機械と人の未来
～ロボティクスと人工知能～

Tadahiro Taniguchi

1) Professor, College of Information Science & Engineering, Ritsumeikan University

2) Visiting General Chief Scientist, AI solution center, Panasonic

Invited talk at

第30回けいはんなエジソンの会

27th March 2019

谷口忠大 (Tadahiro Taniguchi)

立命館大学情報理工学部 教授（創発システム研究室）

@tanichu

- 2003-2006: 京都大学，博士後期課程
- 2005-8: 日本学術振興会特別研究員DC2&PD，京都大学
- 2008-: 立命館大学情報理工学部，助教
- 2010-: 立命館大学情報理工学部，准教授
- 2015-2016: インペリアル・カレッジ・ロンドン 客員准教授
- **2016: 一般社団法人ビブリオバトル協会・代表**
- **2017: 立命館大学情報理工学部，教授**
- **2017: パナソニックAIｿﾘｭｰｼｮﾝｾﾝﾀｰ，客員総括主幹技師 (20% ｸﾛｽｱﾎﾟｲﾝﾄﾒﾝﾄ)**

研究テーマ

- 人工知能，機械学習
- 記号創発ロボティクス
- ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ場のﾒｶﾆｽﾞﾑﾃﾞｻﾞｲﾝ

空前のAIブーム 2013頃～
第三次AIブーム

AlphaGo (Silver et al., 2016)

- ✓ Representation learning
- ✓ Monte Carlo tree search

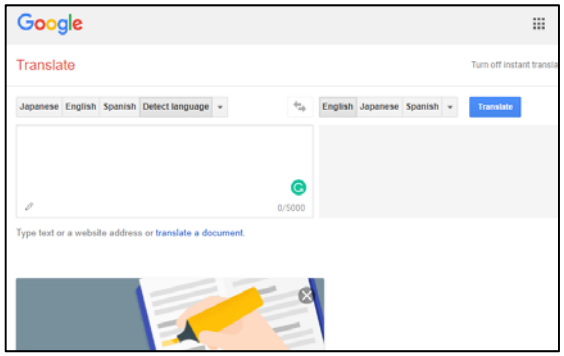
Self-driving car (Google and so on)

