
認知的インタラクシヨンデザイン学：
意思疎通のモデル論的理解と人工物設計への応用

領域番号：4601

平成26年度～平成30年度
科学研究費助成事業（科学研究費補助金）
（新学術領域研究（研究領域提案型））
研究成果報告書

令和2年6月

領域代表者 植田 一博
東京大学・大学院総合文化研究科・教授

はしがき

本研究領域の目的は、他者の行動を理解・予測するために必要で、状況に応じて変化する認知モデルである他者モデルを認知科学的に検討し、それを人に自然かつ持続的に適応できる人工物の設計と構築に応用することにある。特に、対人、対動物、対人工物に共通する認知プロセスを解明し、他者モデルをアルゴリズムレベルで実現することを目指した。具体的には、計画研究 A01 と A02 において、成人間のインタラクションおよび、子供同士あるいは子供-大人間の（特にロボットとの遊びを介した）インタラクションの分析と自然なインタラクションを可能にする他者モデルのアルゴリズムレベルでの同定、B01 においては、人と動物の他者モデルに基づくインタラクション機構の解明、C01 と C02 においては、(A01, A02, B01 の分析を基礎として) 人の持続的な適応を引き出す人工物のデザイン方法論の確立と人工物の実現を目指した。

このように、インタラクションモデルと他者モデルをこれまでにないアルゴリズムレベルで実現することで、認知的インタラクションデザイン学を確立することを目指した。さらに、まだ体系化されていない、人と伴侶動物のインタラクションに関する認知科学を確立した。そして、これらの成果を、人と自然に持続的に適応する人工物の設計に応用し、自動カスタマイゼーションやパーソナライゼーションを可能にする技術の確立を目指した。

5つの計画研究で当初目標としていたことはほぼ達成できたと考えている。A01 では、コミュニケーション場の成立に関わる他者の情動状態推定過程の分析や、実際の旅行相談における販売員と顧客のコミュニケーションを対象にした、顧客の非言語行動から選好を予測するためのモデルの提案等、成人間のコミュニケーションの機構を実験とモデルベースの解析で解明し、他者モデルの構築を行った。A02 では、保育士がロボットを遠隔操作し子供と遊ぶ際に子供に対してもつモデルの同定や、リトミック場におけるリーダーフォロワーの分析等、子供と大人および子供同士のインタラクションの諸相を明らかにし、その際の他者モデルを構築した。B01 では、イヌ、ウマ、サルを対象に人とのインタラクションを分析し、特にヒト-ウマインタラクションも関しては使用されている社会的シグナルの種類を同定、「人馬一体感」の実体を人と動物との相互学習の観点から明らかにした。C01 では、認知バイアスを含んだ人の適応認知モデルを構成、適応ユーザインタフェースへ応用し、またオンラインショッピングにおけるコンシェルジュの役割を担う推薦エージェントを構築、評価した。C02 では、2体のロボットが「今性」のある振る舞いを示すことでロボットの意図を人に読ませるのが可能なことや、人の操作方法と周囲状況に応じて適応的に操作ゲインを調整する車椅子を構築することで、適応的で持続的な関係を人と築くことのできる人工物の設計論の確立に大きく前進した。そして上記のすべての成果を統合したインタラクションの階層モデルを提案できた。

また総括班 X00 は、A01, A02, B01 の計測実験で使用する共通実験ツールと実験環境を提供した。さらに、若手研究者の視野を広げ、真の意味で日本の学際研究を担える人材として育成するために、一定期間、他の班の研究者の研究室に滞在して専門分野外の学問を学ぶ領域内インターンシップ制度を運営し、参加者からポジティブな評価を得ることができた。

本研究を通して、Society 5.0 の実現に貢献し得る技術的基盤の確立に大きく寄与したと考えられる。

研究組織

計画研究

領域代表者 植田 一博（東京大学・総合文化研究科・教授）

（総括班）

研究代表者 植田 一博（東京大学・総合文化研究科・教授）

研究分担者 竹内 勇剛（静岡大学・情報学部・教授）

大本 義正（京都大学・情報学研究科・助教）

峯松 信明（東京大学・工学系研究科・教授）

長井 隆行（電気通信大学・情報理工学研究科・特任教授）

岡 夏樹（京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・教授）

鮫島 和行（玉川大学・脳科学研究所・教授）

澤 幸祐（専修大学・心理学部・教授）

山田 誠二（国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・教授）

小林 一樹（信州大学・学術研究院・准教授）

今井 倫太（慶応義塾大学・理工学部・教授）

小野 哲雄（北海道大学・情報科学研究科・教授）

大澤 博隆（筑波大学・システム情報系・助教）

遠山 紗矢香（静岡大学・情報学部・助教）（平成 30 年度～）

研究協力者 大森 隆司（玉川大学・工学部・教授）

（計画研究 A01）

研究代表者 植田 一博（東京大学・総合文化研究科・教授）

研究分担者 竹内 勇剛（静岡大学・情報学部・教授）

峯松 信明（東京大学・工学系研究科・教授）

大本 義正（京都大学・情報学研究科・助教）

本田 秀仁（安田女子大学・心理学部・講師）（平成 30 年度～）

遠山 紗矢香（静岡大学・情報学部・助教）（平成 30 年度～）

（計画研究 A02）

研究代表者 長井 隆行（電気通信大学・情報理工学研究科・特任教授）

研究分担者 岡 夏樹（京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・教授）

大森 隆司（玉川大学・工学部・教授）（平成 29 年度～）

中村 友昭（電気通信大学・情報理工学研究科・助教）
田中 一晶（京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・助教）（平成 29 年度～）

（計画研究 B01）

研究代表者 鮫島 和行（玉川大学・脳科学研究所・教授）
研究分担者 澤 幸祐（専修大学・心理学部・教授）
瀧本 彩加（北海道大学・文学研究科・准教授）（平成 27 年度～）
村井 千寿子（環太平洋大学・次世代教育学部・講師）（平成 28 年度～）
永澤 美保（麻布大学・獣医学部・講師）（平成 29 年度～）

（計画研究 C01）

研究代表者 山田 誠二（国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・教授）
研究分担者 小林 一樹（信州大学・学術研究院・准教授）
寺田 和憲（岐阜大学・工学部・准教授）
松井 哲也（成蹊大学・理工学部・助教）（平成 30 年度～）

（計画研究 C02）

研究代表者 今井 倫太（慶應義塾大学・理工学部・教授）
研究分担者 小野 哲雄（北海道大学・情報科学研究科・教授）
大澤 博隆（筑波大学・システム情報系・助教）
篠沢 一彦（株式会社国際電気通信基礎技術研究所・知能ロボティクス研究所・連携研究員）
長谷川 孔明（豊橋技術科学大学・情報・知能工学系・助教）（平成 30 年度～）

公募研究

（公募研究 A01）

研究代表者（H27-H30） 池上 高志（東京大学・総合文化研究科・教授）
研究代表者（H27-H28） 三輪 和久（名古屋大学・情報科学研究科・教授）
研究代表者（H27-H28） 島田 敬士（九州大学・基幹教育院・准教授）

（公募研究 A02）

研究代表者（H27-H30） 高橋 英之（大阪大学・基礎工学研究科・特任講師）
研究代表者（H27-H28） 大森 隆司（玉川大学・工学部・教授）
研究代表者（H29-H30） 望山 洋（筑波大学・システム情報系・准教授）

(公募研究 B01)

研究代表者 (H27-H30) 山本 真也 (神戸大学・国際文化科学研究科・准教授)

研究代表者 (H27-H30) 池田 和司 (奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授)

(公募研究 C01)

研究代表者 (H27-H28) 櫻井 翔 (東京大学・情報理工学系研究科・客員研究員)

研究代表者 (H27-H30) 森田 純哉 (静岡大学・情報学部・准教授)

研究代表者 (H27-H30) 三浦 純 (豊橋技術科学大学・情報・知能工学系・教授)

研究代表者 (H29-H30) 熊崎 博一 (金沢大学・子どものこころの発達研究センター・特任准教授)

研究代表者 (H29-H30) 渡辺 哲陽 (金沢大学・フロンティア工学系・教授)

(公募研究 C02)

研究代表者 (H27-H28) 飯塚 博幸 (北海道大学・情報科学研究科・准教授)

研究代表者 (H27-H30) 硯川 潤 (国立障害者リハビリセンター・福祉機器開発部・福祉機器開発室長)

研究代表者 (H29-H30) 並木 明夫 (千葉大学・工学研究科・准教授)

研究代表者 (H29-H30) 西川 鋭 (東京大学大学院・情報理工学系研究科・助教)

交付決定額 (配分額)

計画研究

	配分額 (合計)	直接経費	間接経費
X00 班	126,230 千円	97,100 千円	29,130 千円
A01 班	108,680 千円	83,600 千円	25,080 千円
A02 班	73,840 千円	56,800 千円	17,040 千円
B01 班	87,360 千円	67,200 千円	20,160 千円
C01 班	101,400 千円	78,000 千円	23,400 千円
C02 班	111,410 千円	85,700 千円	25,710 千円

公募研究

	研究代表者	研究期間	配分額 (合計)	直接経費	間接経費
A01 班	池上 高志	H27-H28	11,960 千円	9,200 千円	2,760 千円
A01 班	三輪 和久	H27-H28	12,480 千円	9,600 千円	2,880 千円
A01 班	島田 敬士	H27-H28	10,920 千円	8,400 千円	2,520 千円
A01 班	池上 高志	H29-H30	11,960 千円	9,200 千円	2,760 千円

A02 班	高橋 英之	H27-H28	11,570 千円	8,900 千円	2,670 千円
A02 班	大森 隆司	H27-H28	11,570 千円	8,900 千円	2,670 千円
A02 班	望山 洋	H29-H30	11,570 千円	8,900 千円	2,670 千円
A02 班	高橋 英之	H29-H30	8,710 千円	6,700 千円	2,010 千円
B01 班	山本 真也	H27-H28	9,490 千円	7,300 千円	2,190 千円
B01 班	池田 和司	H27-H28	12,090 千円	9,300 千円	2,790 千円
B01 班	山本 真也	H29-H30	10,270 千円	7,900 千円	2,370 千円
B01 班	池田 和司	H29-H30	12,220 千円	9,400 千円	2,820 千円
C01 班	櫻井 翔	H27-H28	11,310 千円	8,700 千円	2,610 千円
C01 班	森田 純哉	H27-H28	8,190 千円	6,300 千円	1,890 千円
C01 班	三浦 純	H27-H28	7,800 千円	6,000 千円	1,800 千円
C01 班	熊崎 博一	H29-H30	11,440 千円	8,800 千円	2,640 千円
C01 班	渡辺 哲陽	H29-H30	11,570 千円	8,900 千円	2,670 千円
C01 班	森田 純哉	H29-H30	11,180 千円	8,600 千円	2,580 千円
C01 班	三浦 純	H29-H30	7,150 千円	5,500 千円	1,650 千円
C02 班	飯塚 博幸	H27-H28	11,310 千円	8,700 千円	2,610 千円
C02 班	硯川 潤	H27-H28	11,310 千円	8,700 千円	2,610 千円
C02 班	並木 明夫	H29-H30	11,570 千円	8,900 千円	2,670 千円
C02 班	西川 鋭	H29-H30	11,570 千円	8,900 千円	2,670 千円
C02 班	硯川 潤	H29-H30	10,790 千円	8,300 千円	2,490 千円

研究発表

雑誌論文・解説記事

X00 班 (合計 4 件)

- ・ 植田一博: 『認知的インタラクションデザイン学』の展望: 時間的な要素を組み込んだインタラクション・モデルの構築を目指して, 認知科学 (査読無), 24(2), pp.220-233 (2017.6).
- ・ 植田一博, 小野哲雄, 今井倫太, 長井隆行, 竹内勇剛, 鮫島和行, 大本義正: 意思疎通のモデル論的理解と人工物設計への応用, 人工知能 (査読無), 31(1), pp.3-10 (2016.1).

