記憶の自己構築性から 脳と社会とAIの「知」を考える

東海大学情報通信学部 倉重 宏樹

h.kura00@gmail.com

自己紹介

▶氏名:倉重 宏樹

➤所属: 東海大学情報通信学部 講師

▶ 専門分野: 認知神経科学,計算論的神経科学



研究テーマ

数理モデリングを用いた 認知・神経現象の研究

$$\tau_{w} \frac{dw_{\text{ex},i \leftarrow \text{ex},j}}{dt} = -w_{\text{ex},i \leftarrow \text{ex},j} + \alpha \phi(v_{\text{ex},i},\theta) \sigma(v_{\text{ex},j})$$

$$\sigma(v_{\text{ex},j}) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\beta}{v_{\text{ex},j} - \Theta}\right)}$$

$$\phi(v_{\text{ex},i},\theta) = \frac{6.75v_{\text{ex},i}^{2}(v_{\text{ex},i} - \theta)}{\theta^{3}} + \tanh\left(\frac{6.75(v_{\text{ex},i} - \theta)}{\theta}\right)$$

$$\theta = \frac{1 - \gamma \Delta t}{1 - (\gamma \Delta t)^{t/\Delta t}} \hat{\theta}$$

$$\hat{\theta} \leftarrow v_{\text{ex},i} + \gamma \Delta t \hat{\theta}$$

$$w_{\text{ex},i \leftarrow \text{ex},j} \leftarrow \kappa w_{\text{ex},i \leftarrow \text{ex},j} / \sum_{k} w_{\text{ex},i \leftarrow \text{ex},k}.$$

Kurashige et al., (2019)

脳計測を用いた記憶・学習の研究

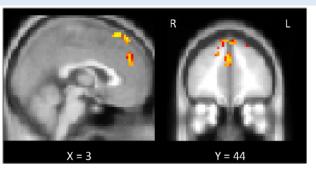
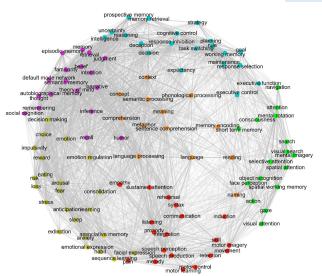


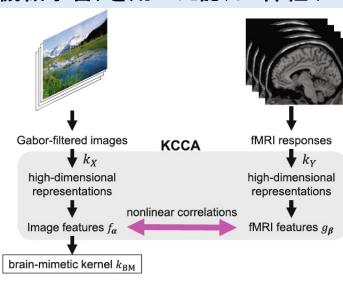
FIGURE 8 | Exploratory analysis of the whole brain. Comparison of the "w/prior" and "w/o prior" posterior sentences. In both cases, the correlations between the preplay-like activity (in $Day\ 2$ pre rsfMRI) for the posterior sentences and the understanding rating for the posterior sentences were calculated for each voxel. Then, these correlations were compared. The significant voxels (p < 0.05) are shown under the FWE- and Bonferroni-corrections for the number of voxels and the three conditions ($r_{\rm W/prior} > 0$, $r_{\rm W/o\ prior} > 0$, $r_{\rm W/o\ prior} > r_{\rm W/o\ prior}$), respectively.

Kurashige et al., (2018)

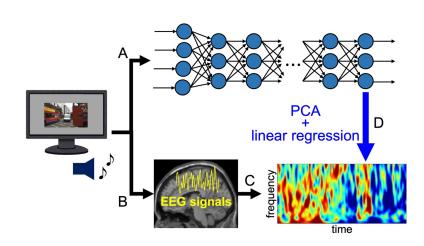
AI(機械学習)を用いた認知・神経データ解析



Kurashige et al., (2020)



Kurashige et al., (2021)