- ✓ Pedestrian detection
- ✓ Semantic segmentation

Google Home

- ✓ Speech recognition & synthesis

https://www.engadget.com/2018/06/12/google-home-handles-three-requests-at-once/



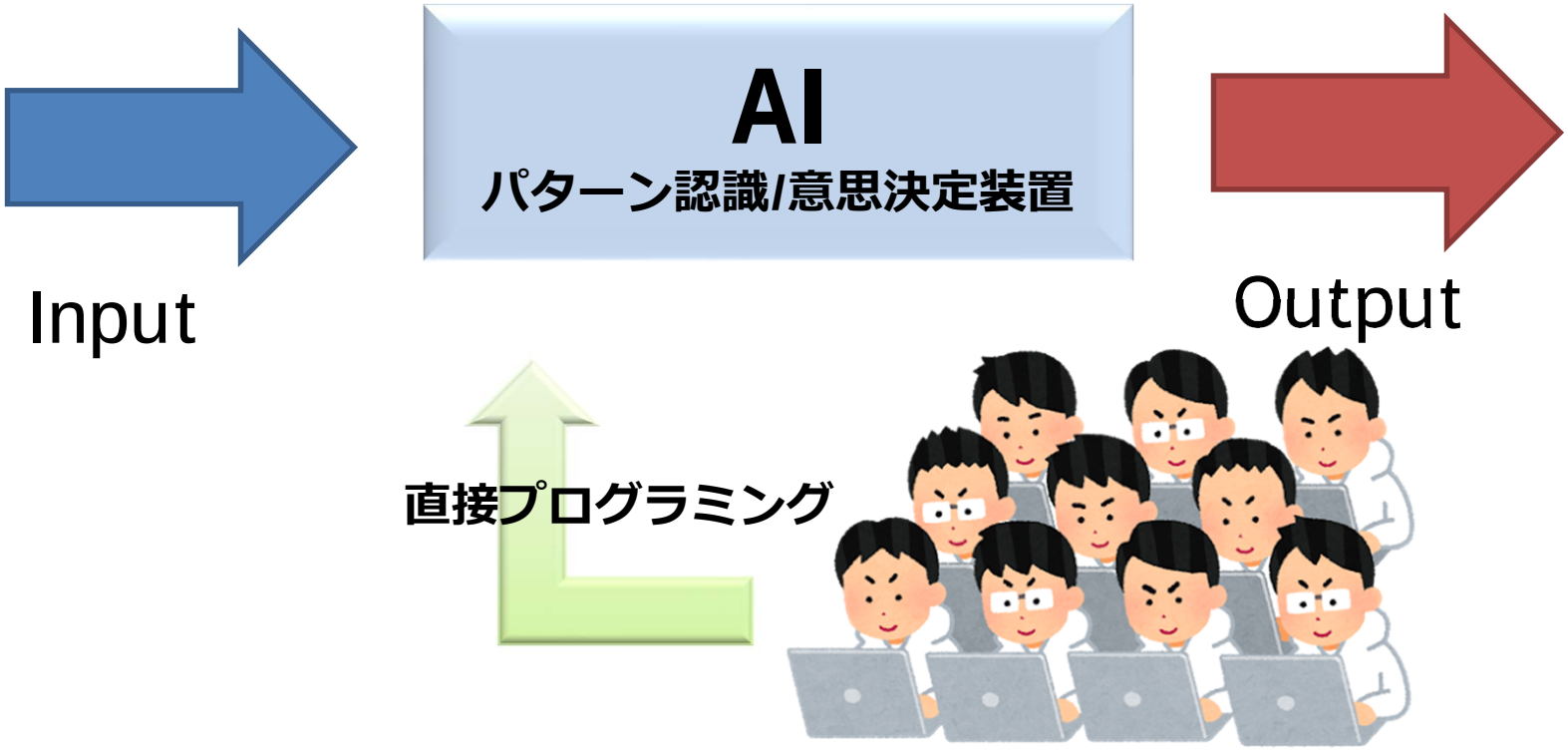
Google Translate

- ✓ Neural machine translation

https://translate.google.com/

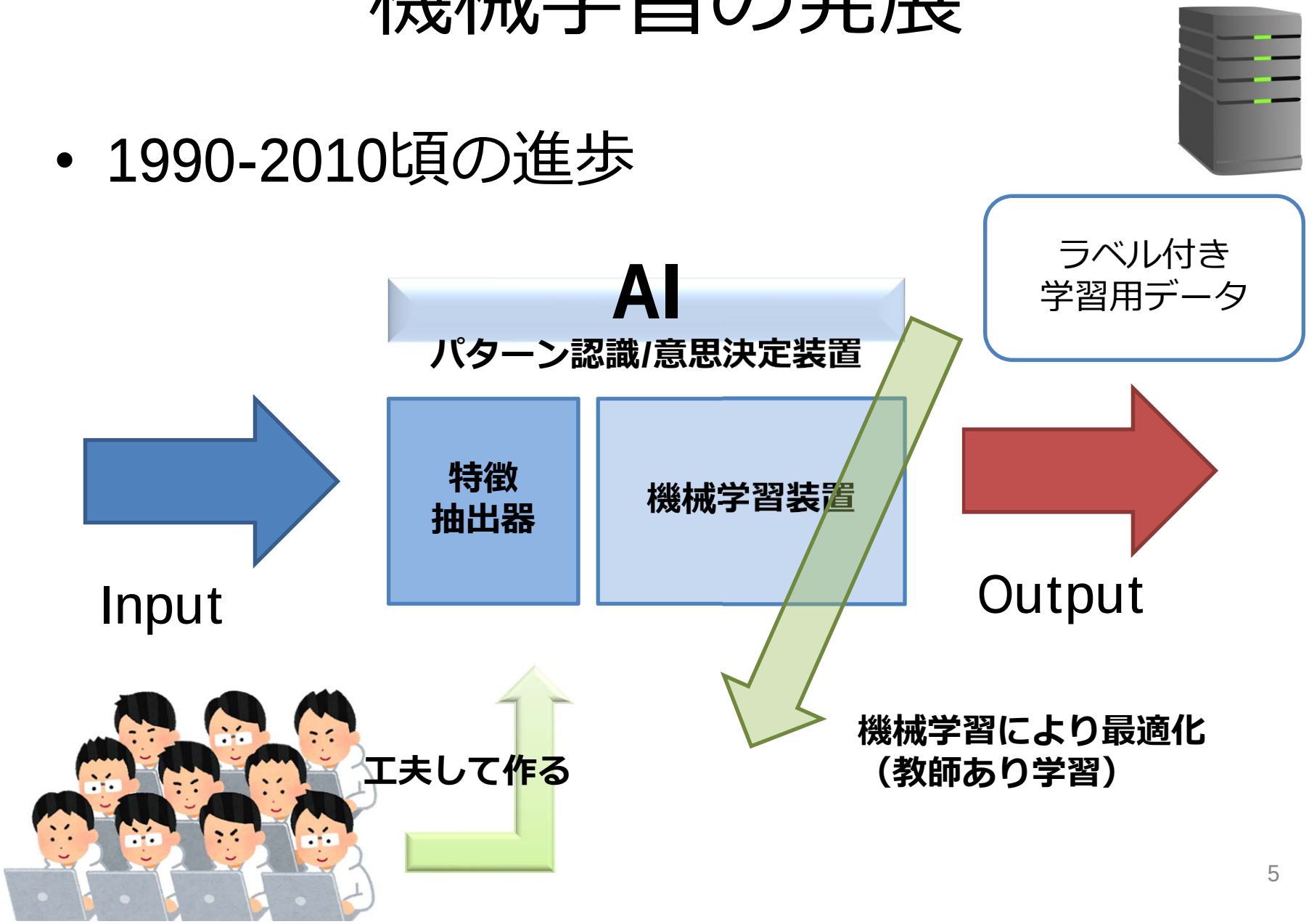
ルールベースAI

- 第二次AIブームの象徴的存在



機械学習の発展

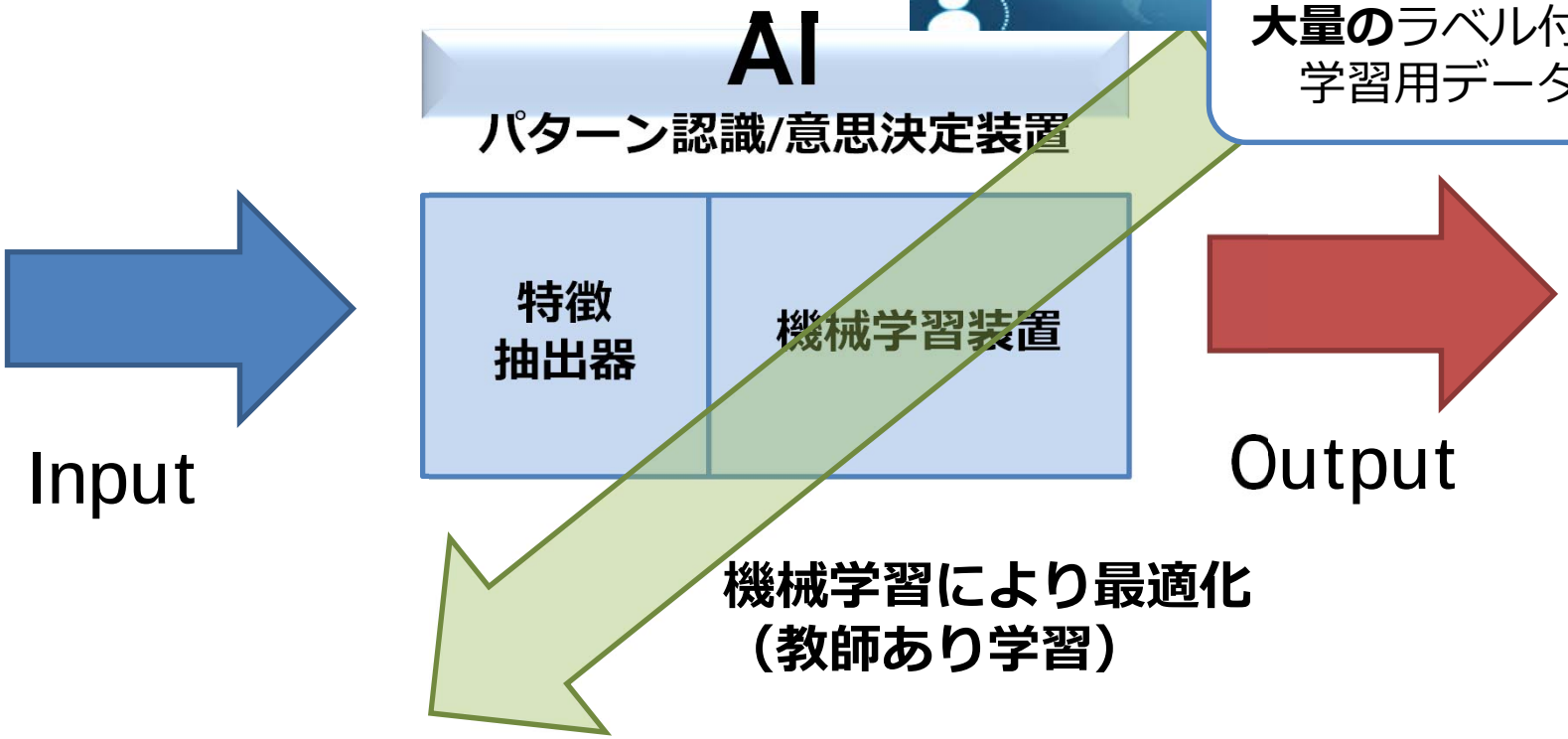
- 1990-2010頃の進歩



深層学習の時代

- 第三次AIブーム

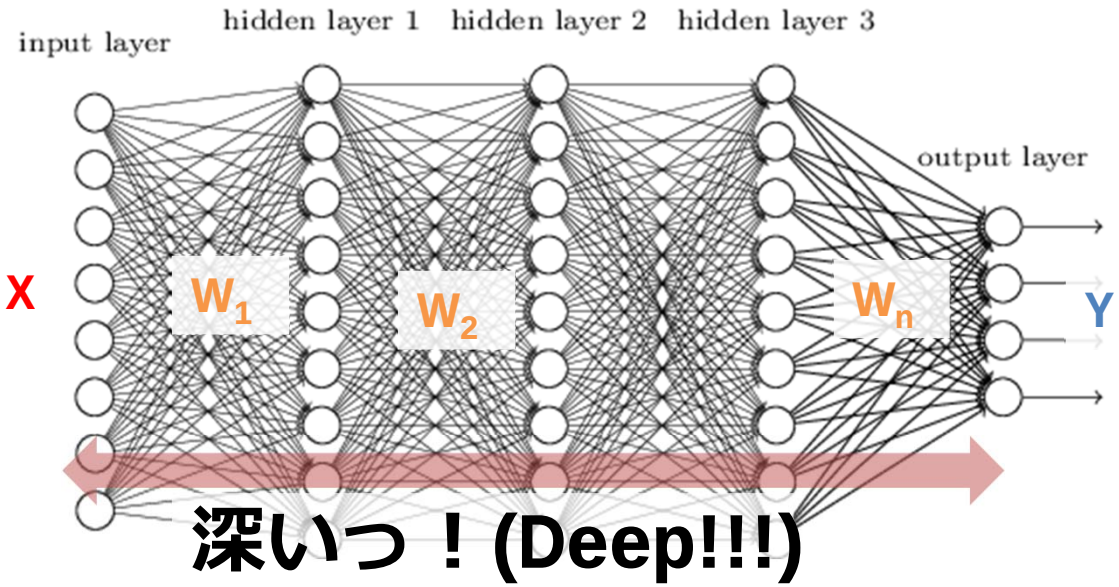
大量のラベル付き
学習用データ



End-to-End learning

Deep learning（深層学習）とは何か？

- ディープラーニング（深層学習）は深い構造（多くのレイヤー）を持ったニューラルネットワークを用いた機械学習手法の総称.
- $Y = f(W_n\ f(W_{n-1}\ f(\ldots\ldots W_2\ f(W_1\ X))\ldots\ldots)))$
  ⇒線形変換にパラメータを押し付けた
  多段階非線形変換装置



End-to-End learning ブーム

微分可能Networkブーム

大量データとGPUで学習ブーム

特徴表現学習ブーム

Deep learning/Encoder-decoder architecture with end-to-end learning

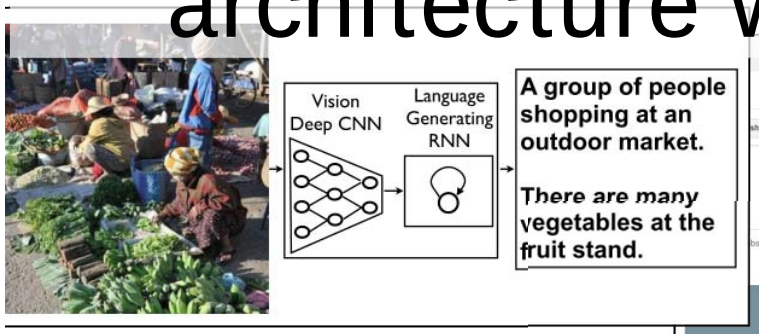
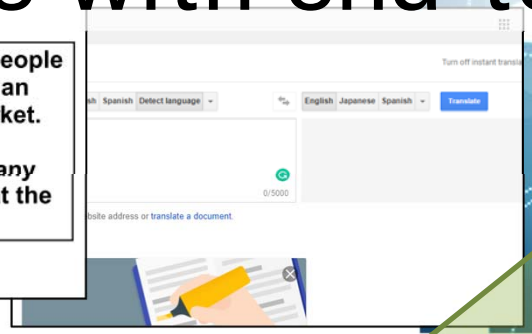
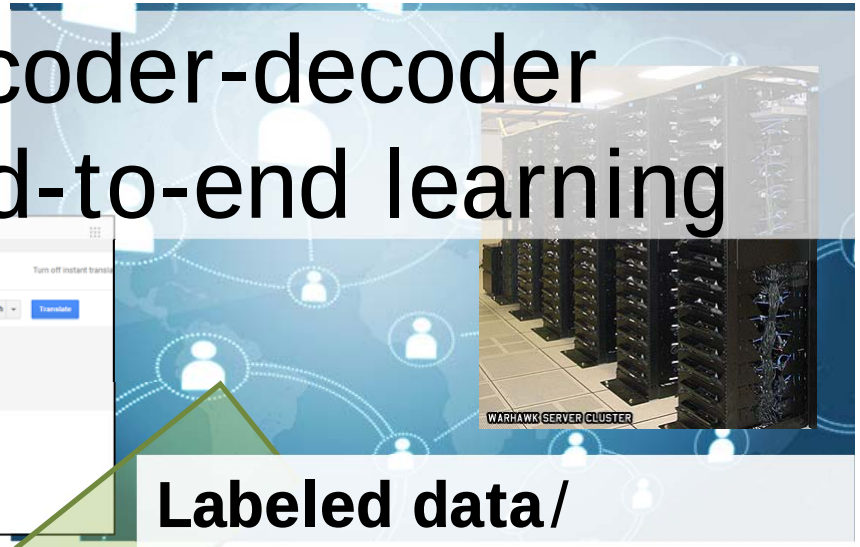


Image captioning

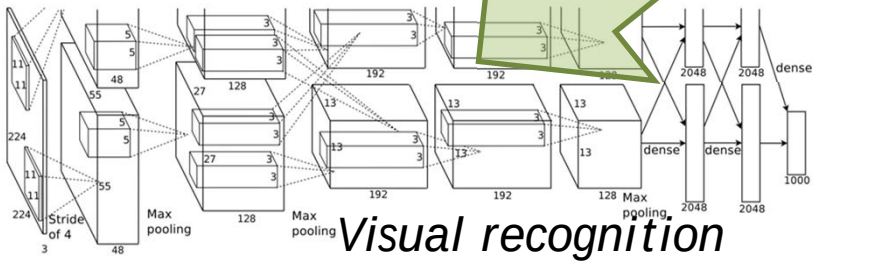


Machine translation



Labeled data/
Perfect simulation environment

Input



Visual recognition

Encoder NN

Decoder NN

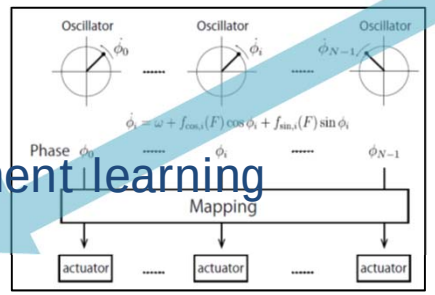
Output

Playing video games

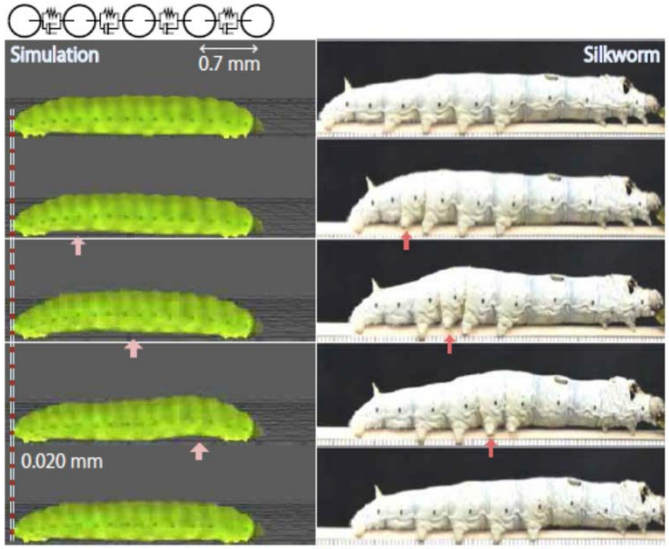
これは人間の認知発達の自然なモデルなのだろうか？
知能の表現とは**関数表現**で足りるのだろうか？

ソフトロボットの知能創成に向けた実世界情報に基づく機械学習の取り組み

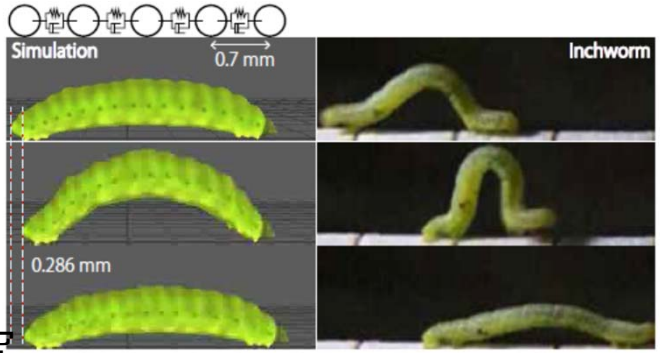
- 昔の制御工学では扱いづらかった問題も、機械学習（深層学習含む）の活用で、新しいアプローチが可能になる可能性がある。
- ソフトロボティクスにおける機械学習活用の探索的研究を開始している。
- （取り組み）振動子系による多体節ロボットのフィードバック情報活用の強化学習による学習[Ishige+ 18]



Reinforcement learning



(a) Crawling of simulation model ($k_{RTS} = 9.0$) and a real silkworm



(b) Inching of simulation model ($k_{RTS} = 40.0$) and a real inchworm

☆新学術領域「ソフトロボット学」A01班にも研究分担者として参加されている梅舘博士（東大）との共同研究

Ishige M, Umedachil T, Taniguchi T, Kawahara Y. Learning Oscillator-Based Gait Controller for String-Form Soft Robots Using Parameter-Exploring Policy Gradients. In2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2018 Oct 1 (pp. 6445-6452)

Future human-robot communication

Can we really achieve symbolic/linguistic communication between human users and autonomous robots in our future society?

