

# 人工共感：AI・ロボットとの共生が未来社会のカギ

浅田 稔

大阪大学未来戦略機構  
認知脳システム学研究部門長  
大阪大学大学院工学研究科



2016年6月17日

RIETI 独立行政法人経済産業研究所  
Research Institute of Economy, Trade and Industry



Constructive Developmental Science  
Based on Understanding the Process  
from Neuro-Dynamics to Social Interaction

2012 - 2016  
JSPS Grant-in-Aid  
for Specially Promoted Research

## ■ 自己紹介

- 大阪大学大学院工学研究科教授 知能機能創成工学専攻 [www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp](http://www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp)
- 大阪大学未来戦略機構認知脳システム学研究部門長
- ロボカップ国際委員会 元プレジデント(2002-2008) [www.robotcup.org](http://www.robotcup.org)
- JST ERATO Asada プロジェクト元総括(2005-2011) [www.jeap.jp](http://www.jeap.jp)
- 日本子ども学会理事, 日本赤ちゃん学会理事
- 科学技術研究補助金 特別推進研究代表 [www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp/asadalab/tokusui/](http://www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp/asadalab/tokusui/)
- NPO ダ・ヴィンチミュージアムネットワーク理事長 <http://davinci-museumnet.org>

## ■ Prologue (1) da Vinci Android

日経電子版 電子書籍 Bizアカデミー BizGate 住宅 レストラン 転職 日経BP

ようこそゲスト様 ログイン

CollegeCafe by Nikkei potential 可能性を広げる career 働き方を拓く company 会社を知る

2015.10.01 [potential]

### ロボットが変える未来(1) ダビンチ・アンドロイドに託す夢

ロボット研究の第一人者、大阪大学の浅田稔教授が中心となって、ルネサンス期の巨匠、レオナルド・ダビンチそっくりのロボットを開発しました。特殊なシリコンで覆われた顔を空気で動かすことで、さまざまな...

authored by 浅田稔  
大阪大学教授

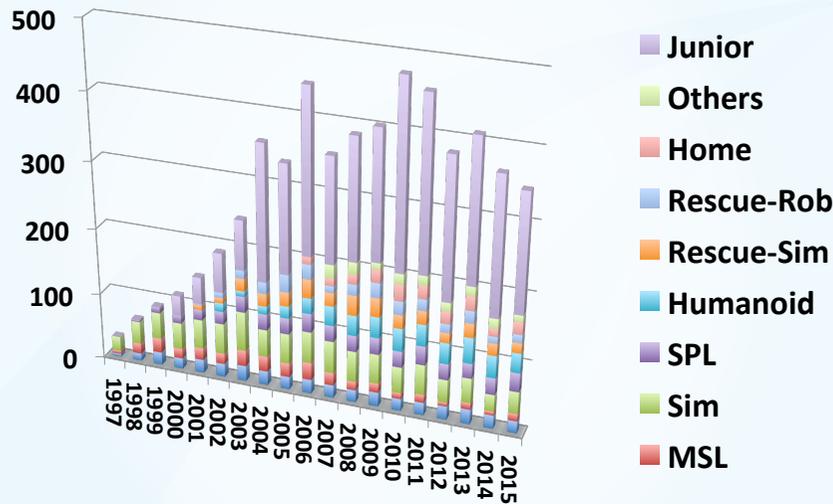
<http://college.nikkei.co.jp/article/49164311.html>

## ■ Prologue (2) RoboCup

- 標準問題を決めて知能ロボット研究をみんなで進める!



## 参加チーム数の遷移



## 2016 IEEE Robotics and Automation Award



### The IEEE Robotics and Automation Award

The IEEE Robotics and Automation Award was established in 2002 by the IEEE Board of Directors, and is presented for contributions in the field of robotics and automation. It includes but is not limited to: manufacturing automation; robotics and automation in unstructured environments; sensor design; integration and fusion; robot design; modeling; planning and control; methodologies for robotics and automation, and the quality of the nomination.

Sponsored by the IEEE Robotics & Automation Society, the award consists of a bronze medal, certificate, and honorarium.

For additional information on IEEE Technical Field Awards and Medals, to view complete lists of past recipients, or to nominate a colleague or associate for IEEE Technical Field Awards and Medals, please visit: [www.ieee.org/awards](http://www.ieee.org/awards)

#### Past Recipients

- 2015 – Rodney A. Brooks
- 2014 – Shigeo Hirose
- 2013 – Ruzena Bajcsy
- 2012 – Bernard Roth
- 2011 – Hirochika Inoue
- 2010 – Toshio Fukuda
- 2009 – Antal Bejczy
- 2008 – Paul G. Backes
- Eric T. Baumgartner
- Larry H. Matthies
- 2007 – Gerd Hirzinger
- 2006 – George A. Bekey
- 2005 – Seiuenon Inaba
- 2004 – Joseph F. Engelberger