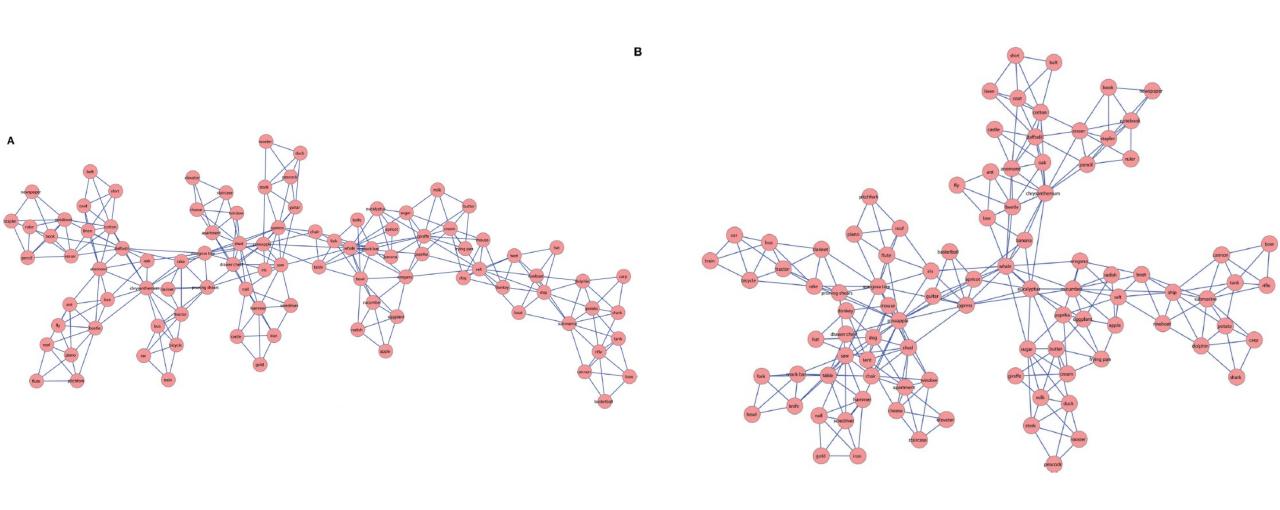


Kurashige & Kaneko, (2022)

予備知識:意味空間と神経表現幾何学

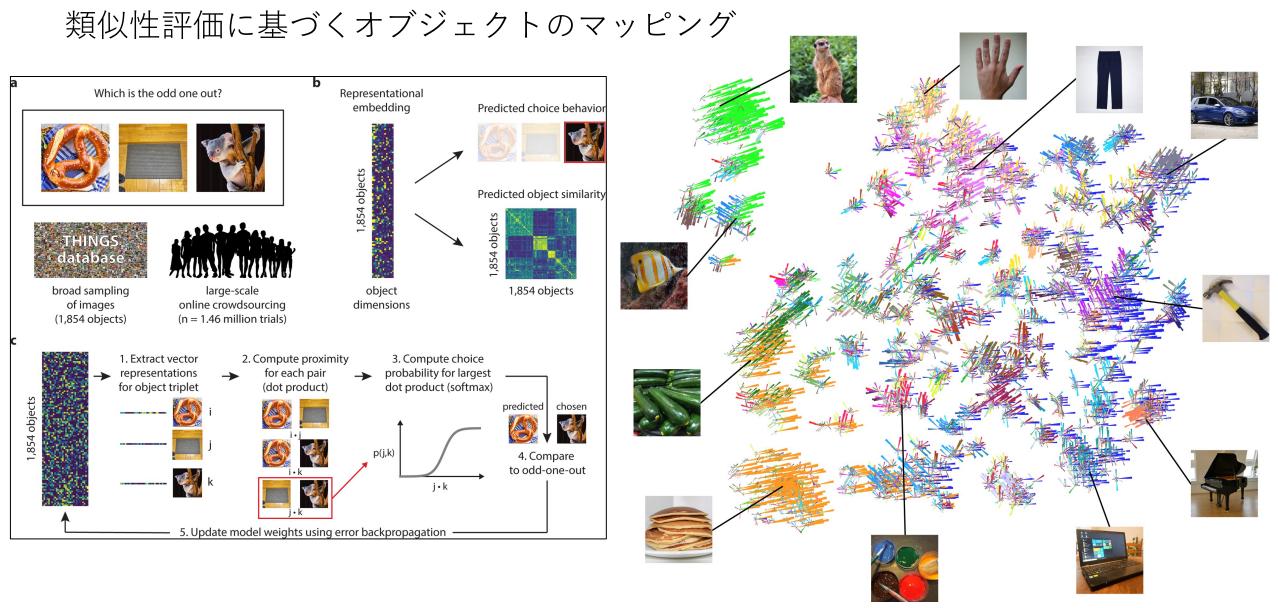
モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:心理実験ベース