確率的生成モデルを用いた人工知能研究
記号創発ロボティクス [谷口+]

谷口忠大 「コミュニケーションするロボットは創れるか」（NTT出版）2010

谷口忠大「記号創発ロボティクス」（講談社メチエ）2014

- 人間の子供は自らの身体的経験，感覚運動情報の統合を通じて機能を獲得し，言語を獲得し，コミュニケーションをも可能にする知能.
- **実世界経験**に基づく**言語獲得ロボット（AI）**の実現

⇒ **確率的生成モデル**に基づいた**教師なし学習**での実現

二種類の**記号概念**の違いを認識すべし

記号論理学（述語論理）
物理記号仮説
プログラミング言語

Harnad1990他

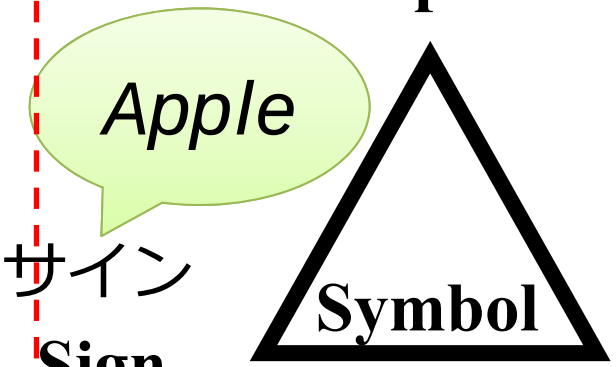
記号接地問題
の対象にする**記号概念**はこっち

記号創発システム論（ロボティクス）
の対象にする**記号概念**はこっち

Taniguchi2016他

記号学
言語理解
日常の言葉

⊂



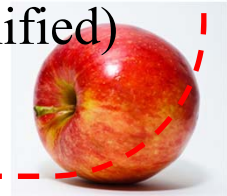
解釈項
Interpretant

サイン
Sign
Reference
(Signifier)

[C.S. Pierce]

対象
Object
Referent
(Signified)

Semiosis：**記号過程**



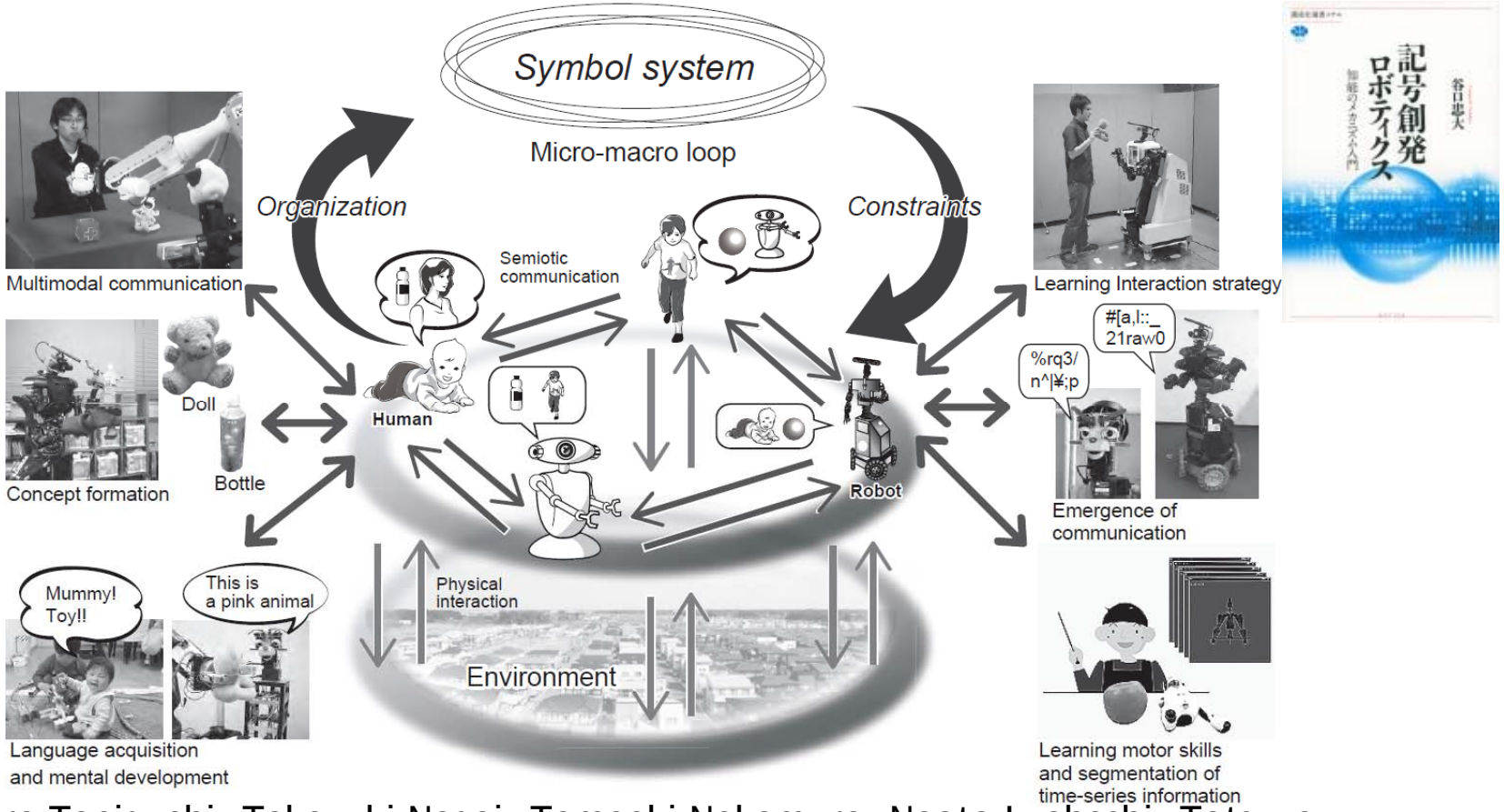
ADVANCED ROBOTICS, 2016
http://dx.doi.org/10.1080/01691864.2016.1164622

SURVEY PAPER

Symbol emergence in robotics: a survey

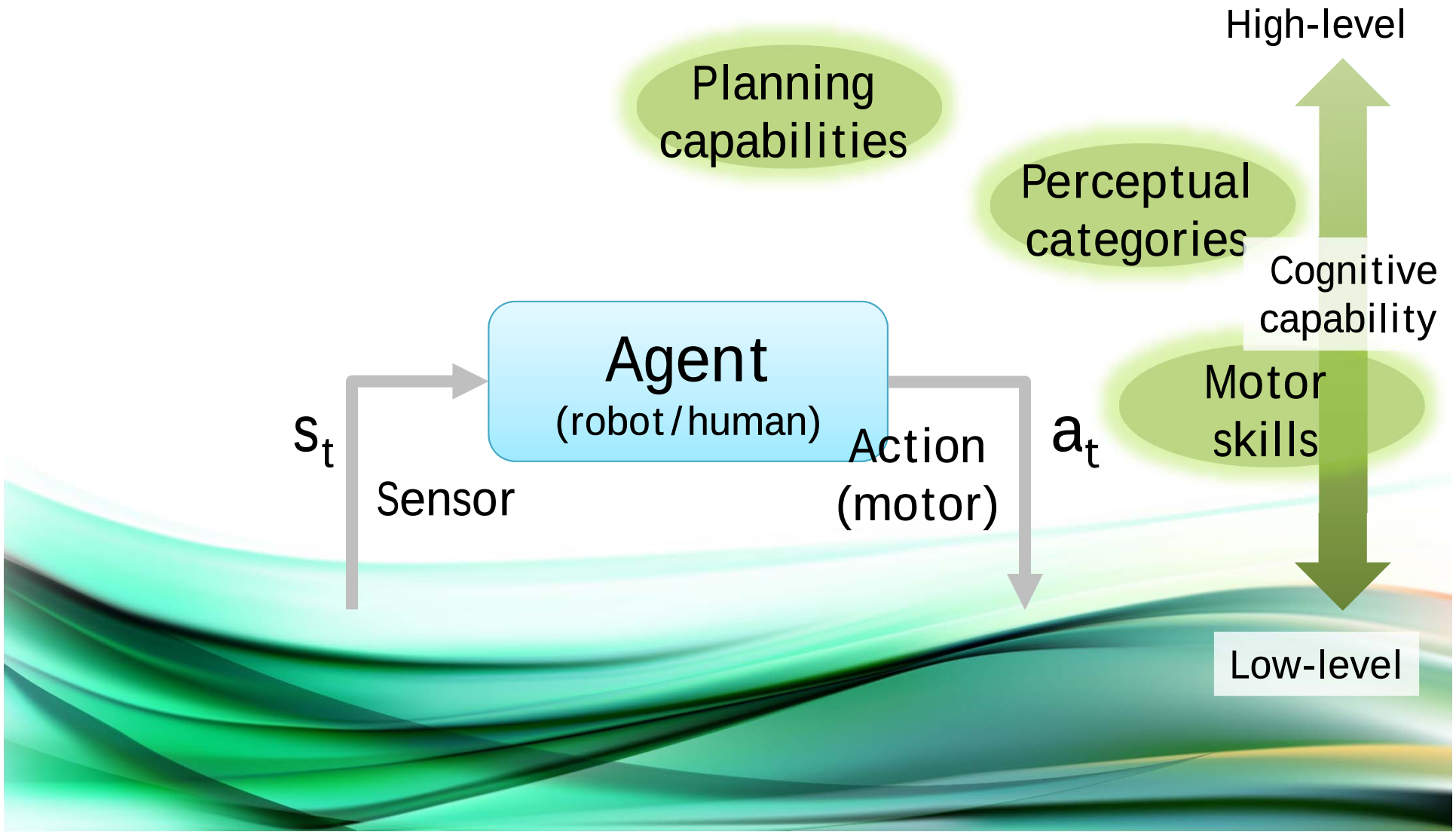
記号創発ロボティクス

Tadahiro Taniguchi[a], Takayuki Nagai[b], Tomoaki Nakamura[b], Naoto Iwahashi[c], Tetsuya Ogata[d] and Hideki Asoh[e]