A01 班 (計画研究: 合計 28 件, 公募研究: 合計 2 件)

- ・ 吉岡源太, 竹内勇剛: 互恵的な関係を築くための配慮に基づく身体的なアプローチ, ヒューマンインタフェース学会論文誌 (査読有), 20(4), pp.417-426 (2018.11).
- ・ Fujisaki, I., Honda, H., & *Ueda, K.: Diversity of inference strategies can enhance the

wisdom-of-crowds effect, Palgrave Communications (査読有) , 4:107. (2018.9).

- ・ 本田秀仁, 松井哲也, 大本義正, *植田一博: 旅行相談場面の販売員-顧客間のインタラクティブなコミュニケーション: 販売員のスキルの違いに見る心的状態の推定と非言語行動の分析, 電子情報通信学会論文誌 (査読有) , J101-D(2), pp.275-283 (2018.2).

A02 班 (計画研究: 合計 12 件, 公募研究: 13 件)

- ・ 大森隆司: 試論: 人はなぜ感情を持つのかー行動決定における感情の計算論的役割, 人工知能学会誌特集「人工知能と Emotion」(査読無) , 31(5), pp.710-714, (2016.10).
- ・ Nakamura, T. & Nagai, T.: Ensemble-of-Concept Models for Unsupervised Formation of Multiple Categories, IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (査読有) , 10(4), pp.1043-1057 (2018.12).
- ・ Abe, K., Shiomi, M., Pei, Y., Zhang, T., Ikeda, N., & Nagai, T.: ChiCaRo: tele-presence robot for interacting with babies and toddlers, Advanced Robotics (査読有) , 32(4), pp.176-190 (2018.6).

B01 班 (計画研究: 合計 33 件, 公募研究: 5 件)

- ・ Katayama, M., Kubo, T., Yamakawa, T., Fujiwara, K., Nomoto, K., Ikeda, K., Mogi, K., Nagasawa, M. & Kikusui, T.: Emotional contagion from humans to dogs is facilitated by duration of ownership. Frontiers in psychology (査読有) , 10:1678 (2019).
- ・ Nakamura, K., Takimoto-Inose, A., & Hasegawa, T.: Cross-modal perception of human emotion in domestic horses (*Equus caballus*), Scientific Reports (査読有) , 8:8660 (2018.6).
- ・ Kumashiro, M., & Samejima, K: Social-Touch approach for making eye contact and attenuating the annoying behavior in monkeys, Journal of Neurological Disorders & Stroke (査読有) , 6(3):1144. (2018).
- ・ 大北碧, 二瓶正登, 西山慶太, 澤幸祐: ヒト-ウマインタラクティブにおける「人馬一体」感とは何か? 認知科学 (査読有) , 25, pp.392-410 (2018).

C01 班 (計画研究: 合計 30 件, 公募研究: 24 件)

- ・ Song, S., & Yamada, S.: Ambient Lights Influence Perception and Decision-Making, Frontiers in Psychology (査読有) , 9:2685, (2019.2).
- ・ Terada, K., & Yamada, S.: Mind-Reading and Behavior-Reading against Agents with and without Anthropomorphic Features in a Competitive Situation, Frontiers in Psychology (査読有) , 8:1071 (2017.7).
- ・ 松井哲也, 山田誠二: ユーザの信頼を誘発する商品推薦エージェントデザインー感情と知識量の遷移による信頼向上ー, 人工知能学会論文誌 (査読有) , 32(2), pp.C-G92_1-10 (2017.1).

C02 班（計画研究：合計 23 件，公募研究：3 件）

- ・ Osawa, M., Imai, M. : A Robot for Test Bed Aimed at Improving Telepresence System and Evasion from Discomfort Stimuli by Online Learning, *International Journal of Social Robotics* (査読有) , <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00551-w> (2019).
- ・ 松元崇裕,後藤充裕,石井亮,渡部智樹,山田智広,今井倫太: 複数ロボットとの位置関係がユーザの対話負荷に与える影響, *情報処理学会論文誌* (査読有) , 60(2), pp.340-353 (2019.2).
- ・ 水丸和樹, 坂本大介, 小野哲雄: 複数ロボットの発話の重なりによって創発する空間の知覚, *情報処理学会論文誌* (査読有) , 59(12), pp.2279-2287 (2018.12).

学会発表（国際会議）

X00 班（計画研究：合計 8 件）

- ・ Ueda, K.: Cognitive Interaction Design: A Model-Based Understanding of Communication and its Application to Artifact Design, *HAI2014 Workshop on Cognitive Interaction Design*. (2014.10). (@Tsukuba, Japan)
- ・ Wang, M., Nagasawa, M., Samejima, K., Kikusui, T., & Ueda, K.: The change of social competence and free interaction with human in rescue dogs, *Proceedings of the 54th Annual Conference of the Animal Behavior Society (ABS 2017)*. (2017.6). (@Toronto, Canada)

A01 班（計画研究：合計 62 件，公募研究：11 件）

- ・ Ohmoto, Y., Kumano, S., & Nishida, T.: Induction of an active attitude by short speech reaction time toward interaction for decision-making with multiple agents, *Proceedings of 24th annual meeting of the intelligent interfaces community and serves as a premier international forum for reporting outstanding research and development on intelligent user interfaces (IUI2019)*, pp. (2019.3). (@Los Angeles, US)
- ・ Kabashima, S., Inoue, Y., Saito, D., & *Minematsu, N.: DNN-based scoring of language learners' proficiency using learners' shadowings and native listeners' responsive shadowings, *Proc. SLT2018*, pp. (2018.12). (@Athens, Greece)
- ・ Tohyama, S. & Takeuchi, Y. How to Improve Children's Understanding of Code: A Preliminary Study Using the Jigsaw Method for Computer Programming in Elementary School. *IFIP TC3 Open Conference on Computers in Education* (2018.06). (@Linz, Austria)

A02 班（計画研究：合計 40 件，公募研究：7 件）

- ・ Ichikawa, J., Mitsukuni, K., Hori, Y., Ikeno, Y., Alexandre, L., Kawamoto, T., Nishizaki, Y., & Oka, N.: Analysis of How Personality Traits Affect Children's Conversational Play

with an Utterance-Output Device, The 9th Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics (ICDL-EPIROB 2019), doi: 10.1109/DEVLRN.2019.8850700 (2019.8). (@Oslo, Norway)

- Matsushima, A., Kanajiri, R., Hattori, Y., Fukada, C., and Oka, N.: Stepwise Acquisition of Dialogue Act Through Human-Robot Interaction, The 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), to appear (2019.7). (@Budapest, Hungary)
- Shinohara, Y., Mitsukuni, K., Yoneda, T., Ichikawa, J., Nishizaki, Y., & Oka, N.: A Humanoid Robot can Use Mimicry to Increase Likability and Motivation for Helping, Proceedings of the 6th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2018), pp.122-128 (2018.12). (@Southampton, UK)

B01 班 (計画研究 : 合計 3 件, 公募研究 : 2 件)

- Yamamoto, S.: When to learn from others: chimpanzees' social learning of tool-use techniques, The 25th Congress of the International Primatological Society. (2014.8). (@Hanoi, Vietnam)
- Sakamaki T., Mulavwa M., Ryu H., Takemoto H., Tokuyama N., Yamamoto S., Yangozene K., & Furuichi T.: Intergroup relationships in bonobos at Wamba: chronological variation in a long-term study, The 25th Congress of the International Primatological Society. (2014.8). (@Hanoi, Vietnam)
- Ryu H., Sakamaki T., Yamamoto S., & Furuichi T.: Mothers make alpha males: mother-dependent dominance changes among male bonobos at Wamba, The 25th Congress of the International Primatological Society. (2014.8). (@Hanoi, Vietnam)

C01 班 (計画研究 : 合計 33 件, 公募研究 : 6 件)

- Matsui, T. & Yamada, S.: The Effect of Subjective Speech on Product Recommendation Virtual Agent, Proceedings of the 24rd International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI2019). (2019.3). (@Los Angeles, US)
- Song, S., & *Yamada, S.: Designing Expressive Lights and In-Situ Motions for Robots to Express Emotions, Proceeding of the 6th International Conference on Human Agent Interaction (HAI2018), pp.311-316 (2018.12). (@Southampton, UK)
- Komatsu, T., Kobayashi, K., Yamada, S., Funakoshi, K., & Nakano, M.: Response Times when Interpreting Artificial Subtle Expressions are Shorter than with Human-like Speech Sounds, Proceedings of the 35th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2017), pp.3501-3505 (2017.5). (@Denver, US)

C02 班 (計画研究 : 合計 59 件, 公募研究 : 9 件)

- Fukuchi, Y., Osawa, M., Yamakawa, H., Takahashi, T., & Imai, M.: Bayesian Inference of

Self-intention Attributed by Observer, Proceedings of 6th International Conference on Human-Agent Interaction, pp.3-10 (2018.12).(@Southampton, UK)

- ・ Okuoka,K., Takimoto,Y., Osawa,M., & Imai,M.: Semi-Autonomous Telepresence Robot for Adaptively Switching Operation using Inhibition and Disinhibition Mechanism, Proceedings of 6th International Conference on Human-Agent Interaction, pp.167-175 (2018.12). (@Southampton, UK)
- ・ Matsumoto,T., Goto,M., Ishii,R., Watanabe,T., Yamada,T., & Imai,M.: Where Should Robots Talk?: Spatial Arrangement Study from a Participant Workload Perspective, Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp.270-278 (2018.3). (@Chicago, USA)

図書

X00 班 (合計 2 件)

- ・ 山田誠二, 小野哲雄: マインドインタラクシオン—AI 学者が考える《ココロ》のエージェント—, 近代科学社 (2019.9).

A01 班 (計画研究: 合計 7 件)

- ・ 内村直之, 植田一博, 今井むつみ, 川合伸幸, 嶋田総太郎, 橋田浩一 [著]: 「はじめての認知科学」, 新曜社 (2016.3).

A02 班 (計画研究: 合計 9 件)

- ・ 深田智: 身体表現活動セッションでの指導者と子どもたちとのインタラクシオン: 相互適応の第 3 段階, 米倉よう子・山本修・浅井良策 (編): 「ことばから心へ—認知の深淵—」, 開拓社 (2020.3).

B01 班 (計画研究: 合計 7 件)

- ・ 瀧本彩加・友永雅己: 社会的知性に関わる方法 (5 章), pp.372-373, 坂上貴之・河原純一郎・木村英司・三浦佳世・行場次朗・石金浩史 (編): 「基礎心理学実験法ハンドブック」, 朝倉書店 (2018).

C01 班 (計画研究: 合計 6 件)

- ・ 馬場口登, 山田誠二 (著): 「人工知能の基礎(第 2 版)」, オーム社 (2015.2).

C02 班 (計画研究: 合計 1 件)

- ・ 今井倫太 (著): 「インタラクシオンの認知科学」, 新曜社 (2018.6).

