}$$

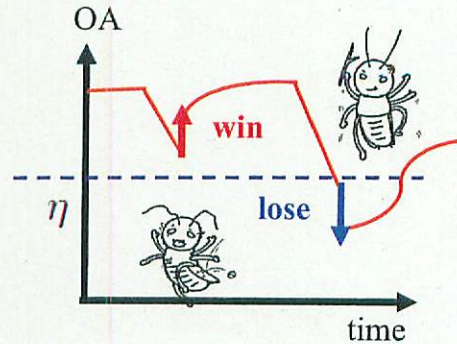


Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

闘争行動結果の反映

- 結果反映のモデル

- 勝ちコオロギ
 - ϵ_{win} (OA増加効果)
- 負けコオロギ
 - 闘争行動の時間により
 $\epsilon_{lose} \times T$ (OA減少効果)
 (T : 闘争行動の時間)



- 勝者, 敗者と体内OA量の関係 [Adamo *et al.* 1995]
- OAが闘争行動の閾値として働く可能性 [Stevenson *et al.* 2005]

計算機実験1 - 内部モデル -

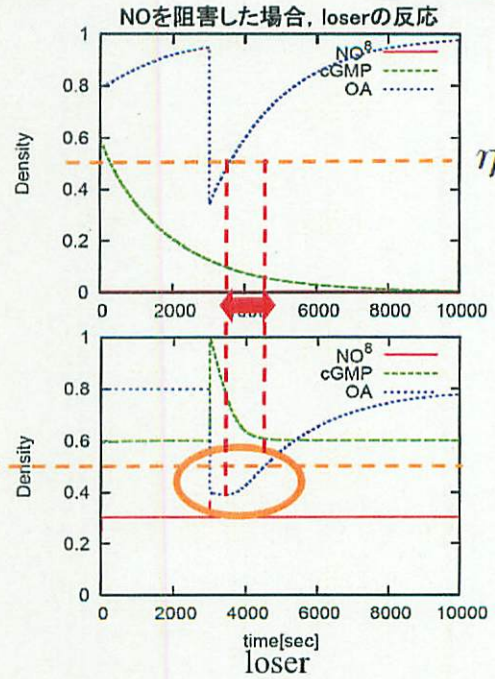
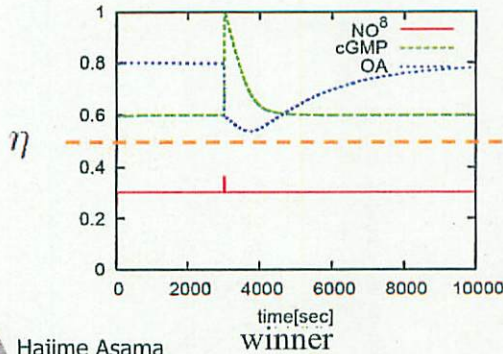
- 勝ちコオロギと負けコオロギに関するシミュレーション

- 闘争回数1回
 - 勝ちコオロギ: 闘争時間は6秒
 - 負けコオロギ: OALレベルが η を下回るまで闘争行動 ($\eta = 0.5$)
- 各物質の時間変化について観察し, 生理学的知見との比較, 検証

$\gamma_N = 3.0 \times 10^{-1}$	$\gamma_A = 5.0 \times 10^{-4}$	$\gamma_C = 5.0 \times 10^{-4}$	
$a = 7.44 \times 10^{-3}$	$b = 5.0 \times 10^{-7}$	$c = 1.08$	$d = 4.0 \times 10^{-5}$
$\epsilon_{win} = 4.0 \times 10^{-2}$		$\epsilon_{lose} = 1.33 \times 10^{-2}$	

実験結果

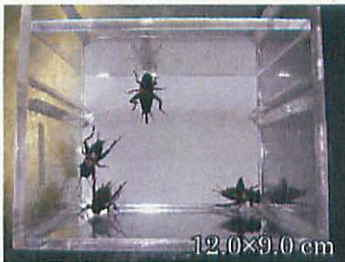
- 生理学的知見に一致
 - 回避行動は一度負けてから起こる
 - 短期記憶は約30分間続く
 - NO/cGMPカスケードの阻害により、
短期記憶が弱められる