### 2016 IEEE Robotics and Automation Award



*Raffaello D'Andrea*

*For pioneering contributions to design and implementation of distributed, cooperative robotics and automation systems for commercial applications*

Spanning academics, business, and the arts, Raffaello D'Andrea's career is built on his ability to bridge theory and practice. He was the faculty advisor and system architect of the Cornell Robot Soccer Team, four-time world champions at the International RoboCup competition. He was one of the first in the controls community to use a multi-vehicle testbed for research. At ETH Zurich, his research redefines what autonomous systems are capable of. He is co-founder of Kiva Systems, a robotics company that revolutionized material handling by deploying thousands of autonomous mobile robots in warehouses. He recently founded Verity Studios, a company developing a new breed of interactive and autonomous flying machines.

Prof. D'Andrea is Professor of Dynamic Systems and Control at ETH Zurich.

## サービスロボットの概念

- サービスの対象：
  - 人間の労働 → 産業用ロボット???
  - 完全独立ではなく、人間との協働が必要な場合のアシスト
  - 人間の日常生活のアシスト → 高齢者、障害者、弱者
  - 物理的支援：外骨格型ロボット、
  - 精神的支援：コミュニケーションロボット



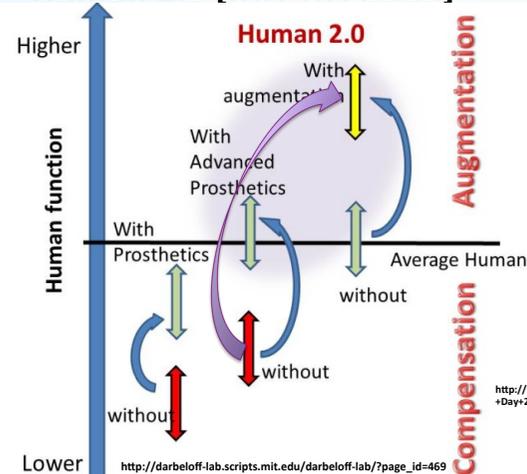
<http://raffaelo.name/projects/kiva-systems/>



[http://darbeloff-lab.scripts.mit.edu/darbeloff-lab/?page\\_id=469](http://darbeloff-lab.scripts.mit.edu/darbeloff-lab/?page_id=469)

## 弱者への支援が強者を上回る?!

- Human 2.0 [MIT H. Asada]



<http://www.zimbio.com/pictures/1W5-Erj8FEV/2012+London+Paralympics+Day+2+Athletics+10YX52z849n/Markus+Rehm+mobile+off>



## ■ ロボットの脅威(2015)

“What are the jobs of the future? How many will there be? And who will have them? We might imagine—and hope—that today’s industrial revolution will unfold like the last: even as so..

[<http://www.goodreads.com/book/show/22928874-rise-of-the-robots>]



### • 著者(Martin Ford)

- 技術の進歩に楽観的  
→処理速度、大容量記憶装置など。
- 技術の進歩がもたらす未来社会に悲観的  
→仕事がない社会!!!!



## ■ 浅田自身の考え(2016)

### • 逆の考え

- 未来技術に関して悲観的  
→量の変化を質の変化にできるか??
- 未来社会に対して楽観的  
→ロボットとの共生社会

心(こころ, ココロ)の課題



## ■ ロボットのココロ?



## ■ 心の理論とは?(1)

- 心の理論 Theory of Mind
- 1978年 プレマックとウッドラフ (Premack & Woodruff, 1978)が提唱
- チンパンジーの生活を観察  
→ チンパンジーが仲間の「心」を推測しているように見える行動を示す  
→ 自分以外の存在者に「心」があることをわかっているかどうかを実験的に確認した  
→ チンパンジーは仲間や人間が何を考えているのかを、ある程度は推測できる



## ■ 心の理論とは？(2)

- 「自己および他者の目的・意図・知識・信念・思考・疑念・推測・ふり・好みなどの内容が理解できるのであれば、その動物または人間は『心の理論』を持つ」
- 心の理論 = **自分や他人の心の状態を推測できる能力**
- チンパンジー→人間の心理学へ対象を広げていく
- 1980年代乳幼児の発達心理学や自閉症を中心とした障害児心理学で脚光を浴びる

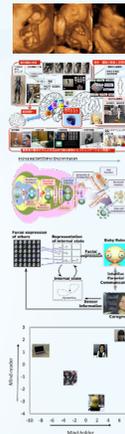
## ■ 改めて、MINDとは？

- 心**：人間の大人の心（定型発達）。
- こころ**：未熟もしくは、こころらしきものがあるとされる動物のこころなど。非定型発達者の場合も含まれるかもしれない。
- ココロ**：人工物の心もどき、もしくはこころもどきが近いかもしれない。カタカナは四角くて、いかにもである。