産業財産権

出願

なし

取得

なし

その他

- ・ 受賞：ドコモモバイルサイエンス賞社会科学部門最優秀賞「人と関係を構築してコミュニケーションするロボットの実現」（2017年10月20日）（計画研究 C02：今井倫太）
- ・ 受賞：2015年度日本心理学会国際賞奨励賞（2015年9月21日）（公募研究 B01：山本真也）
- ・ 国際学会における基調講演：The 26th Annual Meeting of the International Behavioral Neuroscience Society（2017年6月29日）（計画研究 B01：永澤美保）
- ・ 国際学会における招待講演：ICAR2015（2015年7月27日）（計画研究 A02：長井隆行）
- ・ 国際学会における招待講演：HAI2014 Workshop on Cognitive Interaction Design（2014年10月28日）（計画研究 X00：植田一博）

研究成果

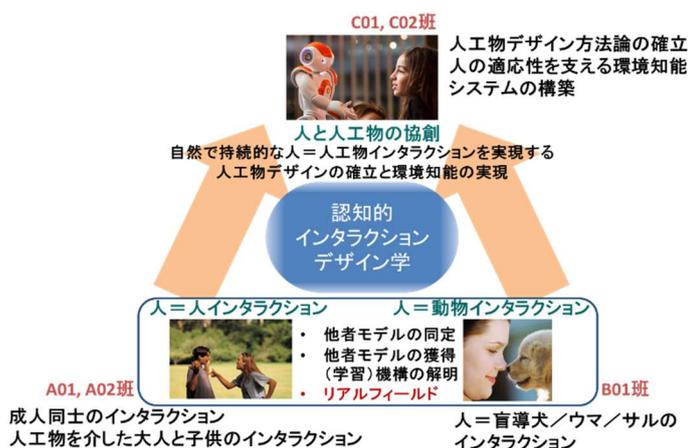
相手が人であれ動物であれ、人は相手の心的状況（意図等）を読み取り、それに適応した行動を取ることを繰り返すことで、円滑にコミュニケーションを行っていると考えられる。人と人工物が自然にインタラクションを行うには、コミュニケーションの中での、人のこのような心的状態推定に基づく適応的で持続的な関係性を、人-人工物間にも成立させることが重要である。そのためには、人が、どのような状況で、どのような相手に対して、どのような

他者モデル（他者の行動を理解・予測するための認知モデル）をもつのかを、またインタラクションの中で他者モデルをいかに学習、更新していくのかを明らかにする必要がある。そこで本領域では、人-人工物間の自然なインタラクションを実現するために、他者の行動を理解・予測するのに必要で、かつ状況に応じて変化する認知モデルである他者モデルを認知科学的に分析し、他者モデルによるユーザの

心的状態推定に基づいて、ユーザに自律的かつ持続的に適応できる人工物を設計・構築するための基盤理論である**認知的インタラクションデザイン学**を確立することを目指した。具体的には、成人間、子供-大人間、人-動物間という性格の異なる他者とのインタラクションの分析を通じて、自然で持続的な人-人工物インタラクションの設計を目指す（右上図）。具体的な研究項目は以下の通りである。

【研究項目 1】人-人インタラクションにおける他者モデルに基づく適応メカニズムの認知的科学的分析とモデル化：人-人インタラクションにおいて、人がどのような状況でどのような他者モデルをもち、それにしたがってどのようにインタラクションを行っているのか、またインタラクションの中で他者モデルがどのように学習、変更されるのかを認知的科学的に分析した。その際、人-人インタラクションの根幹となっている記号的側面ばかりでなく、非言語的側面（発話音声に含まれる韻律情報、視線や動作）にも焦点を当てた。成人間のインタラクションの分析（**項目 1-1**）と子供-大人間の（特にロボットとの遊びを介した）インタラクションの分析（**項目 1-2**）を行った。項目 1-1 を**研究計画班 A01** が、項目 1-2 を**研究計画班 A02** が担当した。

【研究項目 2】人-動物インタラクションにおける他者モデルに基づく適応メカニズムの認知的科学的分析とモデル化：上記と同様な分析を人と動物のインタラクションでも実施した。例えば、動物が餌や人の教示（言葉）に含まれる韻律特徴（怒った／褒めた声に現れる普遍的な特徴）などの一次報酬系からいかにお手などの言葉の意味を学習し、さらに獲得された



言葉という二次報酬系をも利用していかに人の心的状態を推定するのか、また人という教示者が動物の学習状況に応じていかに教示を変化させるのかを中心に分析し、人ならびに動物の他者モデルに基づく適応過程のモデル化を目指した。研究計画班 B01 が担当した。

【研究項目 3】自然で持続的な人-人工物インタラクションを実現する人工物デザインの確立と環境知能の実現：上記の分析に基づき、人の持続的な適応を引き出す人工物（アプライアンスのエージェント化）のデザイン方法論の確立を目指した（項目 3-1）。特に人工物設計について、「可愛い」「操作が簡単」等の美的センスや操作性の基準ではなく、ユーザとの自然で持続的なインタラクションの観点から新しい設計基準を提案し、その妥当性を実験的に検証した。さらに、ナビゲーション等での状況に応じたユーザへの情報提供の実現や、人の意図に応じて適応的に振る舞える人工物の実現を通して、人の適応性を支える環境知能システムを構築した（項目 3-2）。項目 3-1 を研究計画班 C01 が、項目 3-2 を研究計画班 C02 が担当した。

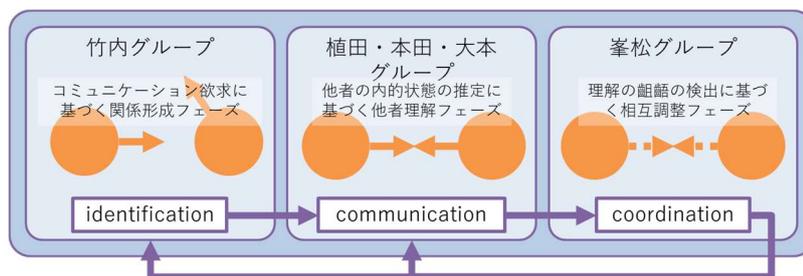
以下、研究項目ごとに得られた成果をまとめる。

研究項目 1：人-人インタラクションにおける他者モデルに基づく適応メカニズムの認知科学的分析とモデル化

項目 1-1：成人間のインタラクションの分析

【概要】

本研究では、非言語情報を利用した他者の内部状態推定の動的な過程（インタラクションで人がどのような他者モデルをもち、それにしたがってどのようにインタラクションが行われ、他者モデルがどのように変更されるのか）の分析を通して、他者の内部状態推定を行う際に人が利用している認知モデル、すなわち他者モデルを明らかにした。特に成人同士および成人と人工物間のインタラクションを分析の対象とした。コミュニケーションにおける非言語情報を利用した他者の内部状態推定の動的な過程には、コミュニケーション開始時におけるコミュニケーション欲求に基づく関係形成のフェーズ、顧客と店員とのコミュニケーションに代表される、コミュニケーションを通じた他者の内定状態（価値や選好など）の推定に基づく他者理解フェーズ、さらに理解の齟齬の検出に基づく相互調整のフェーズの 3 つがある。本研究ではこれら 3 つのフェーズすべてを研究対象とした（右上図）。



コミュニケーション開始時におけるコミュニケーション欲求に基づく関係形成のフェーズに関しては特に、相手に対する情動的な内部状態に基づく主体間の距離と位置関係の動的な変化を伴う原初的なインタラクションに注目し、各主体のコミュニケーション場の成立欲求を推定するための認知モデルを構築した。そのため、インタラクションの主体の視覚

的信息、言語やジェスチャー、ポスターなどのシンボリックな情報を排除したミニマムなインタラクションを行える実験環境を構築した。その中で、様々な制約の下でのインタラクションを観察し、人間同士が他者認知を行なう上での原初的な側面、すなわち身体的なインタラクションの過程を説明するための基礎データを得た。さらに、実験データを用いた計算シミュレーションを通して、インタラクションの形成段階における認知過程の計算論モデルを構築し、行動レベルにおけるモデルの妥当性を検証した。

コミュニケーションを通じた他者の内定状態（価値や選好など）の推定に基づく他者理解フェーズに関しては特に、対面販売状況における顧客の意図推定を可能にする他者モデルの分析を行った。そのために、旅行代理店の店員が客の要望を聞き出してプランを提案する際の対話を分析した。この分析を通して、当初は客自身も気づかなかったような潜在的な選好が対話を通して導き出される過程を明らかにし、a)客の選好がどのような非言語的な反応に現れるのか、b)店員は客の反応をどのように知覚するのか、c)客の選好の知覚が店員の提案にどのように利用されるのか、d)店員の熟達度に応じて価値選好推定過程は異なるのか、に関する知見を得た。

理解の齟齬の検出に基づく相互調整のフェーズに関しては特に、非母語コミュニケーションを対象とした訛りに起因するミス・コミュニケーションの分析と、ある訛りを有する話者がどのような訛りに苦手意識をもつのかという選好の自動推定の検討や、非母語話者音声に対して聴取者が感じる聴き取り難さの自動推定に関する検討を行った。

以上の通り、人同士のコミュニケーションのどのフェーズにおいても、インタラクションの成否を決める要因を計算論モデリングの手法により特定し、そのようなコミュニケーションで用いられている他者モデルの一端を明らかにできた。

【研究事例】

以下、上述した3つのフェーズのそれぞれについて、代表的な研究事例を紹介する。

事例 1-1-1: 他者との遭遇場面における行動のモデル化—インタラクションの開始条件の解明と内部状態の推定（コミュニケーション開始時におけるコミュニケーション欲求に基づく関係形成のフェーズ）

複数の個体間の相対的な位置関係から各個体の内部状態とそれに基づく行動を推定・予測する認知モデルを計算論的表現として構築し、その妥当性を検証するとともに、独立した複数の個体がある環境内で身体的なインタラクションを開始する物理的・認知的条件を前述の認知モデルを通して解明することを目的とした。

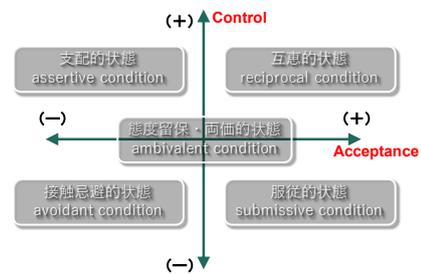
モデル構築のためのデータを取得するために実施した実験を含む研究の手続きは以下の通りである。

- ① 右図に示すように、2つの部屋にそれぞれ別の部屋の人の移動（位置・向き）と同じ動きをするローバー型ロボットを用意し、それぞれの部屋における人-ロボット間のインタラクションを観察し、人の移動データおよび発話プロトコルを計測・記録した。
- ② ①のデータを解析し、物理的空間の構造に基づく原初的なインタラクションを支える動因を抽出した。
- ③ ②で得た動因に基づき他者とのインタラクションを行って人の内部状態とその行動とを対応づける計算論的に記述された認知モデルを構築した。
- ④ ③で仮定された認知モデルから予測される人の内部状態と行動を①のデータと照合・フィッティングし、認知モデルから推定される人の内部状態と一致していることを確認した。



観察実験の様子

以上の結果、他者とのインタラクションに臨む人の内部状態は、自分から相手へ作用することに対する動因 (Control) と相手から自分へ作用することに対する動因 (Acceptance) の2つの変数により2次元空間として表すことができた (右上図)。



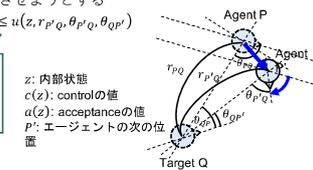
インタラクションの2次元構造

また、自分から相手への作用と相手から自分への作用のそれぞれの強さは、相手との身体配置によって決まり、行動は相互の身体配置（距離・相手の位置との角度）を変化させる機能として定義でき、2者間のインタラクションはそれぞれの内部状態に基づく効用関数を最大化しようとする志向によって成立することが明らかになった (右図)。

・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
 - ・ $u(\cdot) = c(z)\alpha_{PQ} + a(z)\alpha_{QP}$
 - ・ $= c(z)f(r_{PQ}, |\theta_{PQ}|) + a(z)f(r_{QP}, |\theta_{QP}|)$
- ・ 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
 - ・ $u(z, r_{PQ}, \theta_{PQ}, \theta_{QP}) \leq u(z, r_{P'Q}, \theta_{P'Q}, \theta_{QP'})$

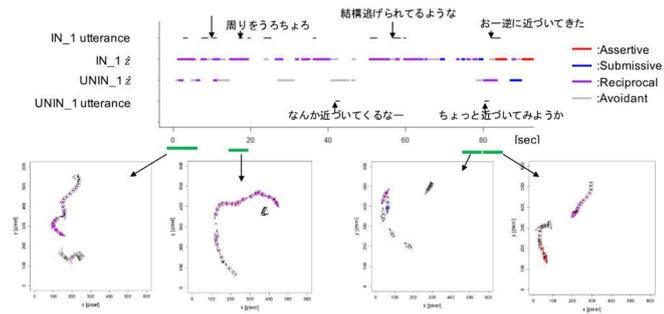
自身の内部状態、距離、相対角度に応じて効用値が増加するように行動する (次位置を決定する)



2者間の身体配置と効用関数

そして、エージェントが内部状態に応じて行動を生成していると仮定することで、身体配置の時間的な変化からエージェントの内部状態が推定可能となる認知モデルを計算論的に構築できた (次頁の図)。