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

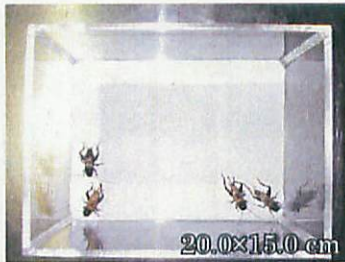
生物学的知見

密度による振る舞い



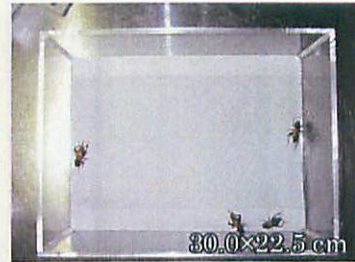
高密度

全個体が弱気



中密度

1個体: 強気
3個体: 弱気



低密度

全個体が強気



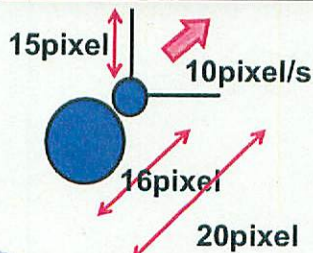
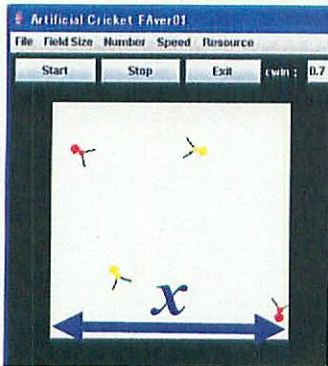
強気な個体の割合

密度によって振る舞いが変わる

Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

[Ashikaga et al. 2006]

計算機実験2 -複数個体が相互作用する環境-



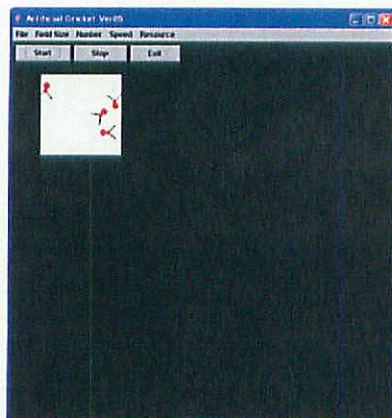
Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

設定

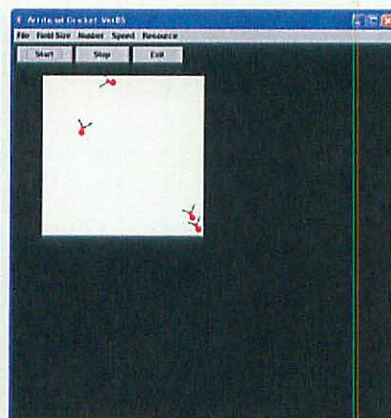
- 正方形環境下に4匹のコオロギエージェント
(1辺 x pixel, $2^7 \leq x \leq 2^{13}$)
- シミュレーション開始時は、各エージェントは闘争行動をとれる状態
- 初期配置と初期状態はランダム
- 終了条件は1000秒間経過後
- 各 x の条件下で50試行

[Ashikaga et al. 2006]