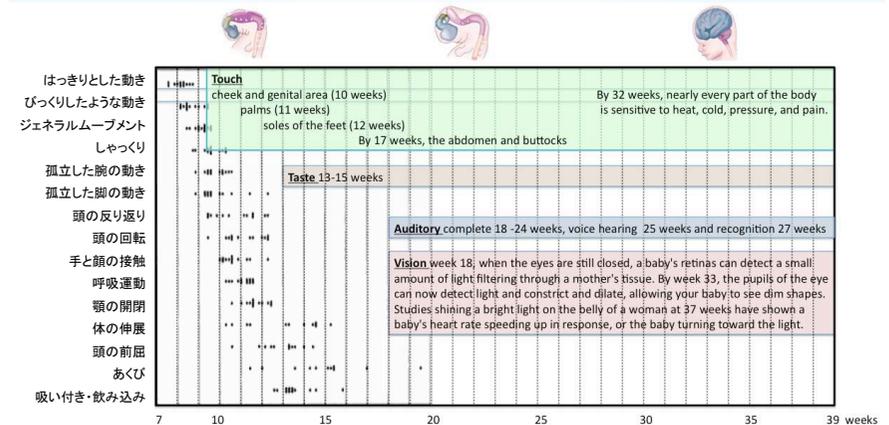
今日のお話→**ココロを創る試み**を通して、人に癒やしや同情感を醸し出す人工システムのあり方を検討し、サービスロボットの進化と深化の方向を探る。

## ■ 本日のトーク

- 人間の発達と認知発達ロボティクス
  - 人間の発達とは？
  - 認知発達ロボティクス
- ココロのありかた
  - 共感発達モデル
  - 社会的相互作用のバイアスが与える心のあり方への影響
- ロボットと暮らす社会のあり方



## ■ 胎児の運動と感覚の創発



胎児脳のイラスト： Figure 22.5 in [Purves et al., 08]

胎児の運動： Figure 1 in [Vries et al., 84]

胎児の感覚： [<http://www.birthpsychology.com/lifebefore/fetalsense.html>]

## ■ 新生児発達と学習ターゲット

月	行動	学習ターゲット
5	自分の手をじっと見る	手の順・逆モデルの学習
6	抱いた人の顔をいじる いろいろな角度からものを見る	顔の視触覚情報の統合 3次元物体認識の学習
7	物を落として落ちた場所をのぞく	因果性・永続性の学習



## ■ 新生児発達と学習ターゲット

月	行動	学習ターゲット
8	物を打ち合わせる	物体の動力学的モデルの学習
9	たいこを叩く、コップを口に	道具使用の学習
10	動作模倣が始まる	見ることができない動きをまねる：オウムテンテンなど
11	微細握り、他者にものを渡す	動作認知と生成の発達：協調・共同行為の起源
12	ふり遊びが始まる	内的シミュレーションの起源



## ■ 氏が育ちか？

やわらかな遺伝子 マットリドレー



遺伝子は神でも、  
運命でも、設計図でもなく、  
時々刻々と環境から情報を引き出し、  
しなやかに、自己改造していく装置だった。

*No longer is it nature-versus-nurture, but nature-via-nurture.*

[From Scientific American]

氏(埋め込み)と育ち(学習と発達)の間のバランスは、ヒューノイドの設計の一課題

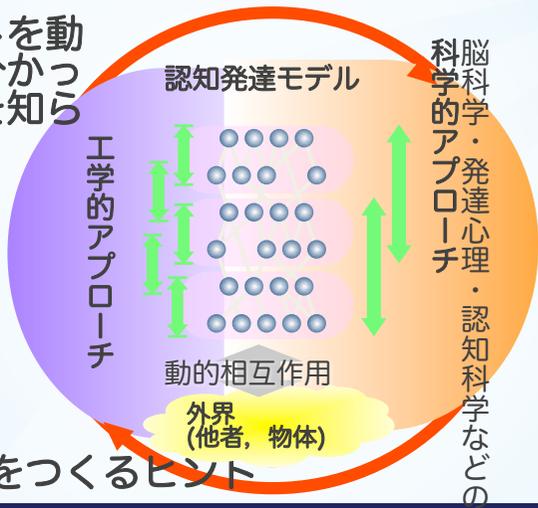
## ■ 認知発達ロボティクスとは？

- 認知発達ロボティクスは、人間の認知発達過程を構成的手法を用いて理解する事を目的とする。
- 核となるアイデアは、物理的埋め込み(身体性)と社会的相互作用で、それらは、他者を含め環境との相互作用を通じて、情報を構造化する。



# ■ ロボットを通じて人間を知る

ロボットを動かして分かったことを知らせる。



ロボットの作るヒント

# ■ 自他認知発達の基本アイデア

(I) 生態学的自己  
同調する身体

自己の萌芽

身体と環境の同調



(II) 対人的自己  
同調してくれる身体

自他の同一視  
(MNSの働き)