本研究を通して、インタラクション成立時の他者認知における行動と認知との関係をボトムアップな構造のもとで計算論的に示すことに成功したと言える。

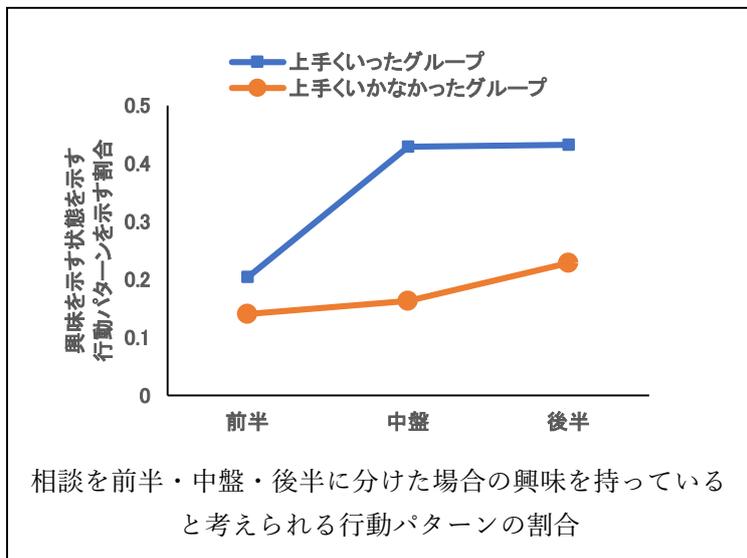


インタラクションから内部状態を推定

事例 1-1-2：対面販売状況における顧客の意図推定を可能にする他者モデルの分析（コミュニケーションを通した他者の内定状態の推定に基づく他者理解フェーズ）

本研究では、可能な限り現実に近い旅行相談場面における、顧客と販売員の 2 者間インタラクションの過程を、両者が相談中に表出する言語・非言語行動を中心に分析した。具体的には、統計モデルを用いて、30 分間の旅行相談中に言語・非言語行動を表出させる要因を確率的視点から分析し、相談の成否を決める要因について探索的に検討した。

旅行相談場面における顧客と販売員間のインタラクションでは、様々な非言語行動を表出することが示されており、これらの時系列変化がインタラクションに影響を与えている可能性がある。本研究では、顧客と販売員の両者がともに相談がうまくいったと感じた場合を相談が成功した場面と考え、相談の成否に非言語行動が果たしている役割を分析し、確率モデル（隠れマルコフモデル）に基づいて、非言語情報をもつ時系列情報の意味を探索的に検討した。その結果、相談が上手くいっているペアについては、“興味”を持っていると考えられる行動パターンが確率的に表出しやすくなること、特に相談の中盤以降にこのような行動パターンが表出しやすくなることが明らかになった（右図）。



このような知見は以下の 2

点で興味深い示唆を与える。まず、相談の成否は時系列的に決まり、中盤以降が重要な役割を果たしている可能性である。一定期間持続する事象に関する人間の評価は、事象の終盤に大きな影響を受けることが心理学研究で知られており、本研究の知見はそれと基本的に整合的である。より重要な点として、非言語行動が相談の成否において重要な役割を果たしている可能性が示された点である。身体と心の関係について、古くから様々な興味深い議論がなされ、ある心的状態が身体状態を形成する（例：“興味がある”という心的状態の時に、“前

かがみになる”)だけではなく、逆の関係、つまりある身体状態から心的状態が形成される(例:“前かがみ”という状態になることで、“興味がある”という心的状態が形成される)可能性について議論され、それを支持するような知見が従来から知られている。本研究の知見、特に相談がうまくいっている際の中盤以降に“興味がある”という身体状態が表出されやすくなる点は、身体状態のポジティブフィードバックが相談の全体的印象に影響を与えていた可能性を示唆している。

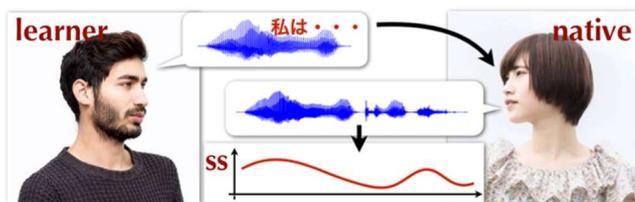
事例 1-1-3: 非母語話者音声に対して聴取者が感じる聴き取り難さの自動推定に対する検討 (理解の齟齬の検出に基づく齟齬調整のフェーズ)

少子高齢化・人口減少に伴う労働力不足を補うために、多くの外国人労働者が就労している。彼らは事前に日本語を学んでくるが、母国での学習環境において日本人相手に会話する機会は稀であり、就労後に彼らの会話能力が発端となって様々な問題が起きている。日本人が英語を学ぶ場合も、自身の音声相手に容易に伝わっているかどうかを確認する術は一般に提供されない。母語話者のような発音でなくても十分通じるが、相手に負担感を与えずに理解してもらえているかを確認する術がない。その一方で、どのような発音であっても学習者自身には自分の音声は聞き取り易い。この事実が独りよがりの発音学習へとつながり、その発音が固定化すると修正できなくなる(発音の化石化)。

外国人の音声を母語話者が聞き取る時に感じる負担感を、聴取者の脳活動や瞳孔サイズに求める先行研究があるが、高価な計測技術が必要となり、教育的には不向きである。本研究では、聴取者に学習者音声をシャドーさせ、1) シャドーイング音声の崩れを定量的に計測し、2) シャドー時の表情を解析することで、聴取時の負担感をあぶり出すことを検討した。本検討は、聴取者という他者が、どのような音声を聴取した時に負担感を感じるのかをモデル化するために必要となるコーパス収集に相当する。

シャドーイングは本来、学習者が母語話者の音声を聞き、理解し、即座に再生する、という複数のタスクを並列に行うことで、音声の聞き取り(音声の音韻表象化)を自動化する訓練方法として使われる。本研究では、シャドーする側、シャドーされる側を逆転させ、(母語話者のような発音ではないが)聴取者が負担感を感じずに理解できているのかをあぶり出す手段として、母語話者にシャドーさせている(右上図)。また、シャドー時の表情解析を筋電センサーにより行った。こめかみ付近に筋電センサーをとりつけ、シャドー時の筋電の動きをデータ化し、分析した(右下図)。

シャドーイング音声は DNN 音声認識のフロントエ



母語話者によるシャドーイング



筋電センサーによる表情解析

ンド部を利用して音素事後確率ベクトル化し、意図されたと想定できる音素列に対する GOP (Goodness Of Pronunciation) スコアを計算した。GOP スコアは聴取者に提示した学習者音声に対しても計算できる。実験の結果、聴取者が感じる聞き取り易さと相関が高いのは、シャドー音声の GOP であった。学習者音声の GOP スコアは発音評価タスクで広く使われるスコアであるが、聞き手の負担感を議論する場合は、学習者音声ではなく、聴取動作（ここではシャドー）を対象として計測することが良いことが示された。表情解析分析においても、筋電センサーに基づく計測値は聞き取り易さと高い相関を示したが、どのような表情が聞き取り易さと相関するのかは、聴取者に大きく依存した。母語話者シャドーイングは、学習者音声に対して「聴解の容易さ」をラベルとしてアノテーションデータを作る作業として解釈できる。すなわち、前頁の「母語話者によるシャドーイング」の図に示すような聴解の容易さ（可解性）を系列データとしてアノテーション化することを検討したわけだが、これは学習者音声から可解性を自動推定するモデル（他者モデル）の構築が検討可能となったことを意味する。

項目 1-2：子供-大人間の（特にロボットとの遊びを介した）インタラクションの分析

【概要】

本研究課題では特に子どもと大人のインタラクションに着目し、他者モデルを基盤としたインタラクションの心的ダイナミクスを解明することを目指す。他者モデルとは、他者の心的状態を推定して行動を理解・予測するための他者に関する認知モデルである。本課題の具体的な研究内容は、次の3つである。

- (1) 本課題の中心となる他者モデルがいかなるものであるかを明確化するために、他者モデルを発達という視点で捉え、計算モデルを創出した。ここでは、機械学習を用いることで、他者モデルの計算モデルを構築した。そして、他者モデルを運用し相手の意図を予測することで、自身の行動を決定するプロセスを明らかにした。シミュレーションに基づく実証、フィールド実験データとの比較、ロボットへの実装・評価を行った。
- (2) 他者モデルを運用したエージェント同士が、相互に適応するダイナミックな心的過程を明らかにした。シミュレーション、実験による検証・評価、応用と段階的に研究を進めた。
- (3) 計算モデルの構築や、実証・評価のための実験パラダイムやセンシング・データ解析手法を確立した。実験では、子どもと大人が操作する遠隔対人ロボットのインタラクションを利用した。また、子どもの集団インタラクションの場면을計測・解析するための手法開発し、上記の課題を実現するための一助とした。

これら3つの課題について、次の成果を上げた。(1)に関しては、確率モデルや深層学習を用いたモデルを提案し、このモデルが保育士と子どものインタラクション実験の知見に合致する振る舞いを表現できることを示した。特に、確率的生成モデルを用いたモデル化では、他者の性格に相当するパラメータ推定が、インタラクションの質を決める要因となる

可能性を示唆した。実際の保育士と子どもの遊びでは、インタラクションの初期に保育士が子どもの性格を推定することでその後の遊び方策を決定していることが実験の結果明らかになっており、確率的生成モデルの振る舞いは、フィールド実験の結果と整合的である。また、深層学習モデルをロボットに実装し、他者モデルを用いて人の意図を予測しつつ棚の片づけを協働する実験を行い、モデルが有効に機能することを確認した。(2)に関しては、(1)で開発したモデルを相互適応させることができることをシミュレーションで示した。さらに、マルチエージェント敵対的模倣学習を用いたモデルを提案し、身体や環境の違いが役割分担を創出することを示した。(3)に関しては、一対一のインタラクションデータを収集するための実験と、リトミックと呼ばれる場における子どもの集団的な振る舞いデータを収集するリアルフィールド実験を設計し、それらデータの解析手法を開発した。さらに、得られた具体的な成果をもとに、子育て支援ロボット開発のスタートアップや、企業との共同研究を進めた。以上の点から、設定した研究課題はほぼ達成された。

本課題の領域に対する貢献は次の通りである。本領域は、他者モデルの解明を目指したが、本課題では、機械学習を基盤としてそれを追及することで成果を得た。そして、定性的ではあるが、子ども-大人インタラクション実験の結果との比較を行い、その有効性を示した。

【研究事例】

事例 1-2-1：他者モデルのモデル化に関する研究

他者と親密な関係性を築くことを目的として、好意に至る因果関係モデルの構築と、他者モデルの相互作用を考慮した行動決定手法を提案し、その動作をシミュレーションによって検討した(図1)。その結果、提案モデルを持つエージェント同士のインタラク

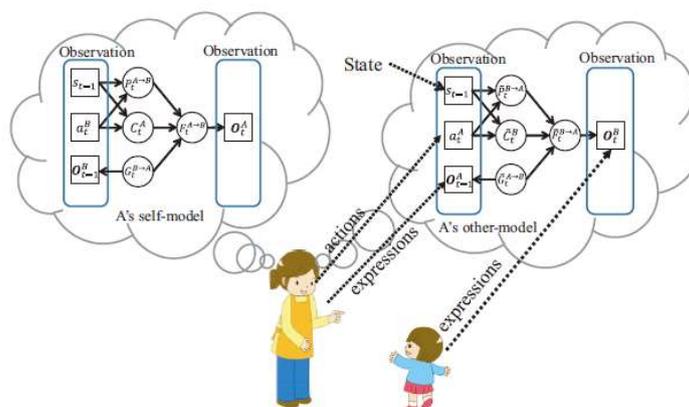
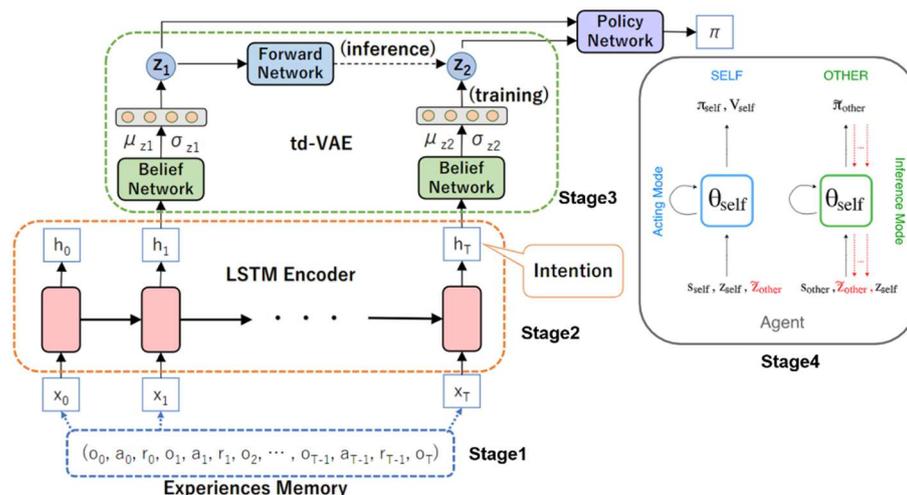