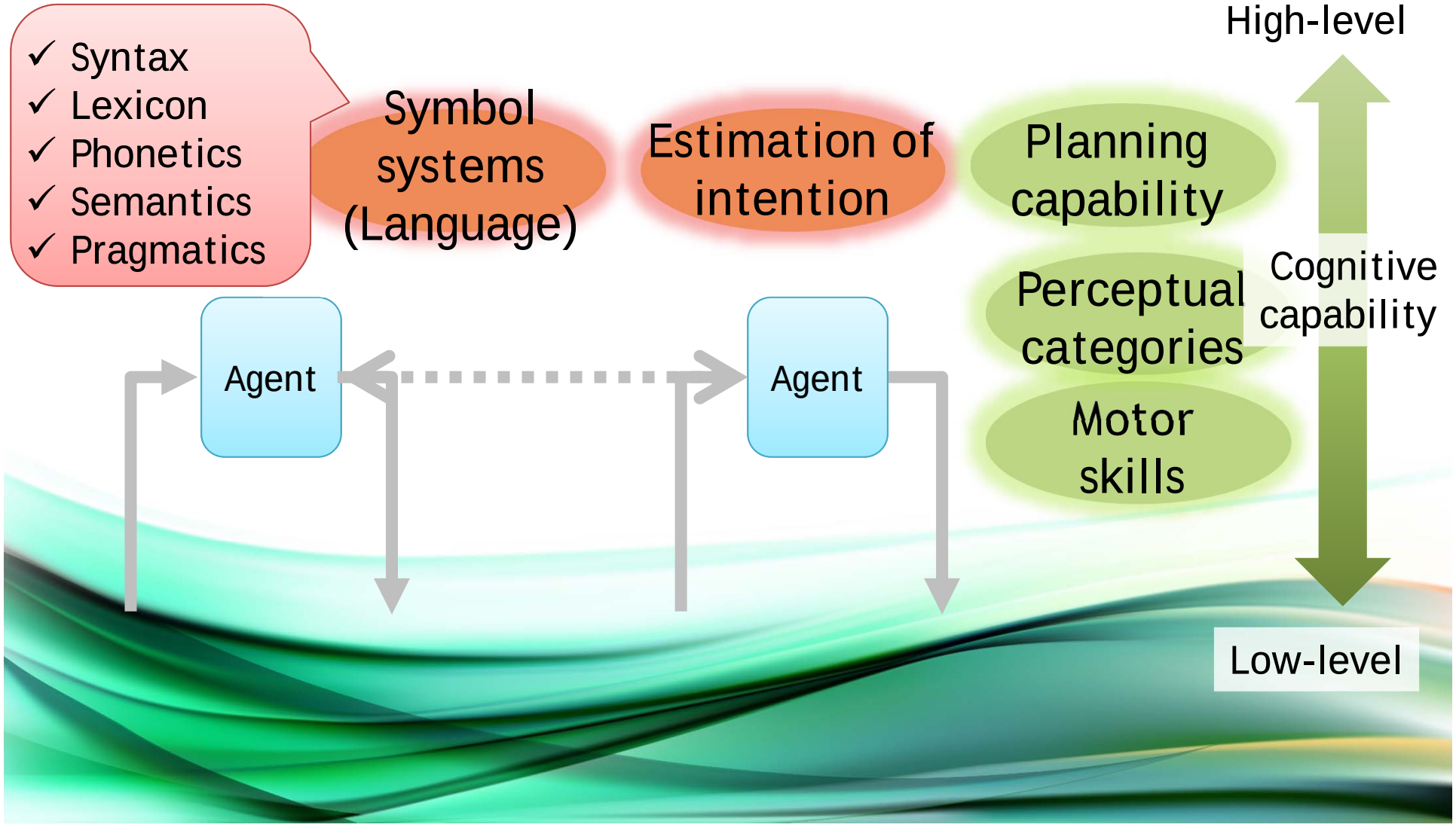


Tadahiro Taniguchi, Takayuki Nagai, Tomoaki Nakamura, Naoto Iwahashi, Tetsuya Ogata, and Hideki Asoh, Symbol Emergence in Robotics: A Survey
Advanced Robotics, .(2016)DOI:10.1080/01691864.2016.1164622

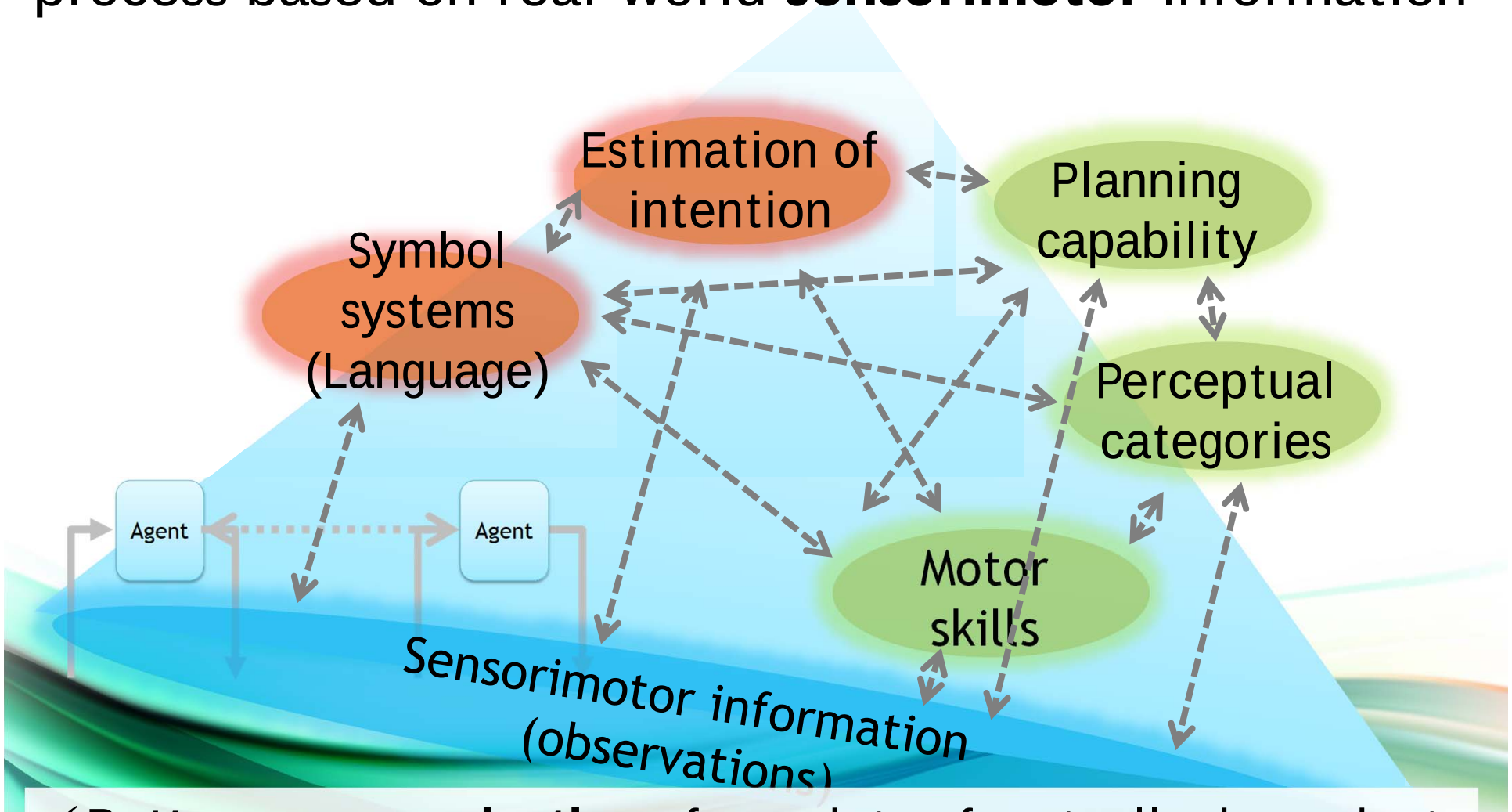
Development though a self-organizational learning process based on real-world **sensorimotor** information



Development though a self-organizational learning process based on real-world **sensorimotor** information

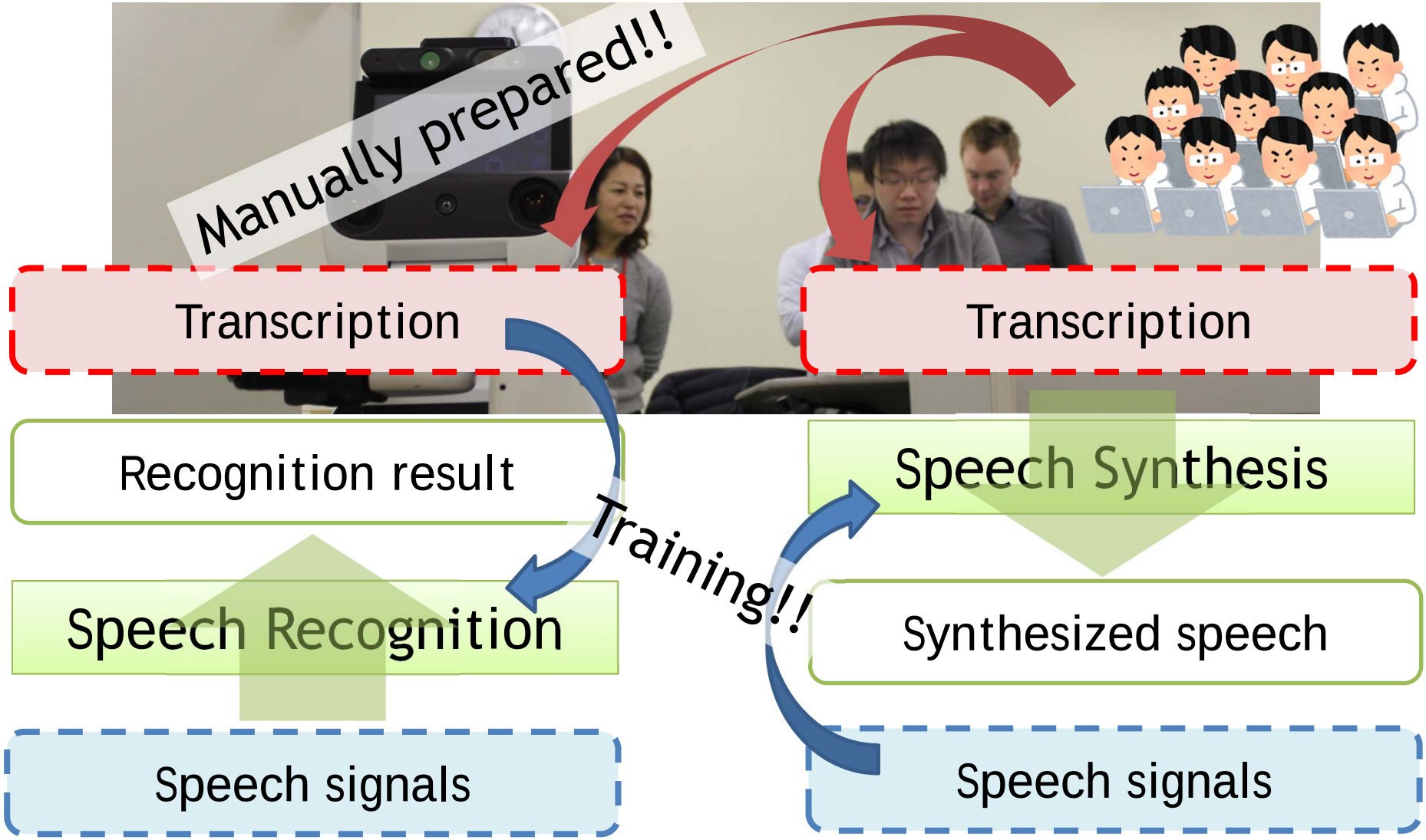


Development though a self-organizational learning process based on real-world **sensorimotor** information



✓ **Bottom-up organization** of a variety of mutually dependent cognitive functions based on sensorimotor information

Automatic speech recognition (ASR) and **synthesis technologies (TTS)** benefitted from **transcribed data**



