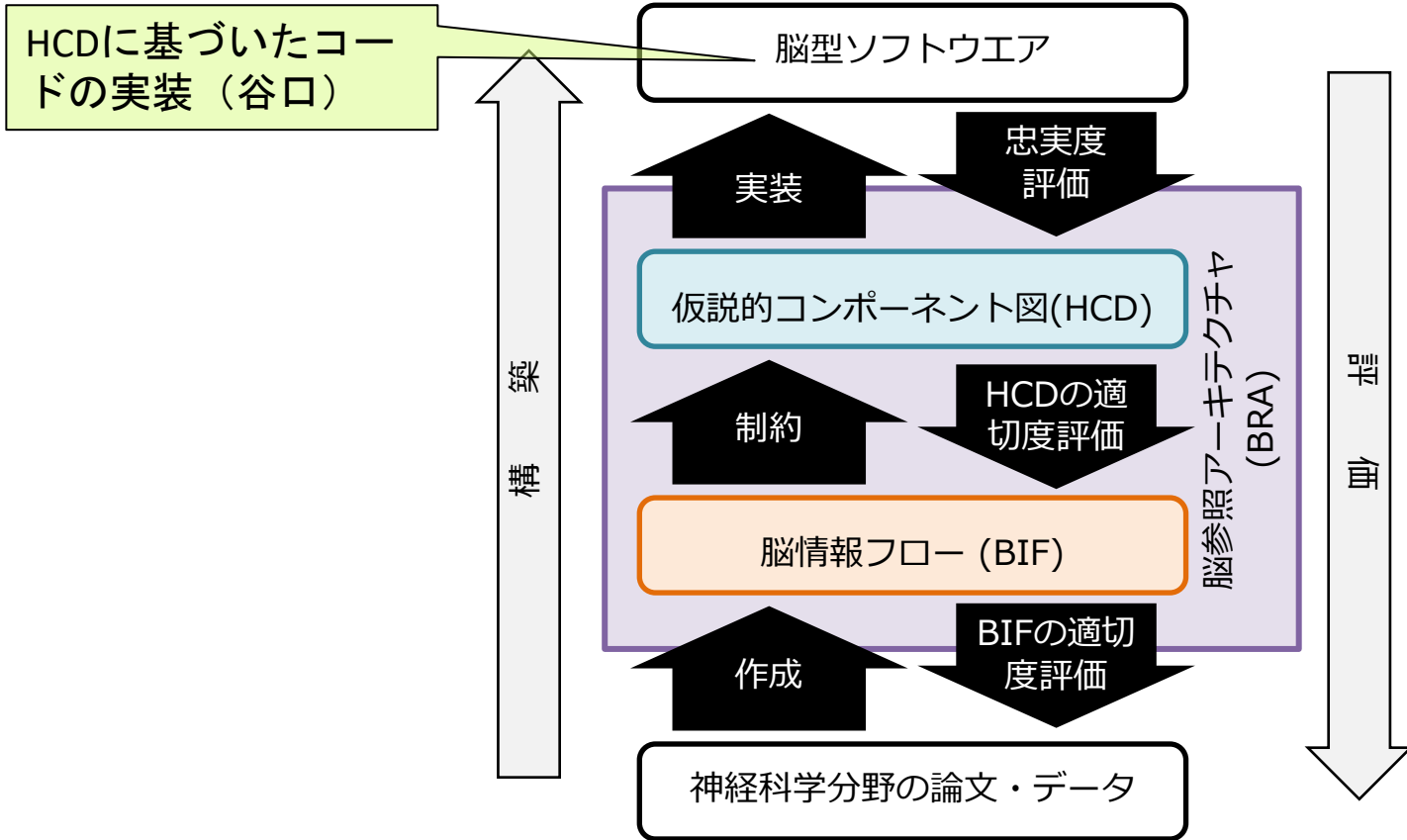


海馬体を参照した確率的生成モデル の実装

谷口 彰

立命館大学

脳参照アーキテクチャ(BRA)駆動開発における位置づけ



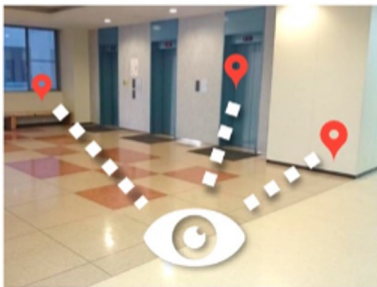
空間認知を司る脳部位として知られている海馬体を参照した確率的生成モデルの構築について紹介する。