図1 確率モデルを用いた他者モデルのモデル化

ションでは、好意報酬を重視したメタ戦略を取ることで、相手の好意を高めるような行動選択が可能となることが、シミュレーションによって明らかとなった。また、たとえ自分と相手が異なる性質の自己モデルを持っていたとしても、自分の他者モデルを相手の自己モデルに合わせることで、好意を高めるような行動選択が可能となることが示唆された。さらに、他者の行動パターンを分類し、他者の性格に相当する事前分布を学習可能なモデルを提案し、保育士が子どもの性格を考慮しながら親密な関係性を築く行動を説明可能なことが示唆された。

本研究ではさらに、このモデルを深層学習モデルによって構築することで、交互に積み木を積むようなより複雑なタスクにおいて他者モデルを用いた相互作用を実現するフレームワークを提案した。そして最終的に、子どもの他者モデル発達段階を再現する下図のようなモデルを構築した。このモデルでは、まず自身の行動を強化学習で学習する探索の Stage1、自身の意図やゴールを認識する Stage2、その認識が他者モデルとして分離し、相手の意図やゴールが認識される Stage3、自身のモデルと他者モデルが協調することで、ゴールが共有・達成される Stage4 が深層学習モデルによって表現されている。そしてモデルの働きをシミュレーションによって調べた。

これら一連の研究の領域に対する貢献は、他者モデルのメカニズムの一端を、計算モデルとして示したことにある。

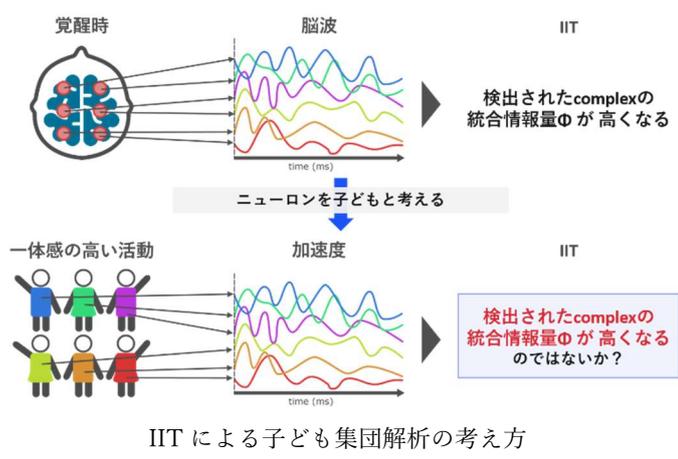


深層学習を用いた他者モデルの発達段階のモデル化

事例 1-2-2：子どもの集団の一体感に関する研究

リトミックと呼ばれる子どもの集団活動を縦断的に計測・解析することで、集団における「一体感」の存在や客観的な指標を研究した。まず、子どもの動きを加速度センサで計測し、子どもの加速度信号のすべての対の組み合わせに対して相互相関関数を計算することで、年齢による模倣の変化を評価した。その結果、子ども達の動きの類似度が2.5歳頃には非同期であったものが4歳頃には同期し、5歳頃になると再び非同期となることが明らかになった。この結果では、2.5歳頃と5歳頃は同程度非同期であったが、この解析で使用した場面の映像を見ると、2.5歳頃の行動と5歳頃の行動には明らかに違いがあった。2.5歳頃の映像では、どのように活動をすればよいか理解できず、立ち止まったままの子どもと、活動を理解して参加している子どもの両方がいるのに対し、5歳頃の映像では、活動の意図を理解し全員が同じように活動をしていたり、役割分担を行いながら活動に参加したりしている。また、それらのシーンに対して、保育士が評価した子ども達が感じているであろう一体感は、2.5歳から5歳まで単調に増加する。こうした、2.5歳頃の行動と5歳頃の行動の違いはどこにあるのだろうか。我々は他者との相互作用において、運動が同期した時や役割を分担しながら目的を達成したとき「一体感」を感じるが、この一体感を子どもの活動において評価することで2.5歳と5歳の違いを定量的に評価できるようになると考えた。本研究では、定量的な尺度として統合情報理論(IIT)に注目した。IITは、人の意識をニューロンにおける情

報の統合によって説明しようとする理論である。この理論が正しければ、ニューロンを子どもで置き換えて考えることで、情報を統合する子どもの集団が、集団的な意識を持つ可能性がある（右図）。また、IIT では、情報の統合度合いを客観的な指標として計算することを提案しており、これにより、従来の1対1間の評価を超えて、子どもの集団に着目した客観的に評価尺度を創出できる可能性がある。



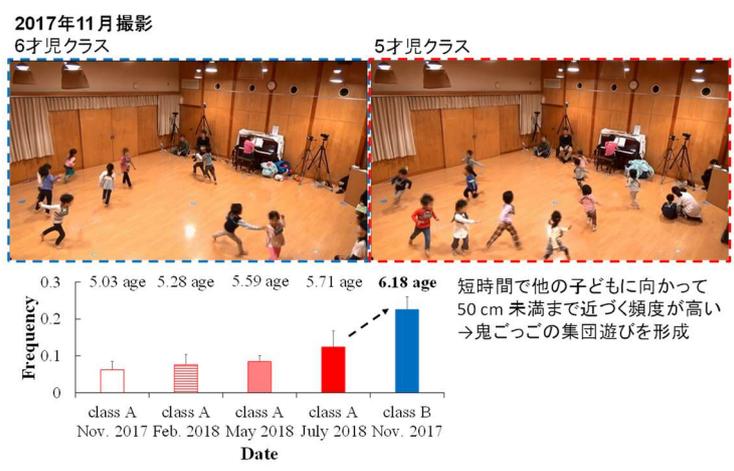
IIT による子ども集団解析の考え方

実際に子ども達のデータに IIT を適用した結果、活動における集団構造を推定できることが明らかになった。また、保育士が推定した一体感の度合いと相関する客観指標を見出すことができた。しかし、発見した客観指標は、直接的に一体感を表すものではなく、保育士が一体感を推定するために用いている手がかりであることが示唆されており、今後さらなる検討が必要である。

本研究の領域に対する貢献は、1) ソシオメータとカメラを用いた子どもたちの集団の比較的自由的な活動の計測手法の確立、2) 計測データの解析手法の確立、3) IIT を用いた子どもたちの一体感の客観指標とそのメカニズム解明への基礎的な検討結果、の3点である。

事例 1-2-3：自由に走り回る遊びの定量的な分析とモデル化

我々は、子どもの社会性を捉える新たなアプローチとして「集団運動の定量的な分析」を提案した。既存のアプローチとして、質問紙やテスト課題、統制実験、現場観察による定性的な記述がある。しかし、前3つは生態学的妥当性の問題があり、質問に関係する行動が現実においてみられるかという疑義や実験者の恣意的な介入が入ることで現実的な反応が得られない可能性に留意する必要がある。さらに、後1つは生態学的妥当性の問題をクリアしているものの、分析に膨大なコストがかかるだけでなく観察者の趣向により対象のどこに着目するかが異なってくる。そこで、これらの問題をカバーした手法として上記のアプローチを提案した。具体的には、保育園の現場に定期的に訪問



し、リトミックの身体表現活動を俯瞰撮影した。そして、ピアノの演奏に合わせて自由に走る遊びを対象に、動作解析ソフトから子どもの位置を2次元で取得した。先行研究で用いられた指標を参考に、子ども間の距離や走る方向を分析してクラス間で比較した。結果、6歳児クラスでは5歳児クラスに比べて、1秒という短時間で他の子どもに向かって50cm未満まで近づく頻度が高いことが確認された。6歳児クラスでは指導者の指示がない状況で自発的に鬼ごっこのような集団遊びを形成した。複数人が関わるような複雑な状況における他者の行動を予測する認知は6歳頃に発達することが発達心理学の先行研究で指摘されている。鬼ごっこには、複数人に対して逃げる方向を予測して捕まえる、あるいは追いかけてくる方向を予測して避けるといったより戦略的な行動が求められる。これを踏まえ、鬼ごっこ場面のモデルを、深層強化学習を用いて実装し、3人の鬼が1人を追いかける状況をシミュレートした。その結果と鬼の一人を実験参加者に置き換えた場合の集団の動きを、移動エントロピーを用いて比較したところ、両者は似た傾向を示すものの、両者の違いが移動エントロピーの平均と歪度の散布図に特徴的に表れることが分かった。これはモデルを人に近づけるための指針を発見したと言える。

この取り組みは、生態学的妥当性を考慮した10数人単位で構成されるクラスにおける子ども間インタラクションの特徴の1つを示唆した。項目1-2(3)のセンシング・データ解析手法の確立に寄与したといえる。(1)(2)の他者モデル解明にも今後貢献が期待できる。

子どもたちの動きの分析と並行して、指導者と子どもたちが発した言葉の発達的变化の分析も行った。終助詞の発話数分析等により、セッションの制御が指導者から徐々に子どもたちに移り、両者がセッションを共創する関係ができてくる様子が明らかになった。分析上の都合から上記の行動分析とこの言葉の分析の対象年齢がずれたため、両分析を統合した発達過程の総合考察は今後の課題として残った。

研究項目2：人-動物インタラクションにおける他者モデルに基づく適応メカニズムの認知的科学的分析とモデル化

【概要】

ヒト同士、ヒトと機械との共同作業や協力関係の構築において、視線やしぐさやうなずきなどの非言語コミュニケーションの時間発展と相互関係が重要であることが、社会心理学、認知心理学、社会神経科学、認知科学などの分野の一部で繰り返し指摘されてきている。しかしそれらの学問において体系化された知識や理論は存在せず、言語を介さずに他者の心的状態を認知する心理学的機構、神経基盤、計算原理はいまだに謎のままである。本研究項目では、本質的に言語を使うことができないヒトと動物との間での社会的シグナルの役割、そして、それにもとづく認知の動態に注目することで、これらの謎にせまることで、上記ヒト同士やヒトと機械の間での自然な共同作業や協力関係の構築の科学的基礎を与えることを目的とした。我々がここで「人-動物インタラクション」と呼ぶものは、言語にたよらずヒトが自然に使っている「視線」「表情」「音声（声色や舌打ちなど）」などの他者に向けら

れ他者から観測できる社会的シグナルがヒトおよび動物でどのように認知されるのか、どういった場面で作用するのか、およびその相互行為を、主に行動学的・心理学的・生理学的に計測と解析によって明らかにした。

例えば、(1)サルとヒトとがアイコンタクトすることによって、サル同士では敵対的な関係を誘発するアイコンタクトが、親和的なコミュニケーションを成立させ、遠隔物に対する指示を、サルがヒトに対して発する「指差し」や、他者の行為と同じ行為を真似する「見まね」によって誘発できることを示し、さらに社会的タッチと視線とが相互作用することを示した。単一のモダリティだけでなく多種のモダリティを通じて関係性を構築できる可能性を示唆している。(2)ヒトと生活を共にする家畜化された動物であるウマは、音声と視覚の両方のモダリティによってヒトの情動状態を認知している可能性を示唆した。さらに、(3)乗馬場面においてヒトが感じる人馬一体感が生じる過程を心理学における質的研究によって抽出することに成功し、相互の行為の時間発展が重要であることを見出した。(4)また、イヌとのインタラクション研究では、心拍数の同期という指標を用いて、ヒトとイヌとの情動状態の間に秒単位の変化と同期がみられること、その同期はヒト-イヌ間の共同生活の長さに関係することを見出した。