養育者による同調



(III) 社会的自己  
同調・脱同調する身体

自他の分離

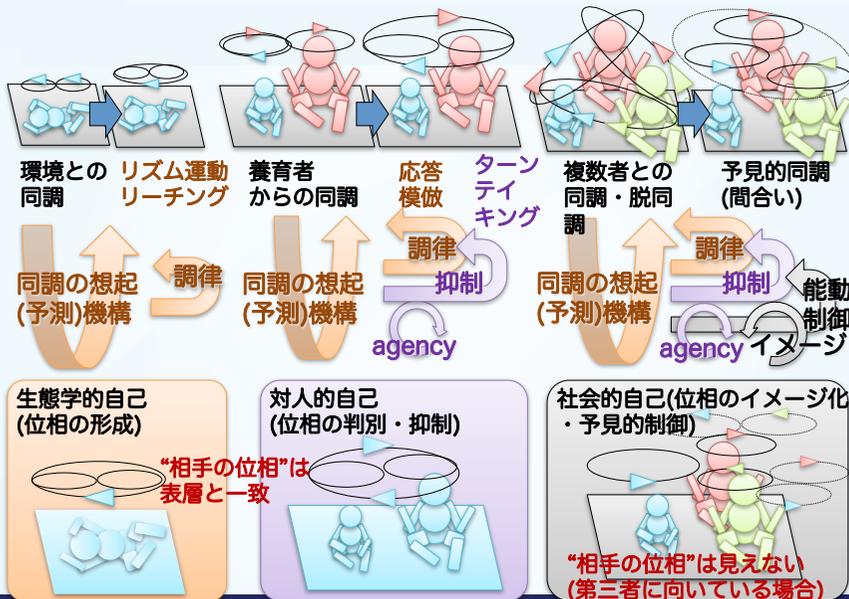
養育者からの脱同調  
社会的コンテキスト  
からの脱同調



同調の中に身が置かれることで、自他の同一視が可能となり、脱同調していく中で、自他の分離が可能になる。

る。

I. 同調する身体 II. 同調してくれる身体 III. 同調・脱同調する身体

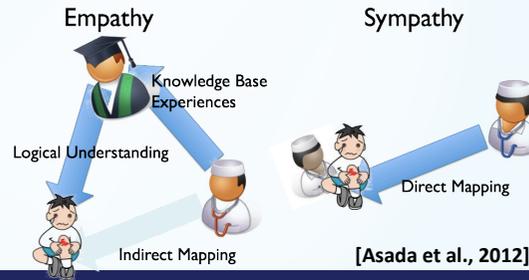


# ■ 共感(Empathy)と同情(Sympathy)?

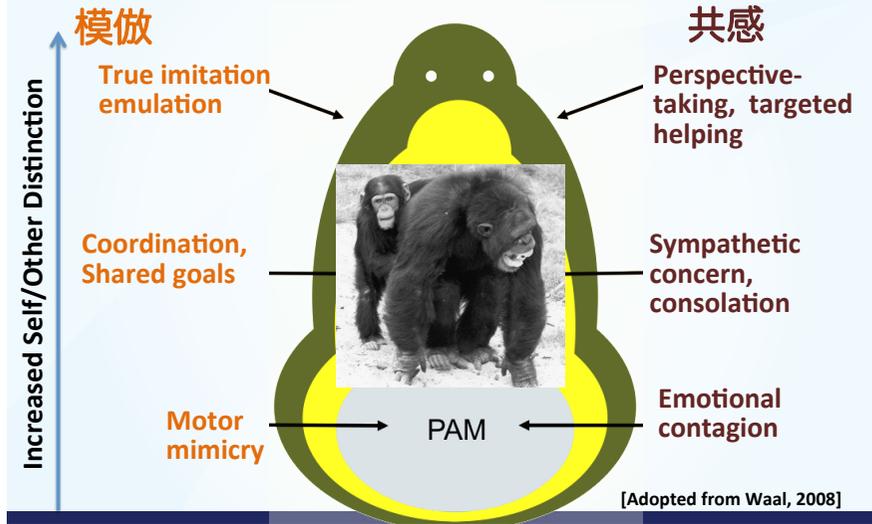
- 共感と同情はしばしば混同されて用いられる。
- 言葉の使い方の差があるものの、キーとなる要素は、共有される情動状態であり、それを表現する手法や操作する手法に違いがある。
- 人工物向けの設計するとき、この点がよりあきらかになる。
- 人工的に共感構造設計を考えるに当たり、ひとつのメタファーと霊長類の進化的研究から始める。