また、構築したモデルを移動ロボットに実装した際の自己位置推定タスクへの有効性について述べる。

海馬体の概要

LEC (外側嗅内皮質)

- ✓ 場所の概念的な表現学習
- ✓ エゴセントリックな視点

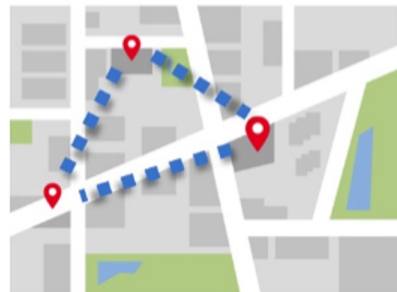


海馬



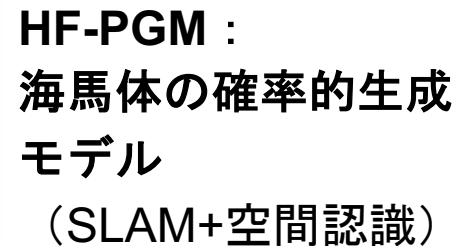
MEC (内側嗅内皮質)

- ✓ 環境のメトリックな処理
- ✓ アロセントリックな視点



LECとMECからの 2つの情報を統合

Medial septum



Akira Taniguchi, Ayako Fukawa, Hiroshi Yamakawa, "Hippocampal formation-inspired probabilistic generative model", Neural Networks, Vol.151, pp.317-335, 2022.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608022001332>

海馬体のBRA形式データ ([HF.bra](#))

The figure illustrates the relationship between brain circuit data, information flow, and hypothetical components.