However, children DO NEVER have **transcribed data**

Internal representations

Speech Synthesis

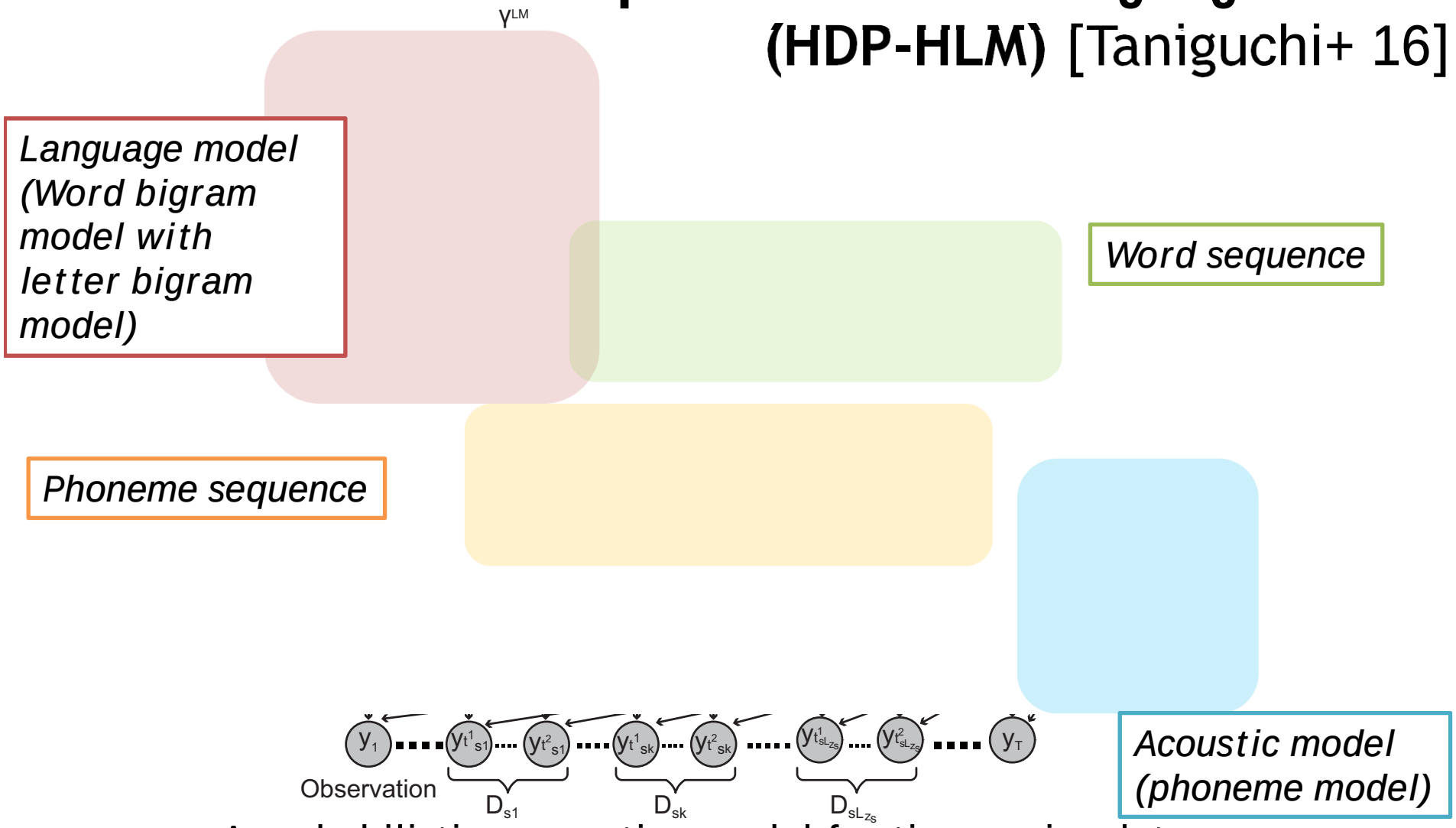
Speech Recognition

Speech signals

Speech signals

Children are performing **unsupervised learning** for spoken word/sentence production <u>w/o transcribed data</u>.

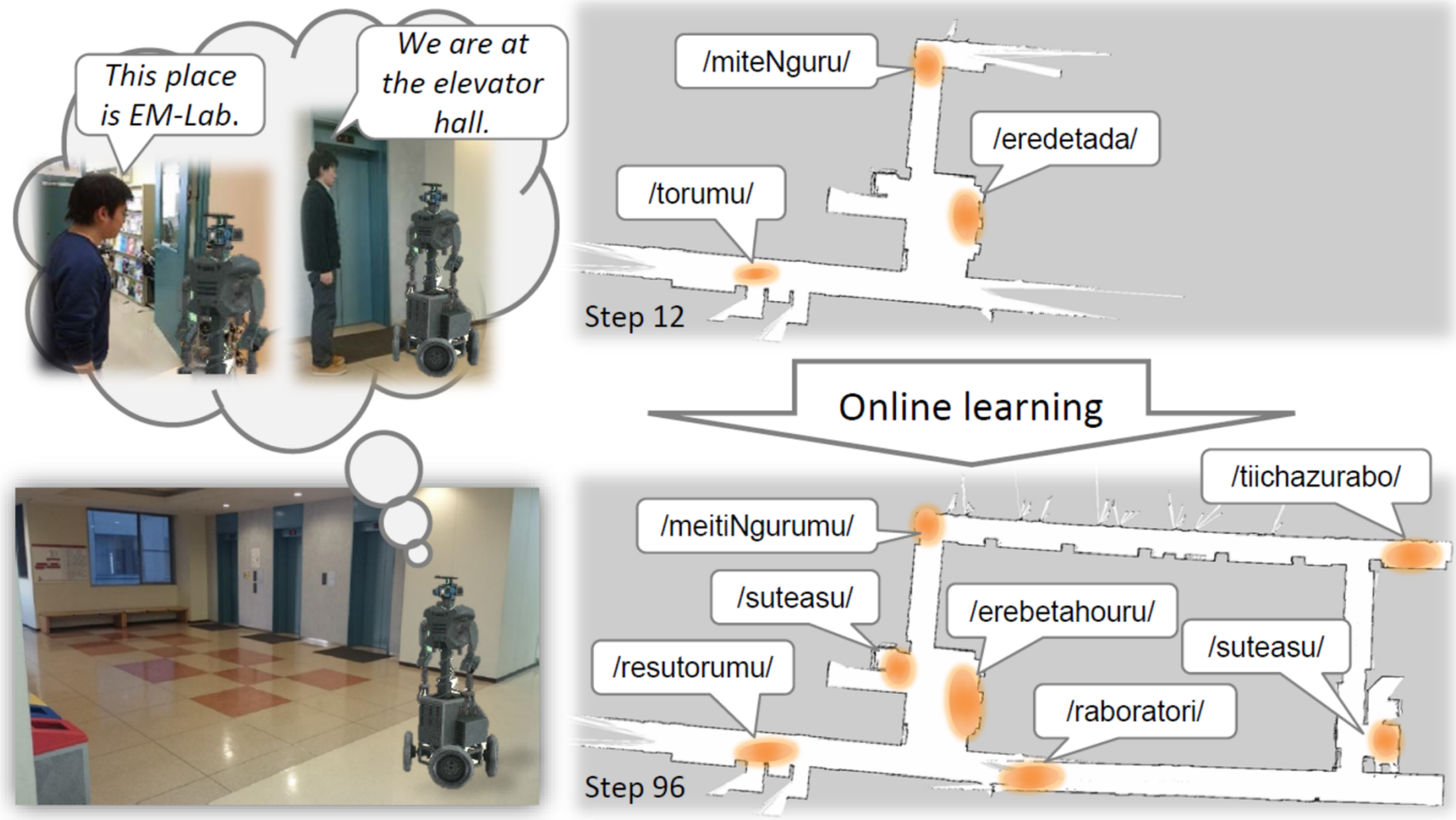
Hierarchical Dirichlet process hidden language model (HDP-HLM) [Taniguchi+ 16]



A probabilistic generative model for time-series data having double articulation structure

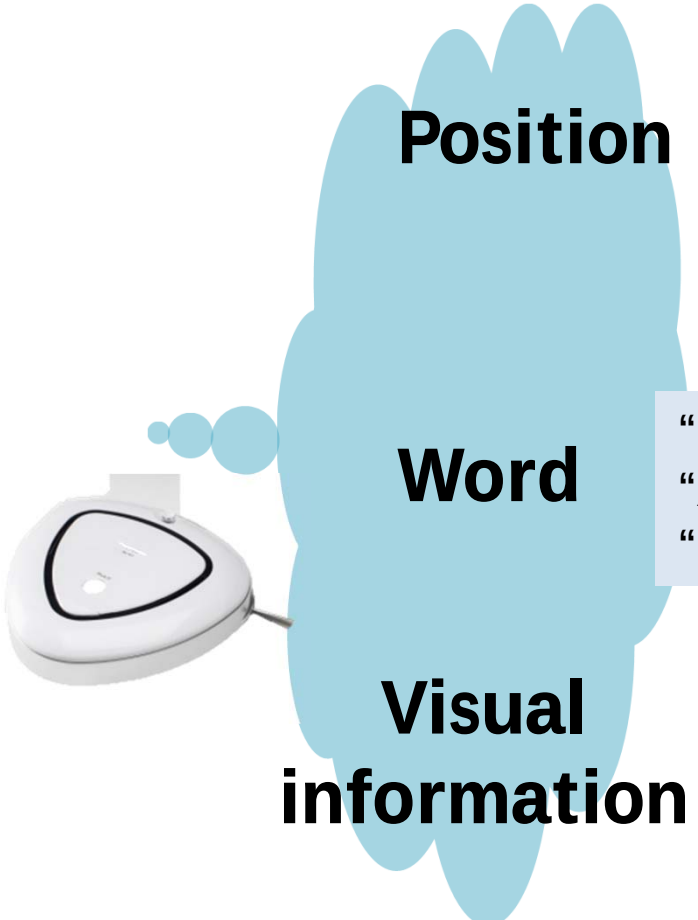
Tadahiro Taniguchi, Shogo Nagasaka, Ryo Nakashima, Nonparametric Bayesian Double Articulation Analyzer for Direct Language Acquisition from Continuous Speech Signals, IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems.(2016)

Online spatial concept acquisition method
SpCoSLAM [Taniguchi+ 2017]
(including word discovery task)

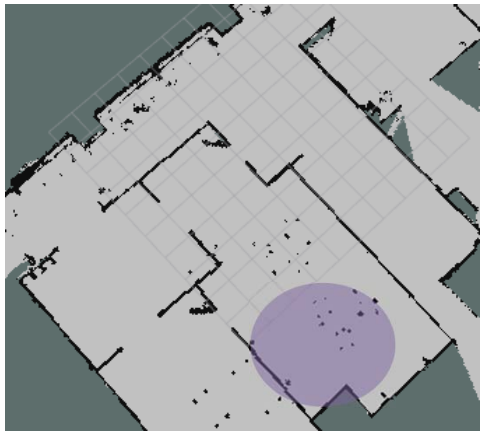


Akira Taniguchi, Yoshinobu Hagiwara, Tadahiro Taniguchi and Tetsunari Inamura, Online Spatial Concept and Lexical Acquisition with Simultaneous Localization and Mapping, IEEE IROS 2017 p. 811-818 .(2017) oral

Spatial concept is multimodal



Position



Where is the space?