## ■ メタファー

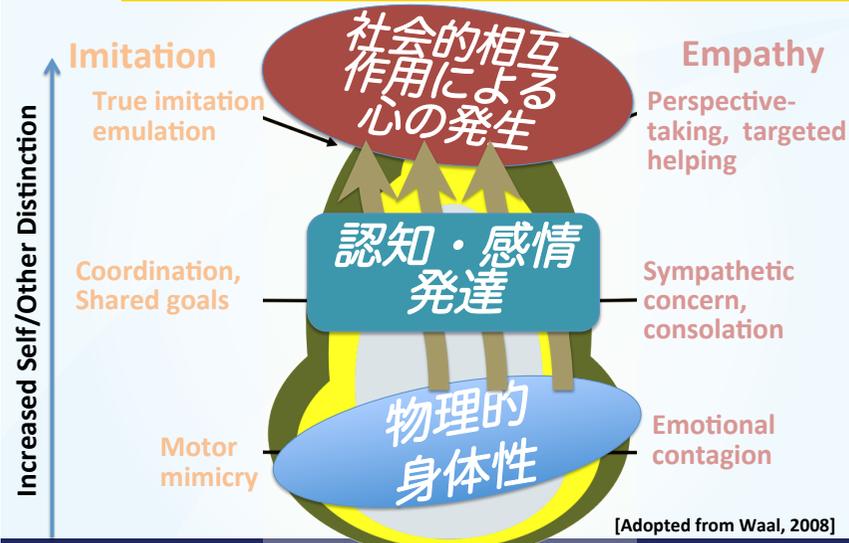
- 医者は患者の痛みなどを推察し(*empathy: perspective-taking*), その痛みを軽減するために適切な処置をほどこすことができる(*targeted helping*). しかしながら, 患者が自分の娘や息子の場合, 処置することに困難さを感じる(*sympathetic concern*).



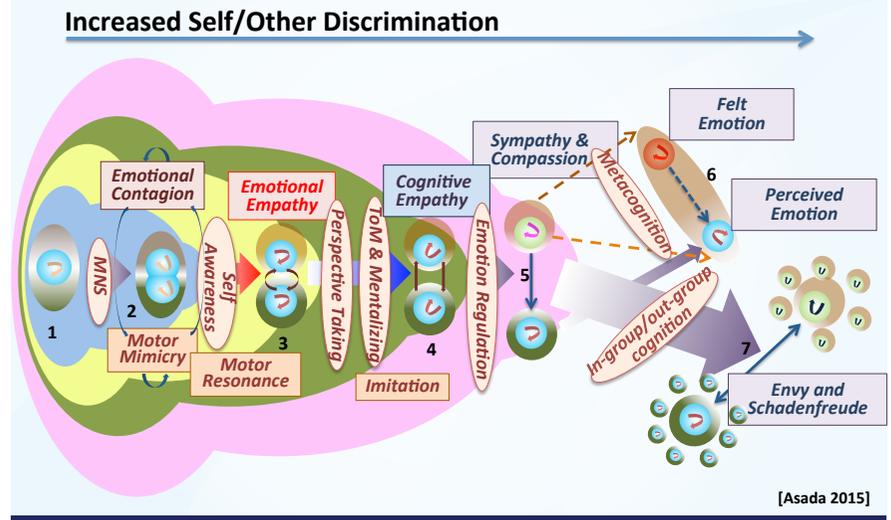
## ■ 共感の進化



## ■ 社会的心にむけた構成的手法



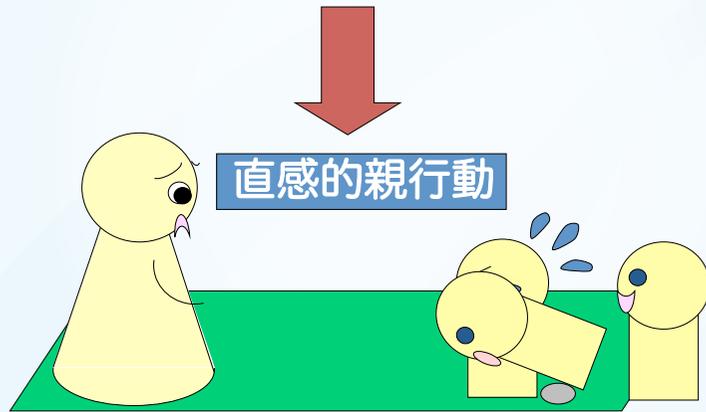
## ■ 共感発達モデル (コンセプト)



## ■ 直感的親行動

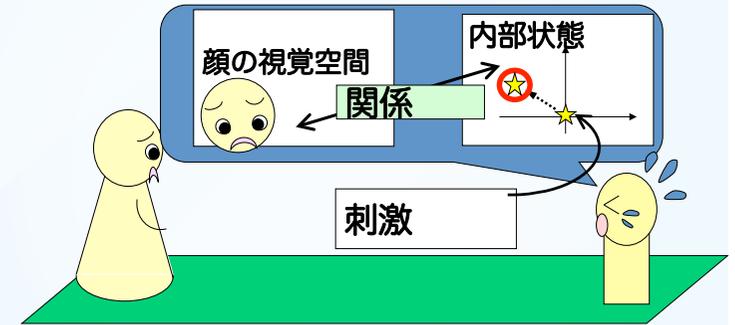
[ Papousek and Papousek. 1987 ]