Table 1: Brain Circuit Data

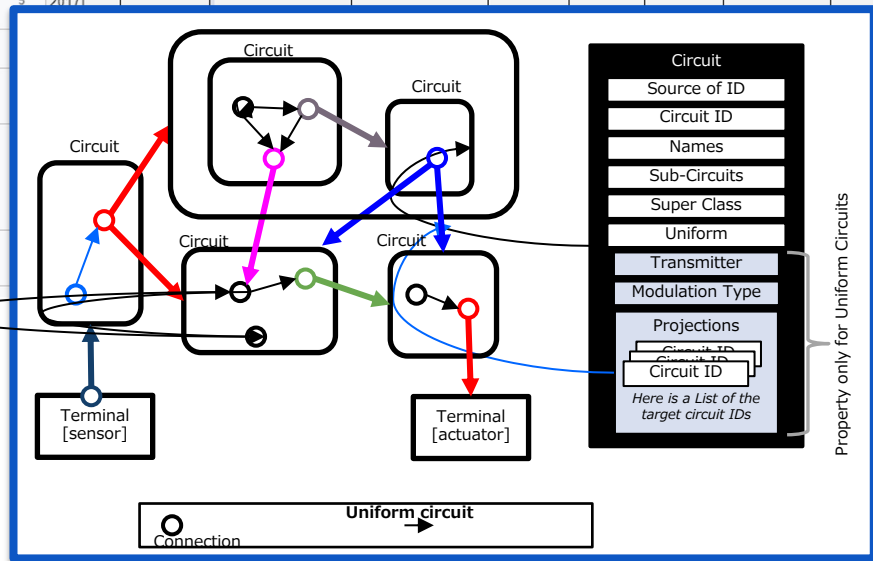
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Source of ID	Circuit ID	Names	Sub-Circuits	Super Class	Uniform	Transmitter	Modulation Type	Size	Projections	Interpretation(φ&f)	Label(1)	Function(1)	Projections in Use(1)
collection	HPF	Hippocampal	Hipp: LEC: MEC;		FALSE				PERI (origin LEC_deep_uc1);		HPF	Top Level Functions for HPF: categorization by integrating allocentric and egocentric information	PERI (GIPA:G)
DHBA	Hipp	Hippocampus											
DHBA	CA1	cornu Ammon							MEC_III [Moser, 2010]; MEC_V [Moser, 2010]; Medial septum [Rolls, 2013]; Nucleus acumens [Rolls, 2013]; PFC.L2 [Verwer, 1997]; PFC.L3 [Verwer, 1997]; S [Llorens-Martin, 2014];	Ensemble activity in CA3, but not in CA1, is sensitive to the content of a scene or place in the environment; CA3 supports the retrieval of memories about where an object is in a scene [Robertson, 1998] [Rolls, 1998] or where a reward could be found in the environment [Brun, 2002].			
[Bubb, 2017]	CA1_distal	CA1, distal			TRUE		Excitatory		S_proximal [Knierrim, 2014]; LEC_deep [Knierrim, 2014]; MEC_III [Moser, 2010];	Non-spatial semantic memory [author, year]	C	Place category (internal representation of visual spatial information)	S_proximal (GIPA:G)
									S_distal [Knierrim, 2014]; MEC_deep [Knierrim, 2014];	Place cells [Brun, 2002] [O'Keefe, 1976]	r	Position distribution (cluster information regarding positions)	S_distal (GIPA:G)
									CA1 [Llorens-Martin, 2014]; CA3 [Llorens-Martin, 2014]; MEC_II [Llorens-Martin, 2014];				
									CA1_distal [Knierrim, 2015]; CA1_proximal [Knierrim, 2015]; CA2 [Llorens-Martin, 2014][Knierrim, 2015]; CA3 [Knierrim, 2015]; DG [Llorens-Martin, 2014];	Pattern completion, information integration [Kesner, 2007] [Rolls, 2007]	H ^α [III]	Integrated semantic memory and episodic memory of information from X and Z	CA1_distal (GIPA:G)
									CA2 [Llorens-Martin, 2014]; CA3 [Llorens-Martin, 2014]; DG [Knierrim, 2015];	Pattern separation [Kesner, 2007] [Rolls, 2007]	H ^α [DG]	Integrated semantic memory	CA3 (GIPA:G)

Diagram 1: Brain Information Flow (BIF)

This diagram shows a hierarchical structure of brain circuits. A central box labeled 'Circuit' contains a sub-circuit diagram. Arrows indicate the flow of information from this central circuit to other circuits, represented by boxes labeled 'Circuit' and 'Circuit ID'. The flow is color-coded: red for 'Circuit', blue for 'Circuit ID', and green for 'Circuit ID'.

Diagram 2: Hypothetical Components (HCD)

This diagram shows a hierarchical structure of hypothetical components. A central box labeled 'Circuit' contains a sub-circuit diagram. Arrows indicate the flow of information from this central circuit to other circuits, represented by boxes labeled 'Circuit' and 'Circuit ID'. The flow is color-coded: red for 'Circuit', blue for 'Circuit ID', and green for 'Circuit ID'.



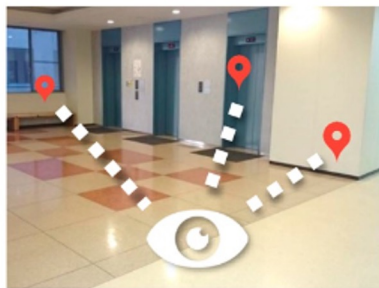
參考資料：

- 脳参照アーキテクチャ(BRA)データの記述マニュアルおよび具体例の公開
- 第1回 WBAレクチャー～認知機能の脳構造に沿った分解手法—脳機能の体系的理解を目指して

海馬体の概要

LEC (外側嗅内皮質)

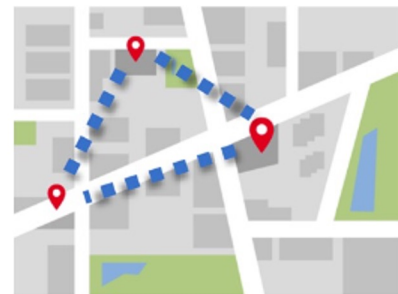
- ✓ 場所の概念的な表現学習
- ✓ エゴセントリックな視点



海馬

MEC (内側嗅内皮質)