Word

"This is *the third table*"
"*A meeting space*"
"*Under the air conditioner*"

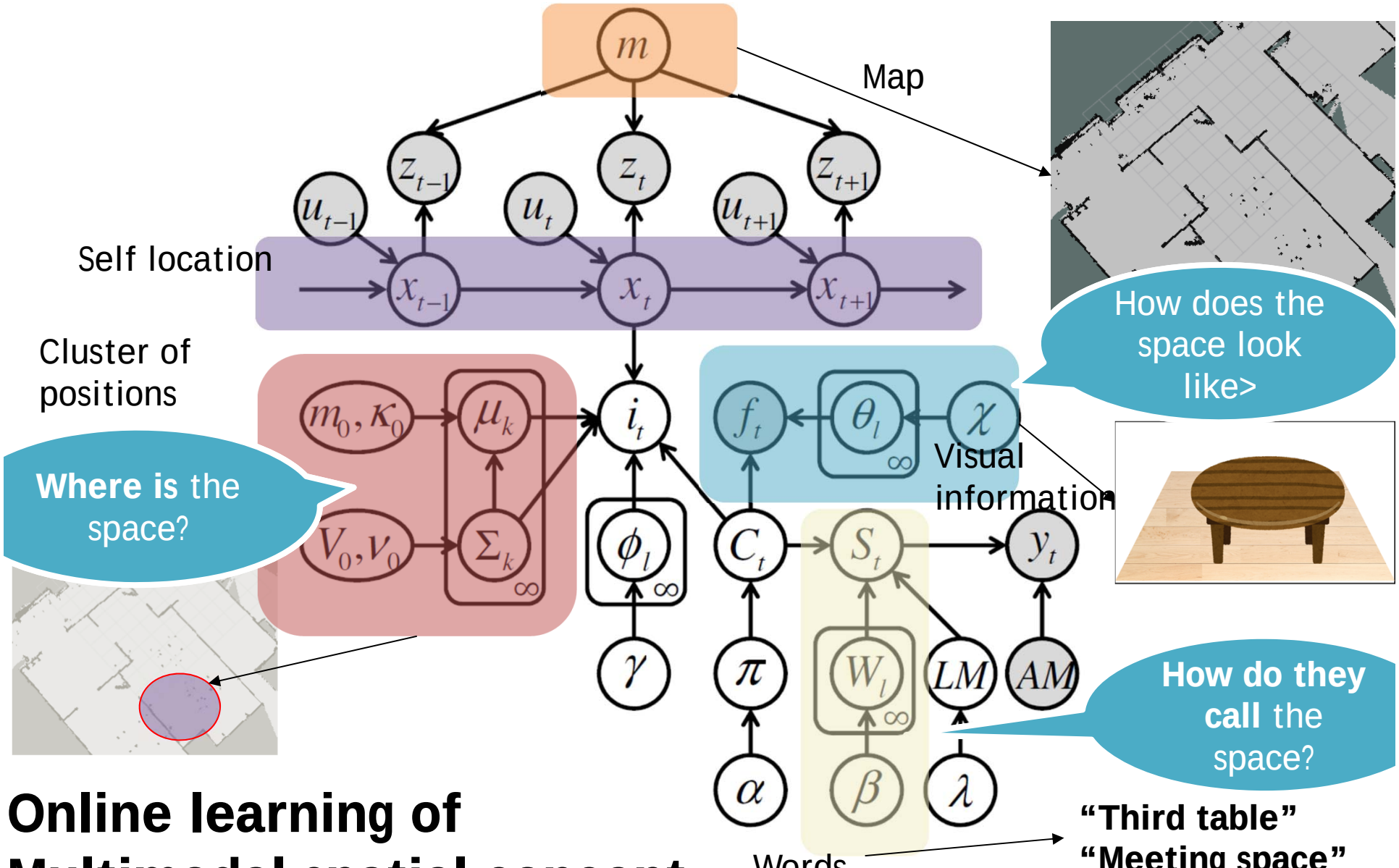
How do they call the space?

Visual information

How does the space look like>

Sound, smell, ,,,

Graphical model of SpCoSLAM



Online learning of Multimodal spatial concept

Symbol Emergence in Robotics for Future Human-Machine Collaboration

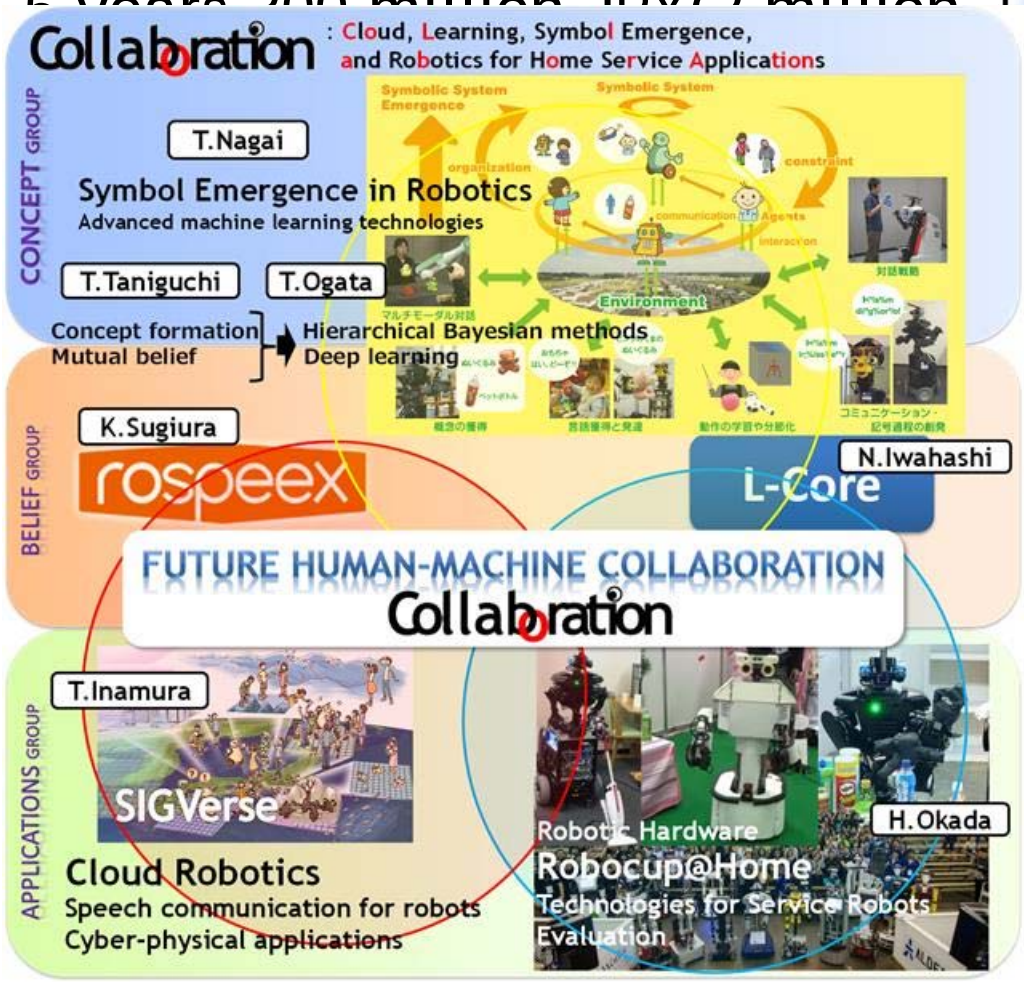
記号創発ロボティクスによる人間機械コラボレーション基盤創成 (2015-2021)

JST CREST 5.5 years 200 million JPY(2 million Euro approx)

Leader

T. Nagai (UEC)

- Home Robotics
- Human-Robot communication
- Embodied language acquisition
- Modeling human-robot collaboration
- Multimodal Information Processing
- Bayesian modeling of knowledge
- Deep learning
- Symbol Emergence
- Cloud robotics



T. Taniguchi (Ritsumeikan U.)

T. Ogata (Waseda U.)

K. Sugiura (NICT)

N. Iwahashi (Okayama P.U.

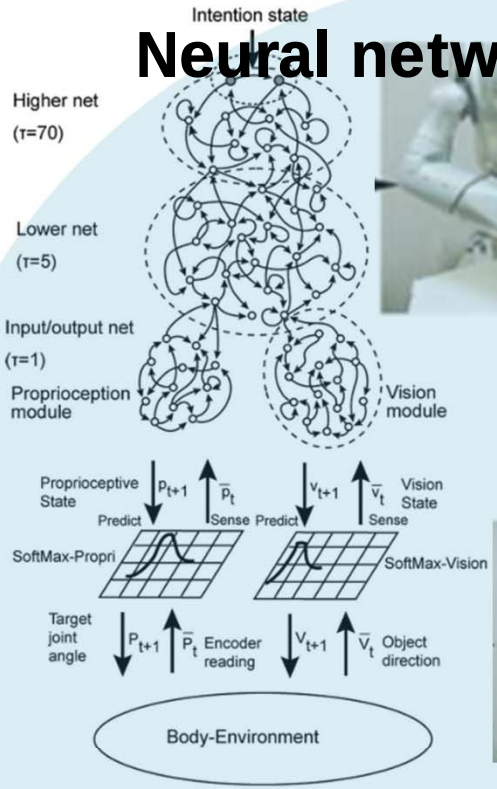
T. Inamura (NII)

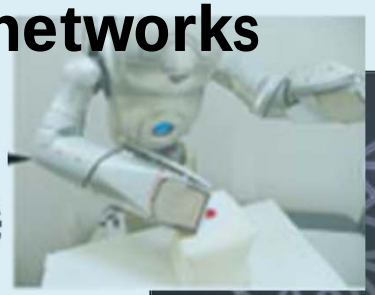
H. Okada (Tamagawa U.)

....Embodied semantic communication and collaboration with Robots

Building an integrative **cognitive system** that can learn and adapt in the real-world environment

Neural networks





[Ogata+, Tani+, and so on]

Probabilistic generative models (Bayesian approach?)

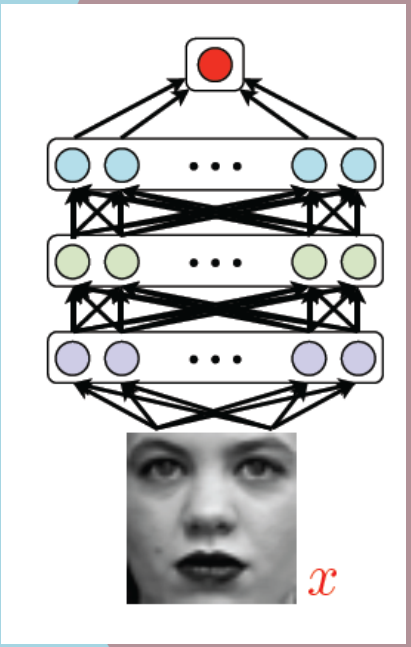
[Nagai+, Taniguchi+, and so on]

Tani, J. (2014). Self-organization and compositionality in cognitive brains: A neurorobotics study. *Proceedings the IEEE*, *102*(4), 586-605.

Takaya Araki, Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Shogo Nagasaka, **Tadahiro Taniguchi**, Naoto Iwahashi. Online Learning of Concepts and Words Using Multimodal LDA and Hierarchical Pitman-Yor Language Model. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2012 (IROS 2012), 1623-1630 .(2012)

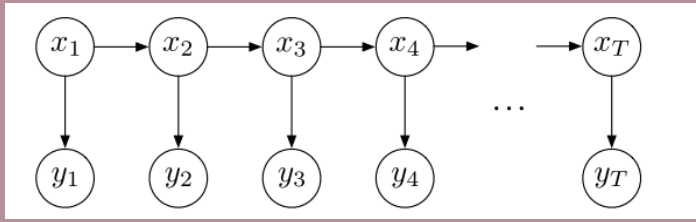
Converging!!!

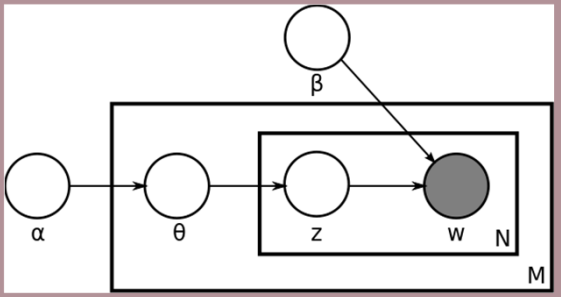
Neural networks



- CNN, DNN, LSTM, MTRNN
- Discriminative model (in many cases)
- Supervised learning (in many cases)

Probabilistic generative models (Bayesian approach?)