- 親は、子の顔の表情から想定される情動状態に対応して真似したり強調したりする。



## ■ 直感的親行動に対する学習のモデル化

- 直感的親行動が子の共感能力の発達を助けると考えられる。 [Gergely and Watson, 1999]

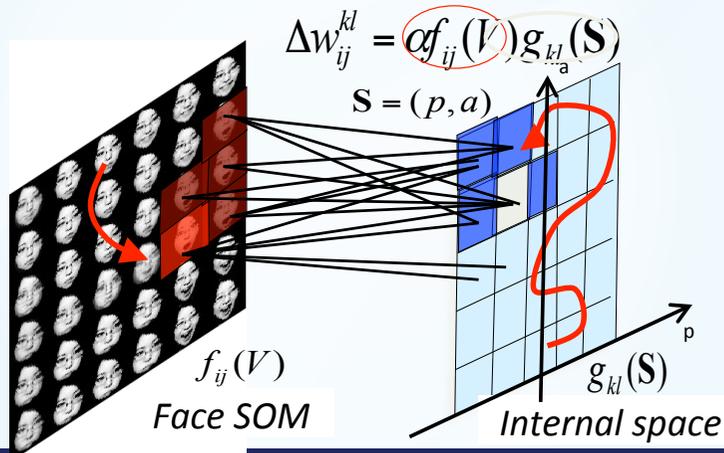


- 直感的親行動を通じた共感の発達過程のモデル化 [Watanabe, Ogino, Asada 07]

## ■ 結合学習

マッピングにはヘブ学習を用いた

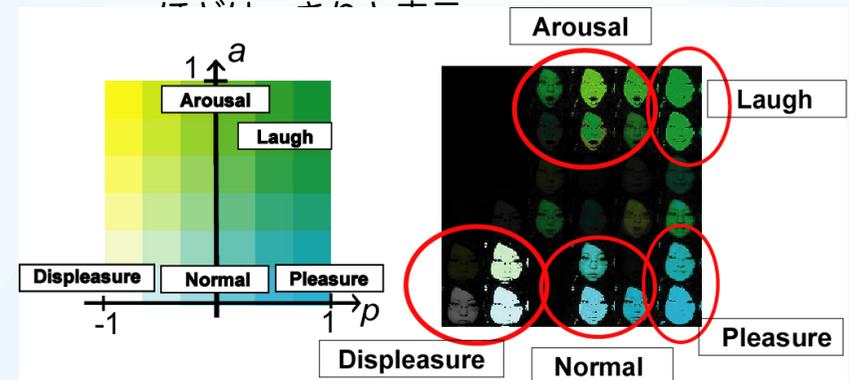
» それぞれの活性度は代表ベクトルとの距離の関数で表す



## ■ 実験結果<内部状態空間>

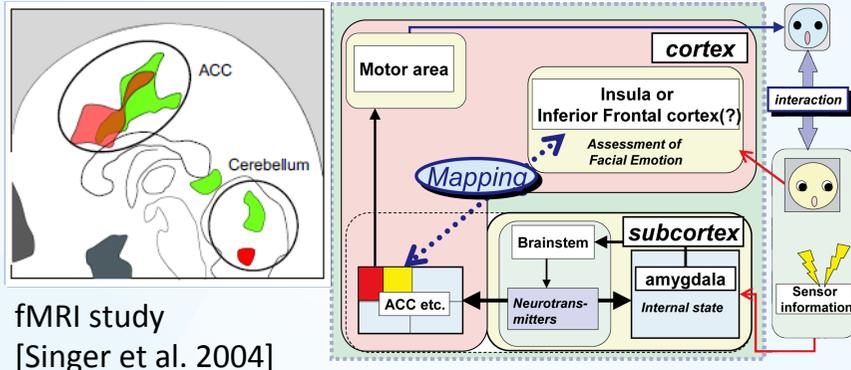
-人間の表情範疇と同様に配置されている

-内部状態空間で強く結びついている表情



## ■ 討論：共感の発達

- 自己と他者の情動状態は同じ領域の異なる部位で表現されている。
- 何が自己と他者をスイッチするか？



## ■ あらすじ

[Takahashi et al., 2014]

- 脳内表象は、経験によって調整。
- 人間の社会的行動を仲介する脳内ネットワークの背側・腹側経路の活動→多様なエージェントとの社会的相互作用を通じた異なる印象によって調整。
- 「心」持ち(mind-holderness)→背側経路を調整。
- 「心」読み(mind-readerness)→腹側経路を調整。
- アンドロイドや高度知能ロボットとの社会的相互作用→社会脳内表象を明瞭に構成。→行動決定。