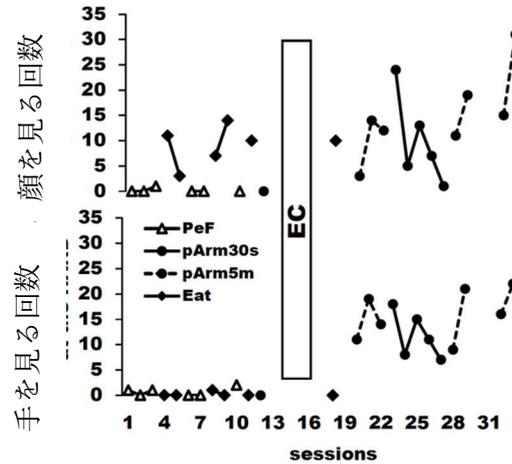
これらの研究によって、ヒト-動物インタラクションにおける、視線、タッチ、扶助、表情認知や情動変化の伝搬ダイナミクスなどを一つ一つ明らかにしてきた。また、これらの非言語のチャンネルでつながった他者との間の関係性の時間発展が「人馬一体」感という、認知状態と関係していることを質的研究によって示した。サルの視線研究は、行動学的な意味でも重要であるが、さらに今後の神経科学研究を可能にした。しかし、これらの研究から、ヒトと機械とのインタラクションの設計原理を導くことまでは到達していない。しかし、本研究項目では、秒単位・サブ秒単位の同期非同期のメカニズムと、他者の情動・認知状態の認知機構とをつなぐ原理を、心理学的・神経科学的に明らかにするための実験科学的枠組みを与えることができたと考える。特に、これらの社会的シグナルの動態を定量的に予測または制御する実験的な枠組みを与えることができ、今後の理論研究の基礎となるだろう。

【研究事例】

本研究領域において具体的な4研究事例の概要を述べる。

事例 2-1: サルの直視訓練における社会的タッチの効果 (Kumashiro M, & Samejima K (2018))

ニホンザルにヒトとアイコンタクト(直視)を訓練することで、他者に対して指差し等の社会的シグナルを通じて外部の情報を伝え、他者の注意状態を変化させることが可能であることや、動物に「見まね学習」が可能であることが示されている。このことは、ヒトの発達において、他者との直視が、その後の他者の視線認知や共同注視の発達へのトリガーとなり、他者の心の理論の獲得につながるのではないかと、という仮説が、ヒト-サル間のインタラクシ

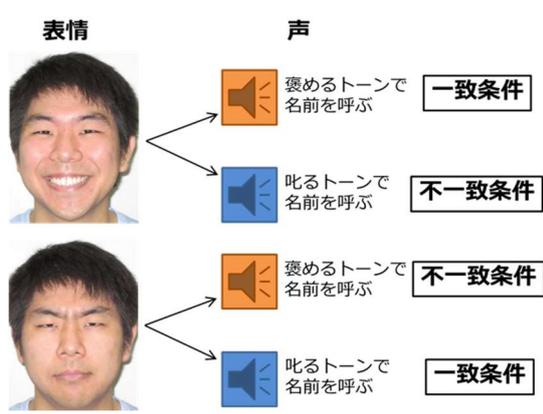


ョンにも成立し得ることを示唆している。もし直視がそのような社会的シグナルの機能を増強するのであれば、視覚以外のモダリティにおける社会的シグナルとも相互作用を持つ可能性がある。この研究では触覚情報、特にゆっくりとした弱い皮膚触覚刺激である「社会的タッチ」が直視訓練と相互作用するのかどうかについての事例研究を行った。その結果、社会的タッチの前後でサルの視線に変化があり、ヒトの顔だけでなくヒトの手をよく見るようになり、アイコンタクトが促進された。このことは、サルがヒトとのコミュニケーションを、視線を通じて確立させることに、他のモダリティである社会的タッチが有効なことを示している。すなわち、これらの多種類のモダリティを統合し、親和的または敵対的な他者とのインタラクションの信号認知が起きている可能性を示唆している。

事例 2-2: ウマは、ヒトの情動表出をどのように認識しているのか (Nakamura, K., Takimoto-Inose, A., & Hasegawa, T. (2018))

視線や指差し等のジェスチャは他人の認知状態や意図の伝達に用いられる社会的シグナルと捉えることができる。他者が外界の何を知っており、外界にどう働きかけようとしているのか、に関する情報と言い換えることもできる。一方で、他者がいま怒っているのか、イライラしているのか、それとも楽しげであるのかといった、他者の内部状態に関する情報は、顔の表情や声のトーンなどに表れる。怒っている人に近づくことは、不利な行動である場合が多く、場合によっては攻撃されることもあるだろう。他者の情動状態を知ることは、社会的相互作用の中でも重要な認知能力であると言える。ウマも社会的動物である。ウマが同種他個体の情動状態に敏感であるという報告がある。では、ヒトの表情や音声からウマはヒトの情動状態を知ることができるのだろうか。

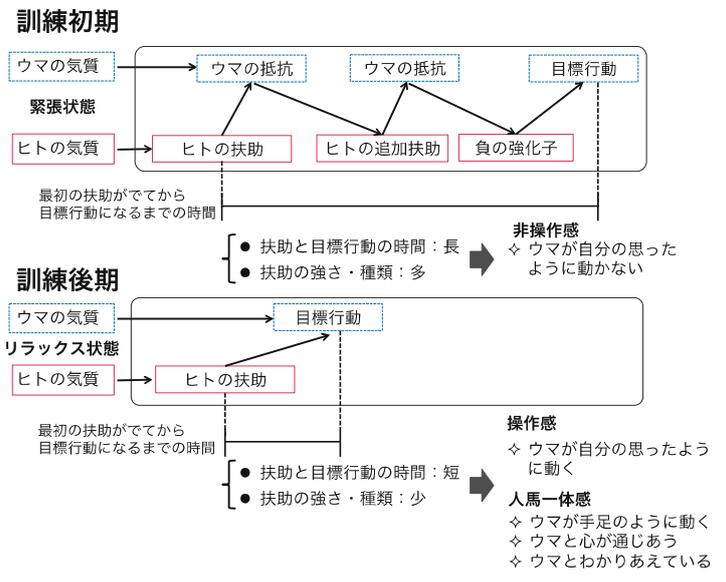
Nakamura, Takimoto, and Hasegawa (2018) は、ウマがヒトの情動状態を視覚と聴覚のクロスモーダルな刺激の手がかりをもとに弁別していることを報告した。画面上に2つの表情(笑い顔・怒り顔)の刺激をそれぞれ呈示したあと、スピーカーからウマの名前を2つの異なるトーン(褒めるトーン・叱るトーン)で呼ぶ声を再生した。すなわち2×2の4条件の実験である。これを、笑い顔の表情で褒めるトーンで呼ぶや、怒り顔で叱るトーンで呼ぶ、などの表情と声の感情が一致している条件と、



、笑い顔で叱るトーンや、怒り顔で褒めるトーンなどの不一致条件で比べたところ、不一致条件の方が一致条件よりも声に素早く反応し、声の方向を長く注視した。これは、一致した組み合わせよりも不一致の組み合わせのほうが期待に違反している条件とみることができるため、ウマが表情から声色を予測し、その予測に反する場合に声に対する反応に違和感が生じ、素早く見返したり、長く見たりするという行動の変化が見られたと解釈できる。

事例 2-3: ヒト-ウマインタラクションにおける人馬一体感の質的研究 (大北碧, 二瓶正登, 西山慶太, 澤幸祐 (2018))

人がウマと接する場面において、どのようなプロセスで「人馬一体」感が生じるか、その「人馬一体」感はどのような感覚なのかを明らかにするために、インタビュー調査および M-GTA (修正版グラウンデッド・アプローチ) により検討した。その結果、人自身の動き(扶助)に対して、時間的に接近してウマが行動を変化させたときに、操作主体感といった自己の身体保持



感の拡張が生じるだけでなく、「ウマと心が通じ合えた」といった円滑なインタラクション感も得ている可能性が示唆され、これらの2つの感覚を、人は「人馬一体」として感じるようになった。道具使用では得ることのできない、人とウマという主体が共同している「人馬二体」とも言える現象のなかでインタラクティブな相互学習の過程を経て「人馬一体」に至っていると考えられる (右上図は M-GTA により抽出された概念のフロー図)。

事例 2-4: イヌ-ヒトインタラクションにおける情動伝染(Katayama, M., Kubo, T., Yamakawa, T., Fujiwara, K., Nomoto, K., Ikeda, K., Mogi, K., Nagasawa, M. and Kikusui, T., (2019))

親和的な関係にある個体間では、お互いの情動が同調しあう「情動伝染」が認められる。例えば、子供が悲しい思いをすると親も辛くなる、チームメイトが活躍し嬉しいと自分も嬉しくなる、などがその例である。この情動伝染は共感の起源的な機能であると考えられ、また、他者の視点などの高い認知能力を必要としないことから、サルやマウスで観察されてきた。これまで、ヒト-イヌ間の情動伝染の先行研究では、ヒトが悲しそうな顔をしたときのイヌの行動変化などが報告されてきたが、秒単位の生理指標による情動変化は調べられてこなかった。

そのため、ヒトとイヌのような異種間での情動伝染の存在を確実に証明した研究なかったが、今回、ヒトとイヌの情動を心拍変動解析によって秒単位で評価することにより、ヒトとイヌの情動変化が同期して変化することを初めて明らかにした。実験では 13 組の飼い主とイヌのペアを解析した。飼い主にはイヌから見える位置に座ってもらい、見学者の前で安静にする、あるいは、暗算や文章の説明のような心的なストレスを経験してもらった。その最中、イヌと飼い主の心拍をモニタし、また行動をビデオで解析した。その結果、いくつかの飼い主とイヌのペアでは心拍変動解析の数値が同期化したが、全ての飼い主とイヌのペアで心拍変動解析の数値が同期化するわけではなかった。そこで、その違いを解析した結果、飼育時間が長い飼い主ほど同期おこりやすいことがわかった。

今回の研究から、ヒトの情動変化がイヌの情動変化へと伝搬すること、その伝搬は秒単位の変化として検出できることが明らかになった。また、飼い主との性格が長くなることで、より伝染しやすくなることが判明した。ヒト-イヌ間という異種間（遺伝子に関係のない個体間）において、飼育時間が長いこと、すなわち、生活環境の共有が長いことによって、情動伝染が起こりやすくなることは、進化理論と整合的な結果と言える。ヒトとイヌとの共生の歴史において、情動伝染の存在は、相互理解や協力関係の構築において重要なことが指摘されてきた。ヒトとイヌの長く、そして深い関係の一端を明らかにしたと考える。

研究項目 3：自然で持続的な人-人工物インタラクションを実現する人工物デザインの確立と環境知能の実現

項目 3-1：人の持続的な適応を引き出す人工物（アプライアンスのエージェント化）のデザイン方法論の確立

【概要】

従来の HCI（ヒューマンコンピュータインタラクション）やユーザインタフェースのインタラクションデザインでは、ユーザモデルとして認知モデルを利用することが設計者の内観において暗黙的に行われてきた。そして、本来ユーザの認知モデルを利用することはインタラクションデザインにおいて本質的に重要なアプローチであるにも関わらず、その認知モデルを積極的かつ明示的に利用し、さらに設計論としてパラダイムの確立を目指す研究はほとんどなかった。我々は、この認知モデル導入研究の欠如が、インタラクションデザ

インの適応範囲を限定し、HCI を UX ユーザエクスペリエンスの設計論にまで進化させることを阻む重要な一因と考える。

このような背景から、我々はユーザモデルとして認知モデルを積極的かつ明示的に取り入れた HCI, HAI (ヒューマンエージェントインタラクション) を含むインタラクションデザインの研究を行った。