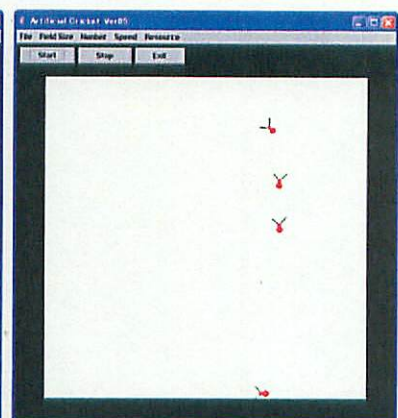
シミュレーション実験結果



High density



Middle density



Low density

密度によって、集団としての振る舞い変化する

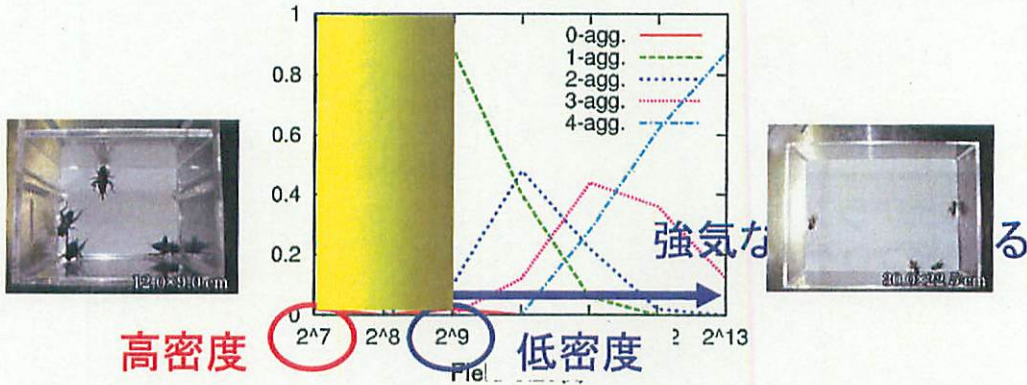


Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

[Ashikaga et al. 2006]



実験結果



- 密度が低くなるにつれ、闘争行動を示す個体が増える傾向
 - 傾向としては一致
 - 密度の変化に対して勝ちエージェント数の変化は鈍感
- 全エージェントが弱い状態が観測されない

Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

動物種の相違と社会性(昆虫の社会性)



	ヒト(人間)	イヌ・ネコ	ラット・マウス	昆虫
個体間の関係				
脳内物質	NO (一酸化窒素)? アセチルコリン系 モノアミン系 ステロイドホルモン	NO (一酸化窒素)? アセチルコリン系 モノアミン系	NO (一酸化窒素) アセチルコリン系 モノアミン系? ステロイドホルモン	NO (一酸化窒素) アセチルコリン系 モノアミン系?
社会性	攻撃性 社会的優位性 躁うつ病	攻撃性・嫌悪	攻撃性	攻撃性

脳内神経機構の類似性

動物種を超えた個体関係の共通性

Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

発達知に対する工学の貢献



- 先端計測技術
 - マイクロ・ナノ技術を応用した小型計測デバイス
 - ユビキタス・コンピューティング技術
 - ウェアラブル技術
 - ライフログなどの長期間記録技術
- モデリング技術
 - 脳・神経系のモデル化(運動制御系, 情報処理系)
 - 筋骨格系のモデル化(機構系)
 - システムダイナミクスのモデル化(スローダイナミクス)
- シミュレーション技術
- ロボティクス・メカトロニクス技術



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

健康のための ロボティクス・メカトロニクス技術



- 予防(健康な生活が可能な人の支援)
 - 健康状態のモニタリング(マイクロ・ナノ・デバイス(センサ・アクチュエータ), 生体計測システム, 通信ネットワーク(ウェアラブル, ユビキタス), 判別・データマイニング)
 - 心身のケア, トレーニング
- 生活支援(健康な生活が困難な人の支援)
 - 生活支援(アシスト, バリアフリー, ユニバーサルデザイン)
 - 労働支援(生産活動支援)
- 回復
 - 治療
 - リハビリ
- 基礎
 - 身体(脳)のモデリング, 身体(脳)の理解, 人間科学, 移動知, 発達知



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

発達知研究の波及効果



- 計測機器・システムの開発
- 発達障害問題に対処するための技術開発
 - 生活支援技術
 - 治療・リハビリ技術
 - トレーニング技術
- 健全な人工環境の設計指針の導出



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

まとめ



- 発達知における工学の役割
- 特定領域「移動知」
- 社会適応に関する研究例

研究協力

藤木智久, 足利昌俊, 池本有助, 青沼仁志, 太田 順, 川端邦明



Hajime Asama
Service Engineering
RACE, the Univ. Tokyo

～ 新しい価値の創造をめざして～

「発達知」

～ 先端科学技術と人間発達研究 ～

第10回科学技術交流フォーラム 資料集



2008年6月17日(火)

東京大学 山上会館 2階大会議室

主催 東京大学 産学連携協議会運営本部 (東京大学 産学連携本部内)

第10回科学技術交流フォーラム

「発達知」～ 先端科学技術と人間発達研究 ～

発行日：2008年6月17日（火）

編集：東京大学産学連携協議会運営本部（東京大学 産学連携本部内）

発行：〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学産学連携本部

連絡先：E-mail kyogikai@ducr.u-tokyo.ac.jp

本書の内容を無断で複写、複製、転載することをご遠慮ください。