- ✓ 環境のメトリックな処理
- ✓ アロセントリックな視点



統合

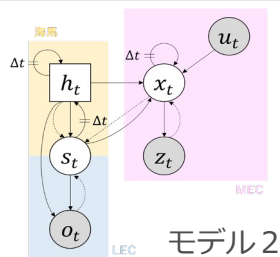
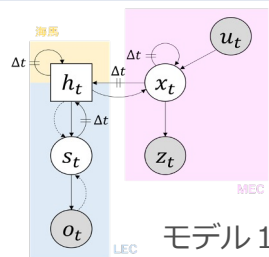
本研究

世界モデル
(RSSM/Multimodal RSSM)

SLAM
(地図生成と自己位置の同時推定)

○大竹 俊輔¹、前山 功伊¹、長谷川 翔一¹、中島 毅士¹、谷口 彰¹、谷口 忠大¹、山川 宏^{2,3} (1. 立命館大学、2. 全脳アーキテクチャ・イニシアティブ、3. 東京大学)、海馬体に学んだ確率的生成モデルの実装と有効性検証、人工知能学会全国大会, Vol. 37, No. 1Q3-OS-7a-05, 熊本, 2023年6月.

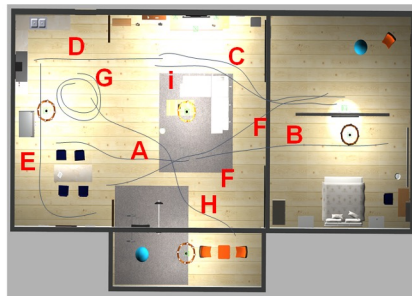
RSSM + MCLによる大域的自己位置推定、誘拐ロボット問題への対応



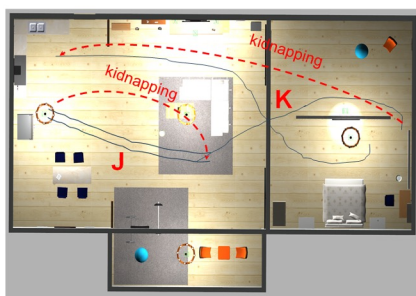
大域的自己位置推定



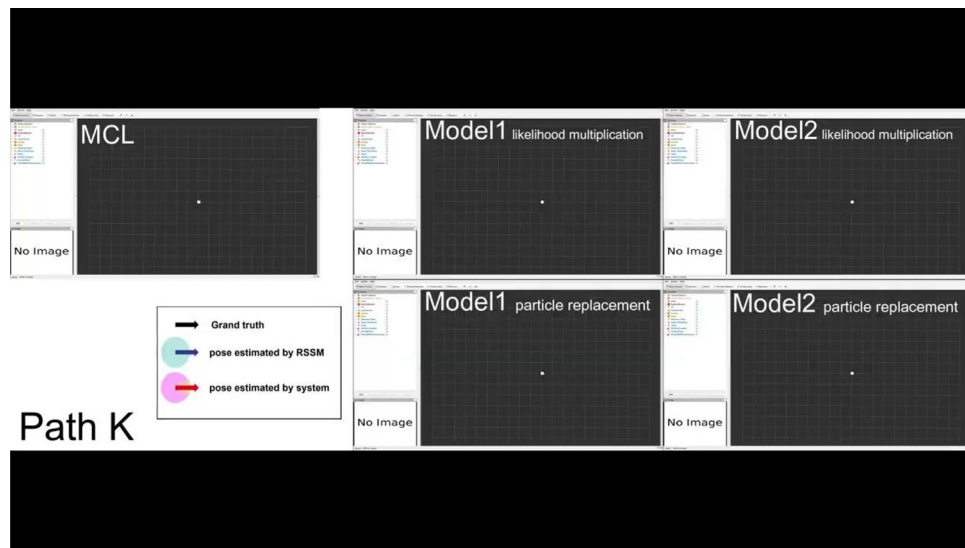
実験環境と
ロボット



trajectory of non-kidnapping (9 episodes)



trajectory of kidnapping (2 episodes)