## ■ 社会的相互作用バイアスが心のあり方に影響を与える

[Takahashi et al., 2014]

ARTICLE IN PRESS

CORTEX XXX (2014) 1–12

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

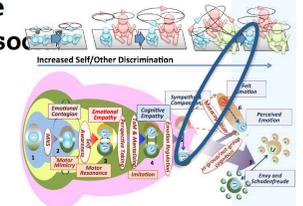
Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/cortex](http://www.elsevier.com/locate/cortex)



Special issue: Research report

**Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain**

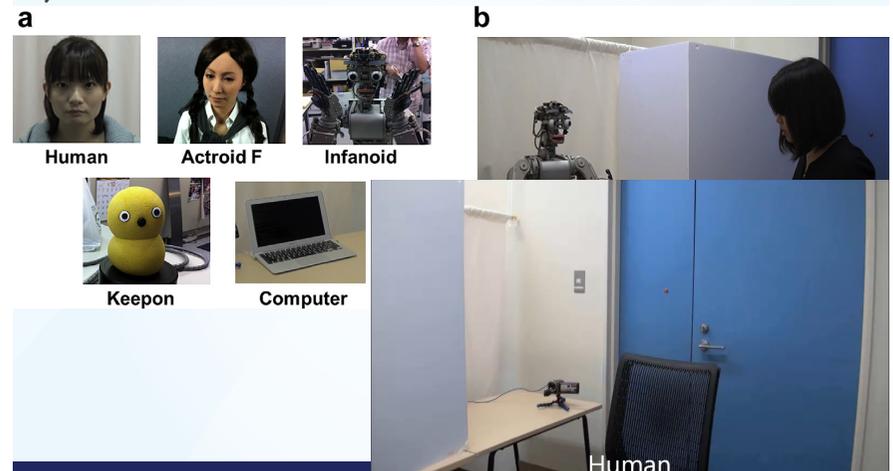
Hideyuki Takahashi<sup>a,b,c</sup>, Kazunori Terada<sup>d</sup>, Tomoyo Morita<sup>a,c</sup>, Shinsuke Suzuki<sup>e,f</sup>, Tomoki Haji<sup>b,c</sup>, Hideki Kozima<sup>g</sup>, Masahiro Yoshikawa<sup>h</sup>, Yoshio Matsumoto<sup>i</sup>, Takashi Omori<sup>b</sup>, Minoru Asada<sup>a</sup> and Eiichi Naito<sup>c,j,\*</sup>



## ■ 五種類の相手

[Takahashi et al., 2014]

- 五種類の相手
- スキャナーの外の短時間の会話の様子



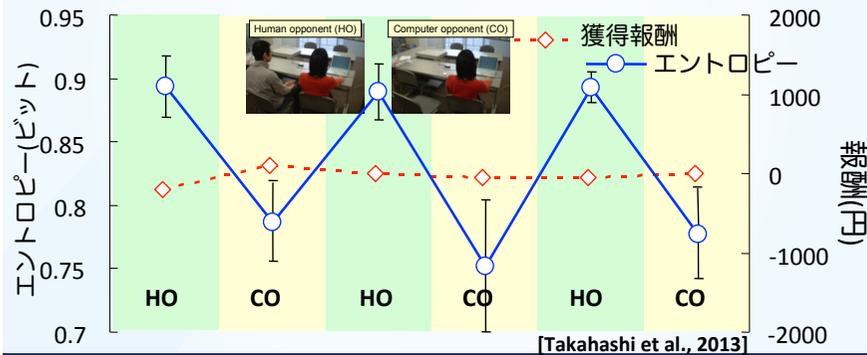
## ■ 行動解析

[Takahashi et al., 2014]

- 意志決定戦略の評価 → エントロピー

$$H_S = -\frac{1}{N_s} \sum_{s \in S} \sum_{d \in \{L,R\}} P(d|s) \log_2 P(d|s)$$

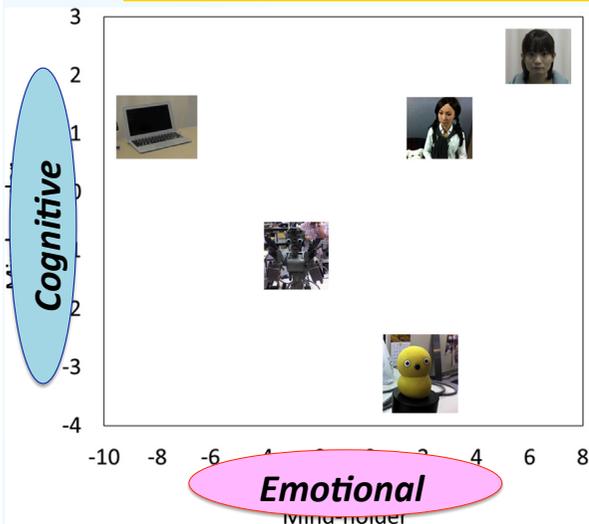
- $H_S$  が大きい → 複雑!  $H_S$  が小さい → 単純!