具体的な方法としては、人の認知特性のうち、人が人工物に対して不可避免的に適用する認知バイアスを初め、人が人工物に適応する能力にも注目して、その人の認知バイアス・認知モデルを提案し、実験的に検証した。そして、そこで開発した適応モデルを用いた人-人工物系のインタラクションを設計する方法論を、複数のドメインで開発・実現した。最後に、その実装されたユーザインタフェースの有効性を参加者実験により検証した。

本研究で確立した認知的インタラクションデザイン方法論の概要を下図に示す。

S1：認知モデル構築

⇒ S2：モデルベースのインタラクションデザイン

⇒ S3：有効性の実験的検証

全体として、モデル構築から検証までの 3 ステップをとる方法論を提案した。この方法論に基づき、実際に様々な分野でインタフェースの実装と実験的評価を行うことで、提案方法論の有効性を示し、方法論の確立を実現した。特に、「人の持続的な適応を引き出す」インタラクションデザインについては、現在進行している研究テーマである「人と AI の適応的信頼構成の理論と応用」で扱っている。また、ステップ S1 における認知モデル構築では、研究項目 1 で得られた認知モデルを活用することを目指し、研究項目の成果の融合することを試みた。

本研究は、領域のサブテーマである「人と人工物の協創」に対して、工学的実現可能な人工物の設計論を与えることで、理論と実際のデザインのブリッジングを行うという重要な貢献を果たした。以降、具体的な研究事例の一部を示す。

【研究事例】

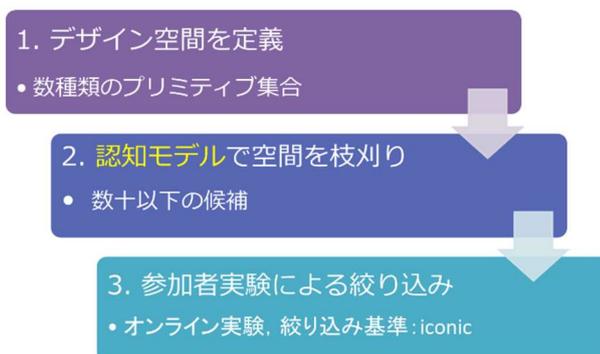
事例 3-1-1：ゲームによる認知モデルの構築

単純な 2 人ゲーム環境で人のプレーヤの相手がエージェント、人工物などの場合に、人のプレーヤが相手にどのような適応するかのモデル、戦略のヒューリスティクスを提案し、実験的に検証することで適応モデルを開発した。この 2 人ゲームのバリエーションを用いることで、適応システムの理解、人とエージェントのリーダーフォロワー関係の解明など様々な研究テーマに、このフレームワークを適用し、利用することができた。

本研究事例によって、領域のサブテーマである「人と人工物の協創」に対して、HCI に適用可能な認知モデル構築のケーススタディを示すことができた。

事例 3-1-2：認知的表出設計論

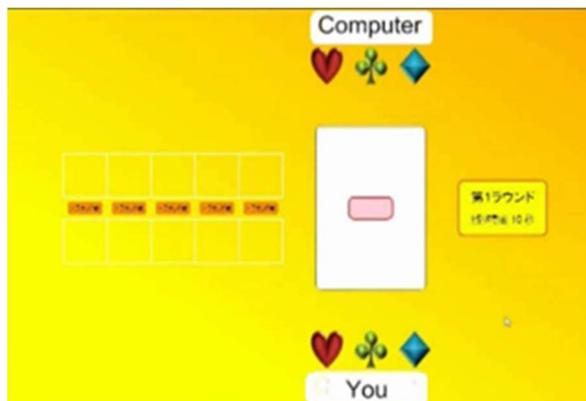
右図に示すような、3 フェーズからなるロボットや擬人化エージェントの表出のデザイン論を提案した。この方法論は、前述の 3 ステップ認知的インタラクションデザイン方法論をベースにしている。ステップ 1 では、潜在的なデザイン候補の集合を定義し、2 では、認知モデルの知見や先行研究の結果から、1.で得られた広大なデザイン空間を大幅に絞り込む。そして、最後の 3 で、実際に参加者による評価により、最終候補を得る。この設計論に基づいて、お掃除ロボット「ルンバ」が自分の感情を人間に伝えるために有効な表出を実装することができ、またさらに参加者の協力による評価実験を行った。



本研究事例は、領域のサブテーマである「人と人工物の協創」に対して、より具体的な HCI デザインの方法論を与え、さらに複数のドメインで実装・評価することで領域へ貢献した。

事例 3-1-3：適応認知における認知バイアスの分析

適応学習するアルゴリズムを人がどのように認識するかを調べるために、相手の意図を推定し合うマークマッチングゲーム（右図）の実験を行い、そのデータを条件付確率によるモデルを用いて分析した。その結果、実験参加者は、マルコフ性バイアス（文脈の効果を最小限に限定するというバイアス）、決定論バイアス（アルゴリズムは確率的には振る舞わず、決定論的に振る舞うという仮定）等の認知バイアスのもとでアルゴリズムの振る舞いを簡略化して認識していることが示された。



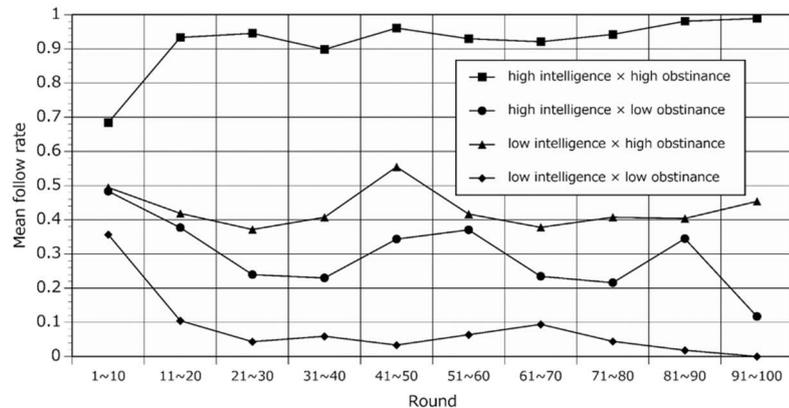
本研究事例は、領域のサブテーマである「人と人工物の協創」に対して、ユーザモデル構築に必須の認知バイアスの一つを解明することで領域へ貢献した。

事例 3-1-4：リーダーフォロワー関係成立における認知バイアス

人とエージェントが協調する場合に、エージェントがリーダーになって、人がそのエージェントの判断に従うフォロワーになることが、様々なリスクを回避することにつながる。しかし、これまでは、エージェントと人とのリーダーフォロワー関係がどのような認知バイアスにより生じるのかは、まったく解明されていなかった。本研究では、まず宣言記号合わせゲームを実装し、それを人とエージェントで協調的に行うことで、「固執性」と「知性」

の 2 つの要因が、リーダーフォロワー関係の成立に与える影響を参加者実験により、調査した。

その結果、右図にあるように、エージェントの「知性」よりも、「固執性」の方が有意にエージェントのリーダー成立に影響することがわかった。このグラフは、横軸は宣言記号合わせゲームのラウンド数を、縦

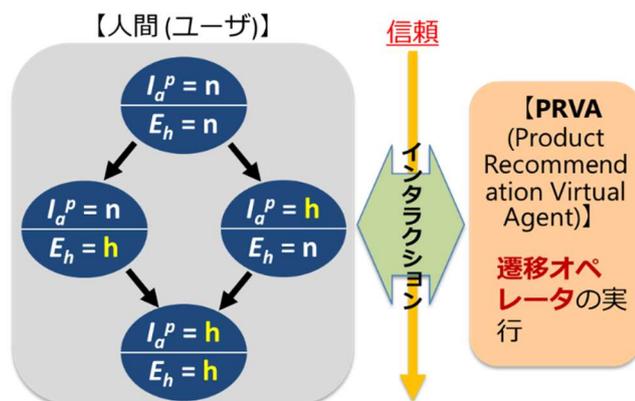


軸は人がエージェントの意見に従った割合を示している。そして、「固執性 obstinance」と「知性 intelligence」の全組み合わせの結果がプロットされている。

本研究事例は、領域のサブテーマである「人と人工物の協創」に対して、人と AI エージェントの意見対立を解消するインタラクションデザインに有用な認知バイアスを解明することで領域へ貢献した。

事例 3-1-5：信頼モデルによる PRVA デザイン

これからのオンラインショッピングでは、店員と同じ役目を果たす擬人化エージェントである PRVA (Product Recommendation Virtual Agent) が web サイトで利用される。本研究では、そのとき PRVA にどのような動作をさせると、ユーザに信頼してもらい、購買意欲を向上させるこ



とができるのかについての設計方法を提案、検証した。上図に示すような、ユーザの内部状態の状態遷移モデルを考案し、その状態を下方方向に遷移されることで、信頼感と購買意欲の向上を促すことが可能なことを多くの参加者実験により示した。具体的には、PRVA が「かわいい仕草」をすること、そして深い商品知識を的確にユーザに説明できることが、ユーザの状態遷移を促す様子が確認された。

本研究事例は、領域のサブテーマである「人と人工物の協創」に対して、具体的な AI エージェントの設計に認知モデルを導入した事例を示すことにより領域へ貢献した。

項目 3-2：人の適応性を支える環境知能システムの構築

【概要】

人工知能が発展し、ロボットや自動運転者など自律的に動いて人にサービスを提供する人工物が登場してきている。人工物自体は、コンピュータプログラムで動いているので心や感情を持っていない。しかしながら、自律的に行動する物を見ると、人はそこに心や感情を想定して理解してしまう傾向がある。本研究では、人が人工物に対して抱く他者モデル（他者に対して抱く心的状態）に関する研究を行った。特に人とのインタラクションにおける人工物の振る舞いをデザインすることで、人工物を使いやすくする他者モデルを人に抱かせることを目標に研究を行なった。適正な他者モデルを人工物に与えることで、人と人工知能システムの間での齟齬が発生しづらくなると考える。

人工物には、人と同様に自律的に活動するものや、人と一体となり道具として働くもの、部屋や建物といった環境として人の活動を支援するものが考えられ、以下の三つの目標を掲げて研究を行った。

目標 1（人工物のための他者モデルの研究）：人にロボットの心的状態を読ませるためのロボットの振る舞い制御、および人の心的状態をロボットが推定するための手法を研究する。人工物との発話のやり取りのタイミング、視線・ジェスチャの動き、コミュニケーションの際のお互いの立ち位置と言った非言語情報に着目し、ロボットの振る舞いと、人が読む心的状態の関係を明らかにする。さらに、人の心的状態をロボットが推定する上でロボットがセンシング可能な非言語情報を選定し、心的状態を推定する方法を研究する。

目標 2（人工物の身体化モデルの研究）：車やテレプレゼンスロボットでは、操作者が人工物と一体感を持つ事が重要である。特に、人工物側も自律的に判断し行動する場合には、操作者の操作に反しない範囲で行う必要がある。本研究では、人の操作から人の心的状態を適切に読み、人の意図に沿う形で行動をアシストする身体化モデルを考える。さらに、人が道具を他者として捉える状況も踏まえ、身体化モデルと他者モデルの関係を、人工物の操作の観点から明らかにし、人工物の設計論に取り込む方法も考える。

目標 3（身体が不定なアンビエントモデルの研究）：部屋や建物といった空間を、情報的に人をアシストする人工物と見立てインタラクティブなシステムを構築する場合、人が、空間に対してどのような他者モデル（アンビエントモデル）を持つかを明らかにすることは重要である。さまざまなメディア機器を介してインタラクションする空間に対して人が持つ他者モデル（アンビエントモデル）を調査し、空間が人にサービスする際に最適な手法を研究する。さらに、複数の異なるメディア機器を跨いで人とインタラクションするサービスを想定し、メディア機器間で同一のキャラクター性を持たせる方法を模索する。