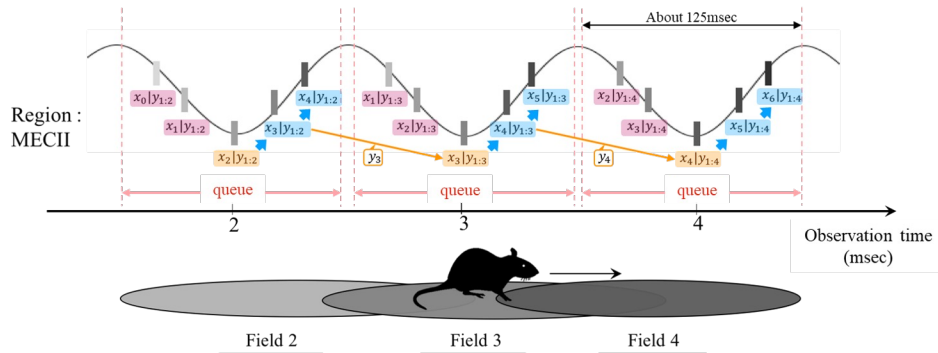


提案モデル2のパーティクル置換によって統合したモデルがMCL（ベースライン）より優位

モデルの統合により、**パーティクル枯渇問題・誘拐ロボット問題を回避**する効果を得た

シータ位相歳差の離散イベントキュー仮説に基づく自己位置推定

(a) Phase precession



(b) Discrete-event queue

$p(x_j | y_{1:i})$

x_j : state

$y_{1:i}$: observation

i : observation time

j : state time

Queue (i) $p(x_{j-2} | y_{1:i})$ $p(x_{j-1} | y_{1:i})$ $p(x_j | y_{1:i})$ $p(x_{j+1} | y_{1:i})$ $p(x_{j+2} | y_{1:i})$

Queue (i + 1) $p(x_{j-1} | y_{1:i+1})$ $p(x_j | y_{1:i+1})$ $p(x_{j+1} | y_{1:i+1})$ $p(x_{j+2} | y_{1:i+1})$ $p(x_{j+3} | y_{1:i+1})$

		State time (j)				
		1	2	3	4	5
Observation time (i)	1	$p(x_1 y_{1:1})$	$p(x_2 y_{1:1})$	$p(x_3 y_{1:1})$		
	2	$p(x_1 y_{1:2})$	$p(x_2 y_{1:2})$	$p(x_3 y_{1:2})$	$p(x_4 y_{1:2})$	
	3	$p(x_1 y_{1:3})$	$p(x_2 y_{1:3})$	$p(x_3 y_{1:3})$	$p(x_4 y_{1:3})$	$p(x_5 y_{1:3})$
	4		$p(x_2 y_{1:4})$	$p(x_3 y_{1:4})$	$p(x_4 y_{1:4})$	$p(x_5 y_{1:4})$
	5			$p(x_3 y_{1:5})$	$p(x_4 y_{1:5})$	$p(x_5 y_{1:5})$

- : filtering
- : predict
- : filtered
- : predicted
- : history
- : observation

Discrete-event queueの定式化

Queue(t)

$$= p(x_{t-2:t+2} | y_{1:t}), \quad j \in \{i-2 \leq i \leq i+2\}, \quad i = t,$$

$$= \underbrace{\eta p(x_{t+2} | x_{t+1})}_{\text{Prediction}} \underbrace{p(y_t | x_t)}_{\text{Filtering}} \underbrace{p(x_{t-2:t+1} | y_{1:t-1})}_{\int \text{Queue}(t-1) dx_{t-3}}, \quad t \geq 3.$$

- ・ 過去、現在、未来を含めた状態の同時事後分布をキューとして表現
- ・ ベイズフィルタの拡張として表現できる
 - フィルタリングに平滑化と予測を組み合わせた逐次更新アルゴリズム



(a) MCL

(b) DEQ-MCL

RSJ2023で発表予定