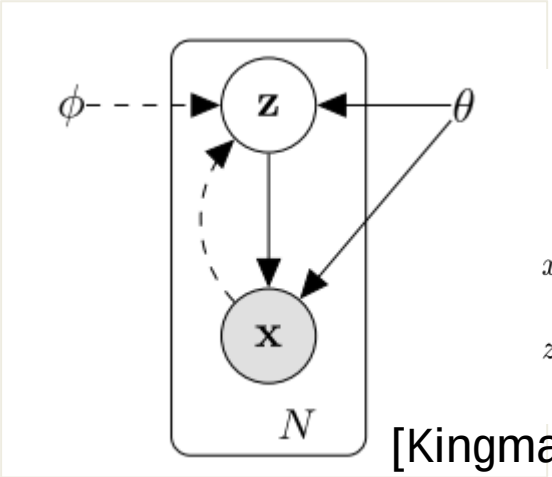




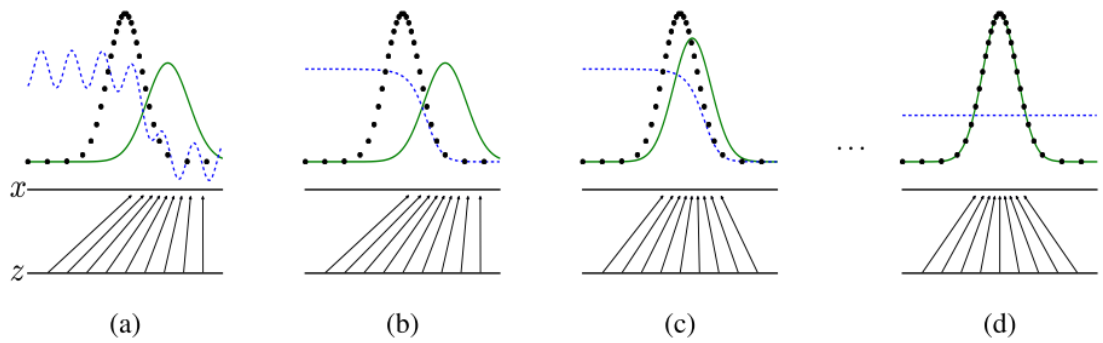
- LDA, HMM, GMM, SLAM
- Generative models
- Unsupervised learning

Convergence of **probabilistic generative models** and **neural networks**

- Bayesian neural networks
- Auto-Encoding Variational Bayes (e.g, variational autoencoder) [Kingma+ 13]
- Generative adversarial networks [Goodfellow+ 14]



[Kingma+ 13]



[Goodfellow+ 14]

Integrating NNs and probabilistic generative models in various ways is crucially important in symbol emergence in robotics

Kingma, D. P., & Welling, M. (2013). Auto-Encoding Variational Bayes, (MI), arXiv

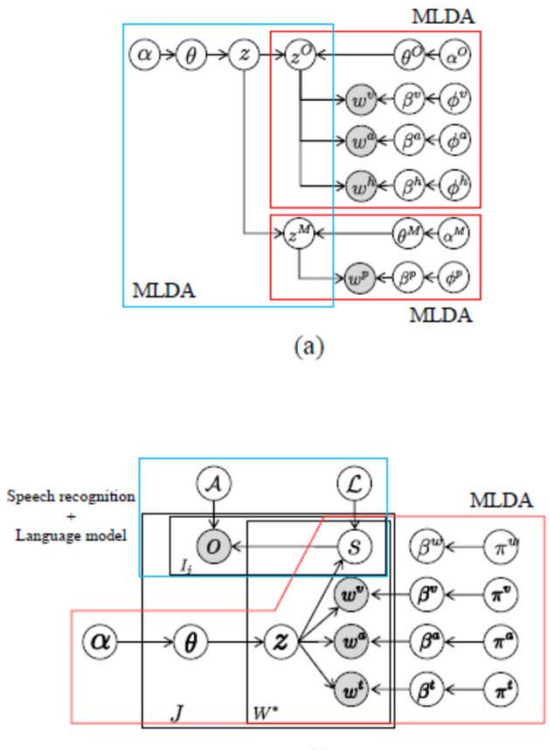
Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Bengio, Y. (2014). Generative Adversarial Nets. *Advances in Neural Information Processing Systems 27*, 2672–2680.

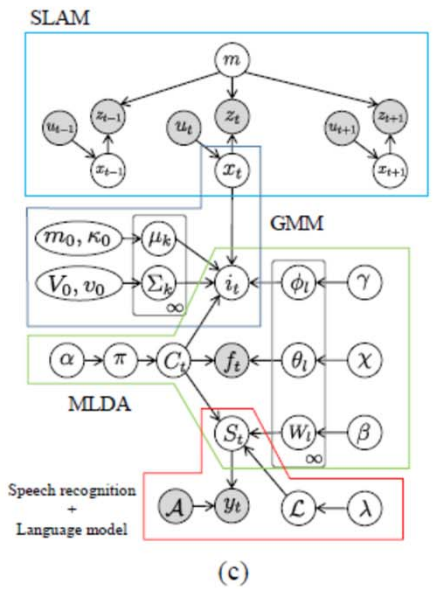
Challenges related to computational models for symbol emergence in robotics

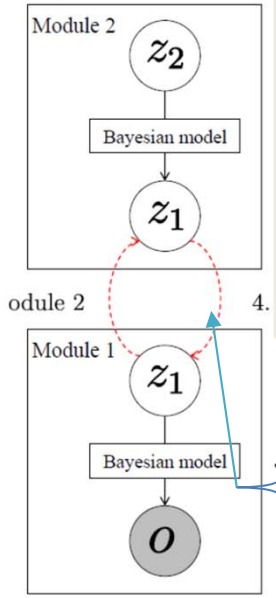
- Practical scalability in development
  - Reducing cost, e.g., development, coding, learning and inference, to develop a large cognitive systems using probabilistic programming language.
  - Re-using pre-existing cognitive modules
- Feature extractions/ representation learning
  - Making use of NN.
  - Combining NN (e.g., VAE) with probabilistic models
- Flexible and efficient inference
  - Amortized Inference and black-box VI

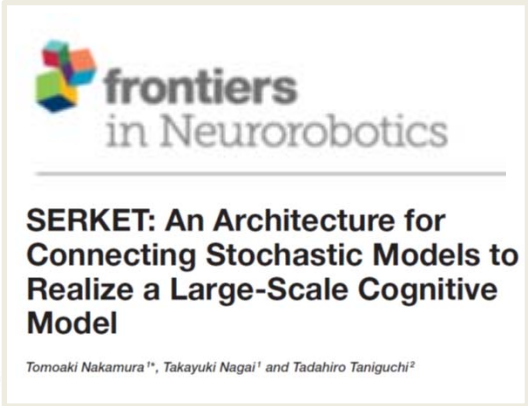
Deep probabilistic models

SERKET: An Architecture for Connecting Stochastic Models to Realize a Large-Scale Cognitive Model








frontiers in Neurorobotics

SERKET: An Architecture for Connecting Stochastic Models to Realize a Large-Scale Cognitive Model

Tomoaki Nakamura[1*], Takayuki Nagai[1] and Tadahiro Taniguchi[2]

1. Belief propagation
2. SIR
3. MH

- Connecting cognitive modules developed as probabilistic generative models and letting them work together as a single unsupervised learning system.
- Having inter-module communication of probabilistic information and guaranteeing theoretical consistency.
- Providing a cognitive module as a ROS model. This kind of idea allow us distributed development of probabilistic model-based cognitive systems.

Nakamura T, Nagai T and Taniguchi T (2018) SERKET: An Architecture for Connecting Stochastic Models to Realize a Large-Scale Cognitive Model. Front. Neurorobot. 12:25. doi: 10.3389/fnbot.2018.00025

frontiers in Neurorobotics

ORIGINAL RESEARCH
published: 26 June 2018
doi: 10.3389/fnbot.2018.00025

SERKET: An Architecture for Connecting Stochastic Models to Realize a Large-Scale Cognitive Model

Tomoaki Nakamura[1], Takayuki Nagai[1] and Tadahiro Taniguchi[2]*

[1] *Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, University of Electro-Communications, Tokyo, Japan,*
[2] *Department of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Shiga, Japan*

To realize human-like robot intelligence, a large-scale cognitive architecture is required for robots to understand their environment through a variety of sensors with which they are equipped. In this paper, we propose a novel framework named Serket that enables the construction of a large-scale generative model and its inferences easily by connecting sub-modules to allow the robots to acquire various capabilities through interaction with their environment and others. We consider that large-scale cognitive models can be constructed by connecting smaller fundamental models hierarchically while maintaining

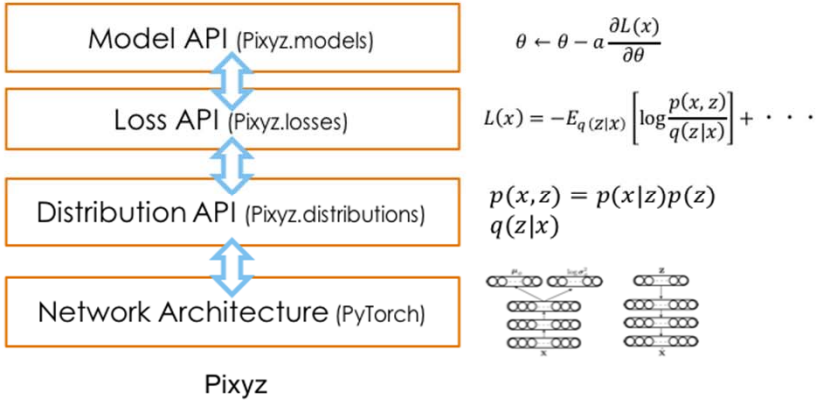
Nakamura T, Nagai T and Taniguchi T (2018) SERKET: An Architecture for Connecting Stochastic Models to Realize a Large-Scale Cognitive Model. Front. Neurorobot. 12:25. doi: 10.3389/fnbot.2018.00025

Pixyz: A library for developing deep generative models [Suzuki+]

Pix,y,z)

https://github.com/masa-su/pixyz

- 手続き方の処理としてのニューラルネットワークではなくて、確率的生成モデルを前提としたライブラリ
- Serketの考え方と親和性が高く、深層生成モデルとして、認知モジュールを構築し、統合していくバックエンドになりえるか？⇒Project Neuro-Serket??

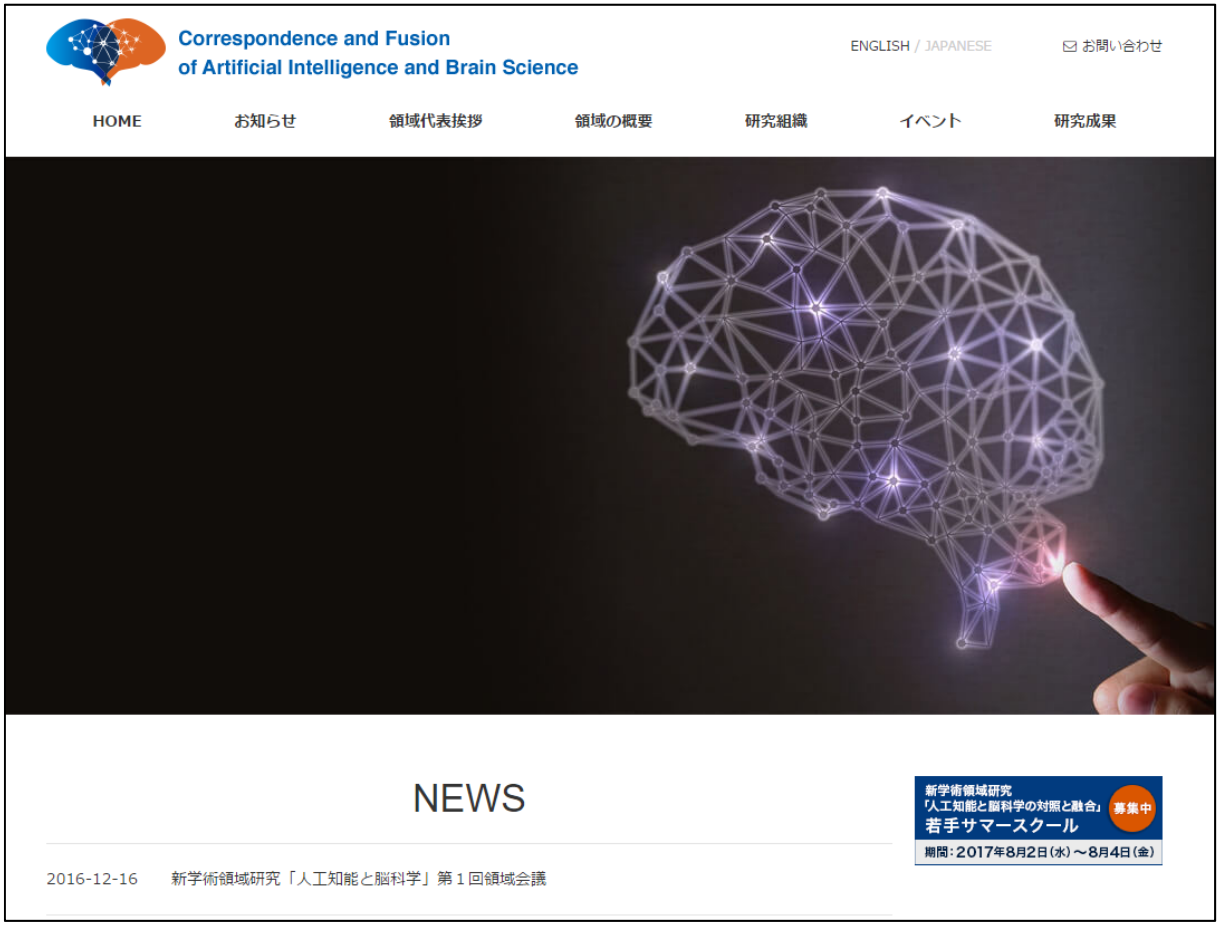


ロボットを動かす全脳的な認知システムを
マルチモーダル深層生成モデルで書ききれるか

Dr. Masahiro Suzuki
(Matsuo lab. Tokyo U.)
https://weblab.t.u-tokyo.ac.jp/en/members/