[Takahashi et al., 2013]

## ■ アンケート解析：PCA

[Takahashi et al., 2014]

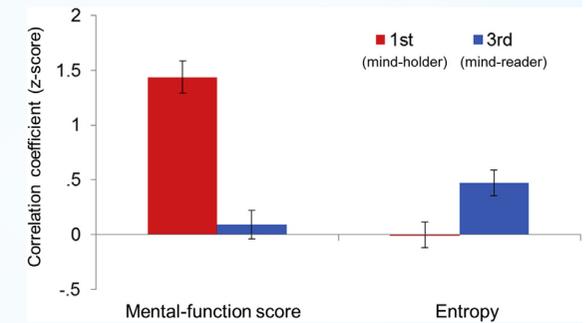


5種類の相手の2次元配置. x-軸は, 「心」持ちを, y-軸は, 「心」読みを, それぞれ表す. それぞれの相手に対する主成分の評価値は, 被験者全員の平均を表している.

## ■ アンケート解析：PCA

[Takahashi et al., 2014]

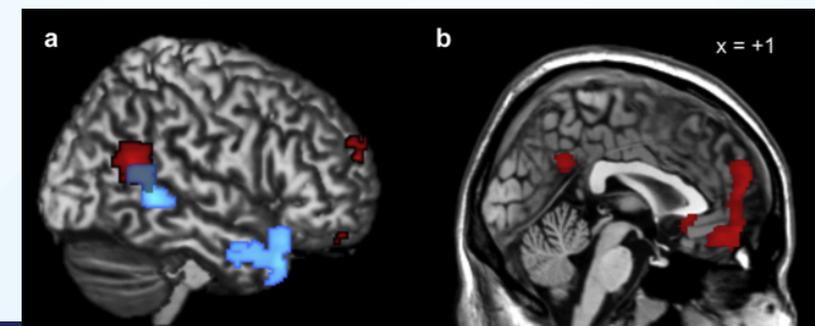
- 心的機能と主成分の関係(左), エントロピーと主成分の関係(右). 相関係数は, z-スコアに変換. 心的機能は第一成分に, エントロピーは第三成分に強く相関している.



## ■ fMRIスキャン

[Takahashi et al., 2014]

- 「心」持ち(赤)と「心」読み(青)によって活動した脳領域. (a)では, MNI 標準脳の側面に領域が描かれ, (b)では, 矢状断面x=+1上に領域が描かれている. 青灰色は, 両方に共通して活性化した領域である.



## ■ 3つのリマーク

[Takahashi et al., 2014]

1. 相手が人間酷似型のアンドロイドで「心」持ちだった時、被験者は、背側-内側帯状回路を駆使して、相手の意図や戦略、さらには情動をも読むために、相手の視野に立った。
2. 相手が「心」読みと判断された時、被験者は相手の可能な視線に注意する。これは、前内側TPJ/pSTSの活動の反映とみなされうる。
3. 「心」持ちや「心」読みなどのエージェントとの社会的相互作用は、我々の社会脳内表象を明瞭に形作る。それは、我々の社会で遭遇するさまざまなエージェントに対して、いかに行動するかを決定する。

## ■ サービスロボットのココロを創る

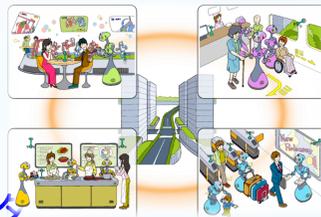
- ココロを創る試みを通じて、心やこころの新たな理解を深めよう。
- ココロを創る試みを通じて、未来社会で人間と共生するロボットの設計論にいかそう。
- ロボットは対峙する相手ではなく、共生するパートナーとしての存在。
- 多様な心（こころ）のあり方を社会が受け入れと同時に、多様なココロのあり方を許容しよう。



<http://disneydigitalstudio.com> [dora-world.com/](http://dora-world.com/)

## ■ ロボットと暮らす未来社会

- 空気のように自然で、
  - ユビキタスロボティクス
  - クラウドロボティクス
- 人と調和し、
  - ヒューマン・ロボット インタラクション
- だけど大事な存在
  - 心を持ち、共感できる存在になることを目指して



## ■ 謝辞

- JST ERATO 浅田共創知能プロジェクト及びメンバー：
- 科研特別推進研究「神経ダイナミクスから社会的相互作用へ至る過程の理解と構築による構成的発達科学」及びメンバー：
- 荻野雅樹(現：関大)
- 渡辺絢子(現：トヨタ),
- 高橋英之(阪大),
- 内藤栄一 (NICT)
- 守田知代 (阪大)