【研究事例】

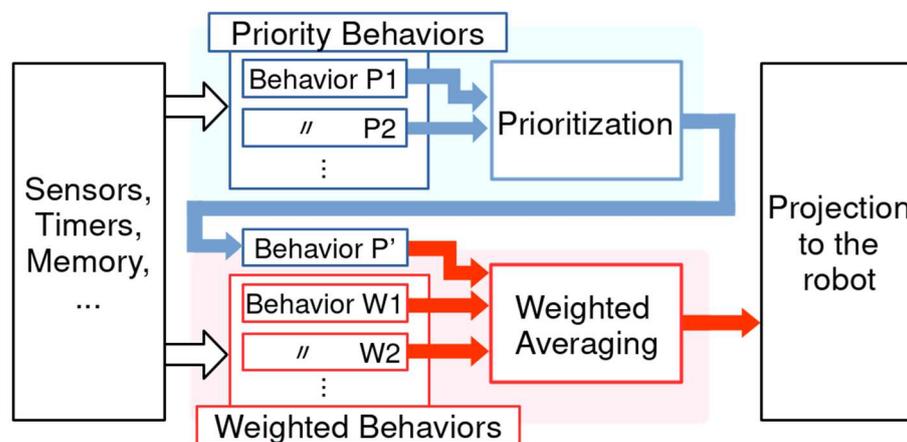
他者モデルの研究に関しては、人とのインタラクションにおいて人や周囲の出来事に対して随伴的に反応する今性（随伴性）生成アーキテクチャ（SB アーキテクチャならびに動力学モデル）を構築し、ロボットの他者モデルを人に抱かせる仕組みを構築することに成功し

た。さらに、二体のロボットが時間的にオーバーラップした行動を示すことでも同様の効果があることを示すことができ、今性のある行動が、他者の状態を読み合う関係に関与することを明らかにできた。また、ロボットが人の心的状態を推定し、人から見たロボットの他者モデルをロボットが推定した場合の効果を検証した。その結果、心的状態推定は、人とロボットが協調タスクを行う際に有効なことが評価実験で示されている。身体化モデルの研究では、搭乗者の状態を車椅子が推定する上で人の電動車椅子の操作方法および周囲の走行環境から人の状態を推定する手法を確立することができた。さらに、推定した状態を元に搭乗者へ個人適応する形で操作ゲインを変更し、安心感のある運転支援方法を提供している。すなわち、人が反自律的に走行する車椅子を身体化し、操作できる手法を確立したと言える。アンビエントモデルの研究では、キャラクターのあるエージェントを利用することで人との関係性の維持・更新・切り替えに基づく実世界サービスを実現するユーザインタフェースデザインを提案した。自律して人にサービスを提供する機器には、他者モデルを人に抱かせることのできるデザインが重要であり、他者モデルの同一性の見せ方を変更することで、人の機器からの情報の受け止め方が変わることを明らかにした。それぞれの内容を以下に説明する。

目標1：他者モデルの研究:

事例 3-2-1：今性のある振る舞いを生成する SB アーキテクチャ

人型ロボットが心的状態を持つという印象を人に抱かせるために、今性のあるロボットの振る舞いを生成するアーキテクチャを提案した。今性のある振る舞いを生成させる場合、従来研究では、必要な振る舞い生成モジュールを多数結



合させた複雑なアーキテクチャとなっていた。設計や改良にもコストのかかるものであった。SB アーキテクチャは、ロボットの振る舞いを、今性に寄与する不随意行動ならびに、コミュニケーションに寄与する随意行動の二つの階層構造にすることで、開発や更新コストを抑えつつ、周囲の出来事への随伴性を維持しつつ、コミュニケーションのための振る舞いを生成できるようになっている。特に、センサー入力と理想的な行動のセットを用意することでモデルを獲得させることができるようになっている。

前頁の図は、SB アーキテクチャの構成図である。随意行動を優先度選択する階層と、選

択された随意行動と不随意行動群を重み付け平均で統合することで振る舞いを生成する。振る舞いの優先度と重みは、センサー入力と理想行動のデータセットより学習可能である。

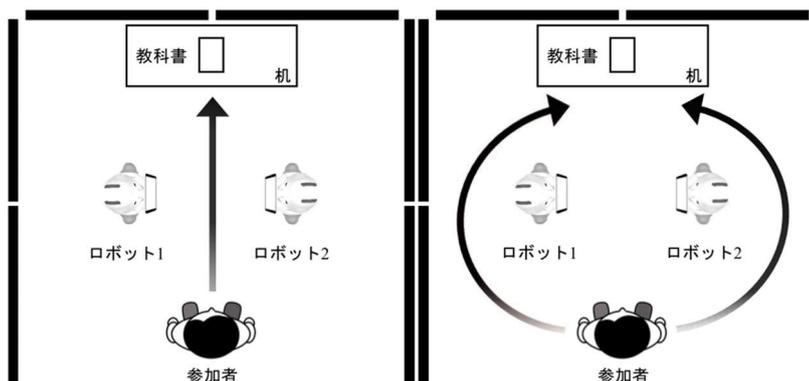
事例 3-2-2：2 体ロボットのコミュニケーションの時間的オーバーラップにより創発される他者モデルの効果

2 体のロボット同士のコミュニケーションにおいて発話ならびにジェスチャの生成タイミングが、時間的にオーバーラップすることで、ロボットのコミュニケーションを観察している人がロボット間に会話の場が発生していると感じることが明らかになった。具体的には、オーバーラップが発生していない場合



には、人はロボットの間をためらいも無く通ることができるのに対し、オーバーラップが発生している場合には、人は、ロボットの間を通らず、一方のロボットの背後を通り、向こう側へ行くことが観測された。

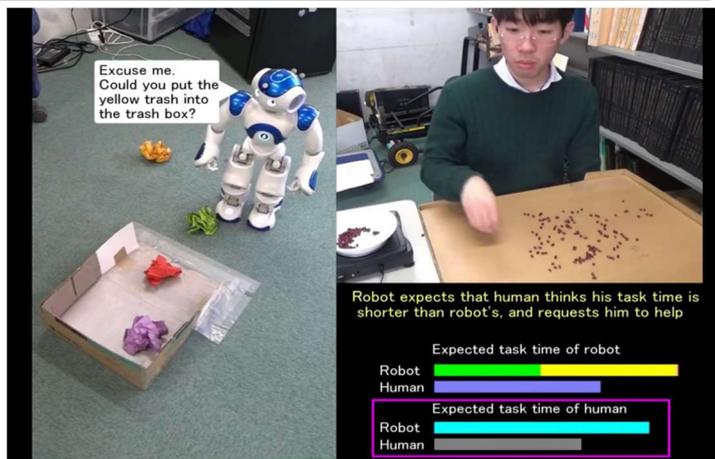
右図は、実験条件を表している。2 体のロボットのコミュニケーション行動がオーバーラップせず、交互に行われる場合は、人は、ロボ



ットの間を通過して教科書を取りに行く(左)。ロボットの行動がオーバーラップする場合は、人は、ロボットの間を避けて教科書を取りに行く(右)ことが実験的に明らかになった。

事例 3-2-3：人が想定するロボットの内部状態を利用した人とロボットの協調タスクの実現

人とロボットが掃除をする場面を想定し、人がロボットを助ける条件について、人がロボットに対して想定する他者モデル（ロボット視点のタスク進展度）の観点から研究を行った。掃除場面の客観的進展度でロボットがヘルプ場面を決定したとしても、人はロボットを助けないことが明らかになった。本研究では、ロボットの残りタスク遂行時間と人の残りタスク遂行時間を、人の主観的観点から比較することで、ロボットが人に助けを求めるタイミングを見積れるようになった。



本研究では、ロボットの残りタスク遂行時間と人の残りタスク遂行時間を、人の主観的観点から比較することで、ロボットが人に助けを求めるタイミングを見積れるようになった。

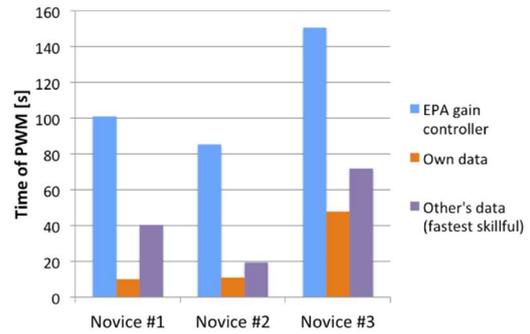
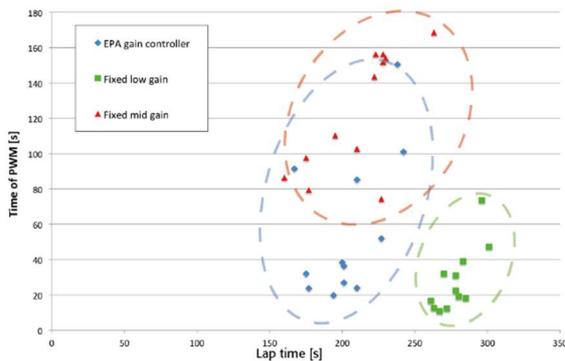
右上図は、実験場面である。人とロボットが片付けタスクをこなしている。ロボットは、人から見て、人よりロボットの方が忙しいと評価できる場合だけ、人に助けを求める

目標 2：身体化モデルの研究

事例 3-2-4：人の電動車椅子の操作方法と周囲状況に応じて適応的に操作ゲインを調整する適応的電動車椅子の構築

公募研究（硯川）の研究より、人が車椅子の操作に困難さを感じている場合、ジョイスティックを小刻みに動かし速度調整する PWM 操作をすることが明らかになった。本研究では、人の車椅子の操作（PWM 操作かどうか）の判定ならびに、周囲の走行環境（通路の狭さ）より総合的に運転状況の困難さを判定する手法を構築した。さらに、人が感じている車椅子の操作のし易さに応じて適応的に、操作ゲインを調整する仕組みを開発した。個人の操作に適応させることで、個々に設定された車椅子が最も乗りやすくなる適応機構を構築することができた。



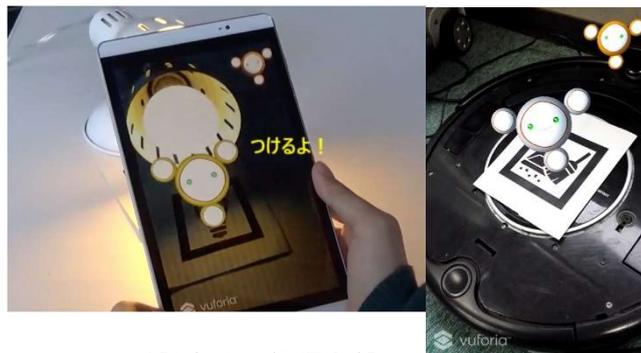


上図の左のグラフは、車椅子を走行させた各個人のラップタイム（実験コースの一周時間）と走行時に PWM 操作（操作者が操作が難しいと感じている場面）の出現時間を表している。低いゲインに固定された車椅子では、反応性が緩やかなので PWM 操作の出現は少ない一方で、速度が遅いのでラップ時間が長くなっている。高いゲイン固定では、車椅子の速度が出るのでラップタイムが早い一方で、PWM 操作が長く出現し、操作者が操作に困難さを感じている場面が多く発生してしまっている。提案手法（EPA ゲインコントローラー）は、PWM 操作の発生が抑えられつつ、ラップタイムも早く、操作者に適応的な操作環境を提供できていることがわかる。上図の右のグラフは、EPA ゲインコントローラーで獲得された自分のゲインモデルを用いた場合（オレンジ）、他人のゲインモデルを用いた場合（紫）の PWM 操作の発生時間の累積を表している。自分のゲインモデルを利用した場合 PWM 操作の時間が短くなっていることから、本提案手法は、個人に適応した操作環境を実現できていることがわかる。

目標 3：アンビエントモデルの研究

事例 3-2-5：環境内の機器の使用を支援するパーソナルアシストエージェント

本研究では、環境内に存在する家電や家具ごとにパーソナルエージェントが存在する場面を実現する SEIREI-Agent を構築した。SEIREI-Agent が複数の家電や家具に関するお知らせをプッシュ型インタラクションで与える影響を調査した。環境内



の複数デバイスからプッシュ型インタラクションが発生する状況を想

定した評価実験を実施し、移動型のエージェントや音声エージェントといった他のエージェントとの比較を行なった。実験結果より、SEIREI-Agent を使用することで複数の機器や家具による情報通知に対する実験参加者の違和感/困惑が軽減され、プッシュ型インタラ

クッションが円滑化されることが示唆された。これは、ユーザが環境内の人工物に対して他者モデルを抱きやすくなった結果だと言える。