文部科学省科学研究費・新学術領域研究
（2016～2020年度）
「人工知能と脳科学の対照と融合」

科研費
KAKENHI



領域代表
銅谷賢治（OIST）

AI系・計画班代表

松尾豊
（東大）

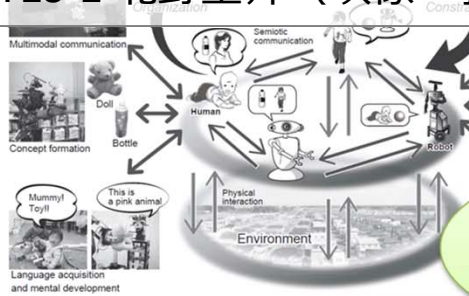
谷口忠大
（立命館大）

立命館大学グローバルイノベーション機構 R-GIRO 研究拠点Ⅳ

次世代人工知能と記号学の国際融合研究拠点

PL: 谷口忠大 （情報理工学部・教授）

GL3: **吉田寛（先端研・教授）**
TL3-1 北野圭介（映像・教授）



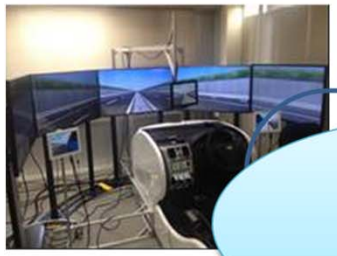
先端研（衣笠）

グループ３
記号論

グループ４
未来のAI社会

GL4: **青山敦（MOT・教授）**

MOT（OIC）



グループ１
自動運転車

グループ２
家庭用ロボット

GL2: **島田伸敬（情理・教授）**

GL1: **和田隆広（情理・教授）**
TL1-2 深尾隆則（理工・教授）

グループ５
音表象技術

GL5: 西浦敬信（**情理・教授**

理工・情理（BKC）

Service Robotics Category

Service Robotics Category

サービスカテゴリー

TOYOTA

標準プラットフォームロボットのトヨタ自動車株式会社のHSR

パートナーロボットチャレンジ
（家庭内の各種作業支援チャレンジ）

家庭における片付け（整理整頓、収納等）や留守番対応

実機リーグ、シミュレーションリーグを開催

実機リーグ

ルールブックはこちら ›

プラットフォームロボット詳細 ›

シミュレーションリーグ

ルールブックはこちら ›

※ルールブック（ドラフト）は英語版のみです

フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ
（店舗における各種業務の自動化チャレンジ）

食品など複数種類の商品の品出し・入替、客や従業員とのインタラクション、トイレの清掃

ルールブックはこちら ›

※ルールブック（ドラフト）は英語版のみです

Awards

Future Convenience Store

タスク優勝
経産省NEDO理事長賞
計測自動制御学会賞
賞金300万円

Partner Robot (Real)

総合準優勝
経産省NEDO理事長賞
賞金300万円

Partner Robot (Virtual)

総合3位
WRS実行委員長賞
賞金100万円

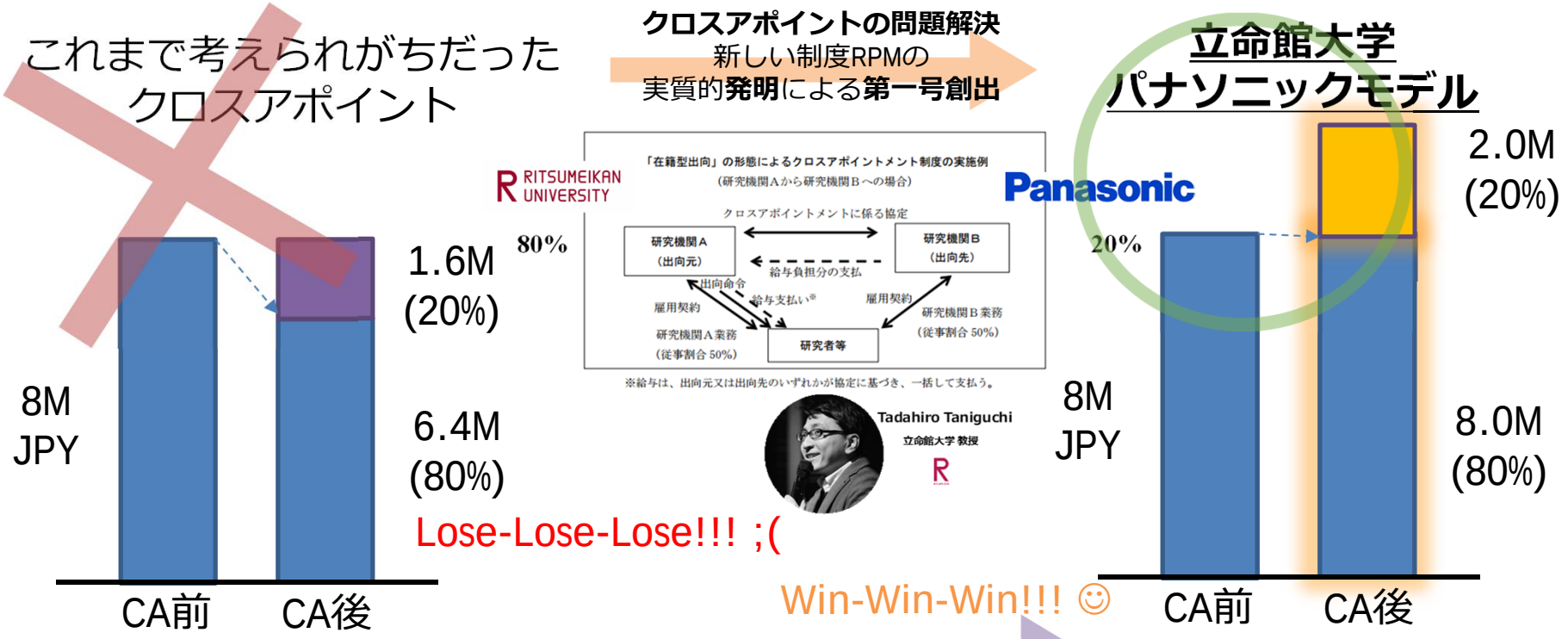
Finally we received four awards in WRS

https://www.youtube.com/watch?v=uqKKQn_RSV8

立命館大学・パナソニックモデル(RPM)

合理的かつ実現可能なCAに向けて

- CAは企業，大学，研究者が**Win-Win-Win**にならなければ意味がない．
- そのためには研究者への**給与の上積み**が必要．
  （大学が国からの補助金に関して問題を抱えるならば，それは推進したい文科省がなんとかすべき⇒困難ならば**私学が先行**すべき）



- ✓ 研究者にとっては実質減俸，企業は頼みにくい．
- ✓ 研究者の可処分が減り，研究の進捗も悪化．不幸を生む．

合理的かつ実現可能なCA

TOPICS 1

AI研究チームの活性化と高度化

- パナソニックのAI関連開発，AI研究を牽引する先端グループとしての小規模な尖ったチームを組織，トップカンファレンスへの論文採択を目指している．
- チームビルディングや知識共有のための合宿なども企画．
- 2017年度はチームから3件採択（NIPS, IJCAI, ICRA）

議論の様子

発表文献

- Ohama, I., Sato, I., Kida, T., & Arimura, H. (2017). On the Model Shrinkage Effect of Gamma Process Edge Partition Models. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 396-404).
- Ohama, I., Kida, T., & Arimura, H. (2017, August). Discovering relevance-dependent bicluster structure from relational data. In *Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 2578-2584). AAAI Press.
- Okada, M., & Taniguchi, T. (2017). Acceleration of Gradient-based Path Integral Method for Efficient Optimal and Inverse Optimal Control. *arXiv preprint arXiv:1710.06578*. (ICRA 2018 accepted)
- Ryuji Sakata, Iku Ohama, and Tadahiro Taniguchi, An Extension of Gradient Boosted Decision Tree Incorporating Statistical Tests, Data Science and Big Data Analytics (DSBDA) 2018, IEEE International Conference on Data Mining Workshops, 2018, Singapore, Singapore
- 谷口　忠大, 確率的生成モデルとディープラーニングに基づくAIの家庭環境への実装に向けて, パナソニック技報, 2018 , 64, 招待論文　ほか

TOPICS 2

経産省・NEDO主催**WRS**（ワールドロボットサミット）で**優勝**

- 2018年に開催されたWRS(プレ大会)において，パナソニック，立命館大学，NAISTのレン号チーム”NAIST-Rits-Panasonic”の組成に貢献
- **Future Convenience Store Challenge**（セブンイレブン協賛）接客タスクにおいて**優勝**.
- 2020年の本大会（東京五輪併催）においても優勝を目指す.

NAIST-Rits-Panasonicのメンバー

経産省NEDO理事長賞，計測自動制御学会賞

RITSUMEIKAN UNIVERSITY　RITSUMEIKAN GLOBAL INNOVATION RESEARCH ORGANIZATION R-GIRO　X　Panasonic

TOPICS 3

国家レベルでの博士AI人材育成も考慮した **有給インターンシップ制度**の構築

LAB BASE

- パナソニックの内部から企画を進め，有給インターンシップ制度の構築に貢献した．
- 国際的にはインターンシップは生活をまかなえる程度には支払われるものであるが，日本では修士の短期見学のような文化が生まれており，国際的な流れに遅れ，人材獲得と育成に遅れをとっている．
- 博士後期課程の学生が十分に支払われないために，後期課程の進学者にメリットが少なく，人材育成が遅れている．
- パナソニックとしては，パナソニックの姿勢を見せるとともに，優秀な人材の獲得，及び，学生を介したオープンイノベーションも目指す．

まとめ

- 現在のAIブームを支えているディープラーニングと機械学習、そして、人工知能の概念に関して整理した。
- 記号創発ロボティクスに関して導入した。
- 現在のチャレンジのとしての深層確率的生成モデルによる認知システムの創成に関して議論した。
- WRSやクロスアポイントメント制度などの取り組みに関して議論した。

Information

NEW

Funded by

科研費
KAKENHI

JST CREST

RITSUMEIKAN GLOBAL INNOVATION RESEARCH ORGANIZATION
R-GIRO

Email: taniguchi@ci.ristumei.ac.jp
Twitter: @tanichu
Facebook: Tadahiro Taniguchi
HP: http://www.tanichu.com