自由連想課題に基づく単語間の意味ネットワーク



Kenett, Y. N., Anaki, D., & Faust, M. (2014). Investigating the structure of semantic networks in low and high creative persons. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 407.

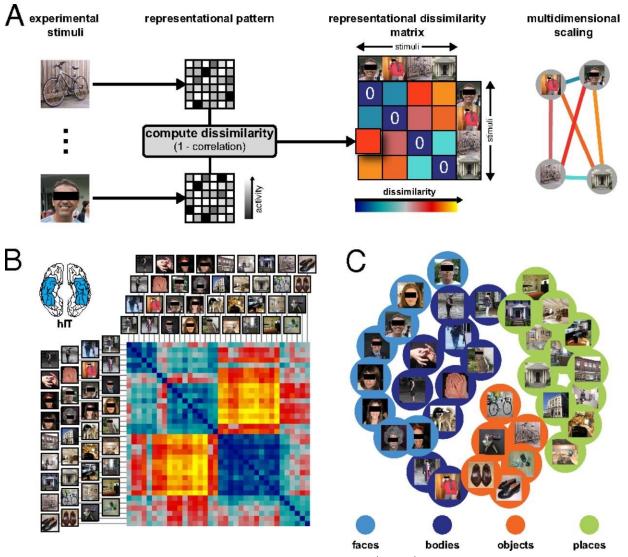
モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:心理実験ベース



Hebart, M.N., Zheng, C.Y., Pereira, F. et al. Revealing the multidimensional mental representations of natural objects underlying human similarity judgements. *Nat Hum Behav* 4, 1173–1185 (2020).

モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:脳活動ベース

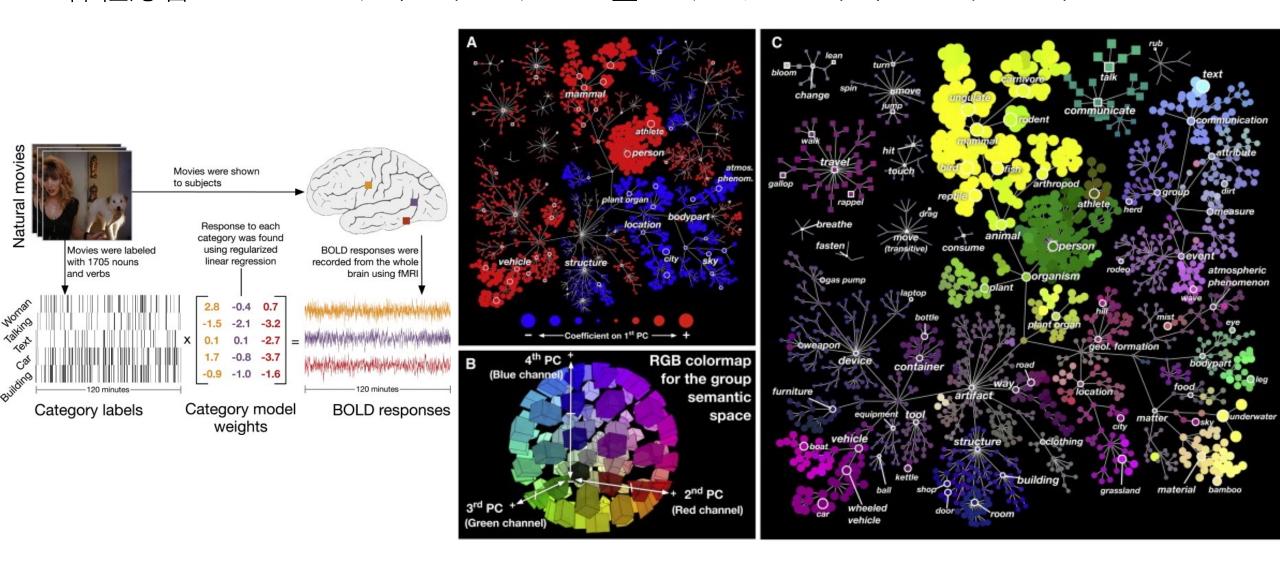
神経表現の類似性に基づくオブジェクトのマッピング



Charest, I., Kievit, R. A., Schmitz, T. W., Deca, D., & Kriegeskorte, N. (2014). Unique semantic space in the brain of each beholder predicts perceived similarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(40), 14565-14570.

モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:脳活動ベース

神経応答のエンコーディングモデルに基づくオブジェクトのマッピング



Huth, A. G., Nishimoto, S., Vu, A. T., & Gallant, J. L. (2012). A continuous semantic space describes the representation of thousands of object and action categories across the human brain. Neuron, 76(6), 1210-1224.

モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:脳活動ベース

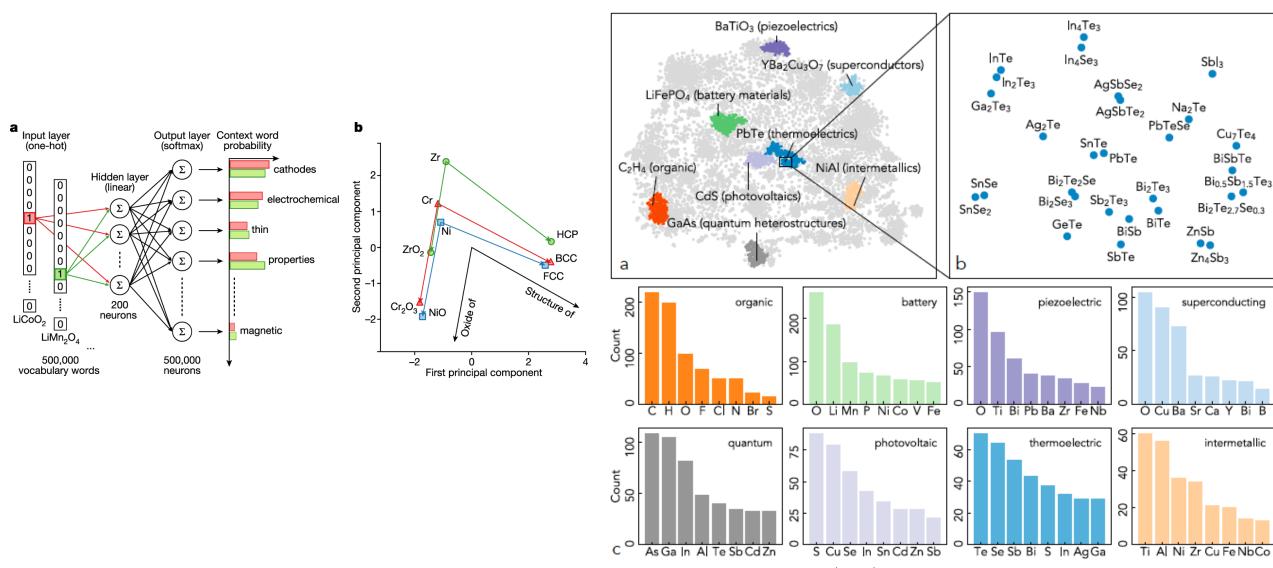
再構成脳活動の機能的結合に基づく認知機能のマッピング

prospective memory memory retrieval (発表者らの成果) uncertainty reasoning intelligence cognitive control deception response inhibition episodic memory retrieval decision working memory maintenance response selection expectancy default mode network context executive function semantic processing processing processing remembering attention meaning working memory episodic memory emotion social cognition 20 mental rotation 0.50 comprehension decision making consciousness metaphor memory encoding sentence comprehension short term 0.25 #CFM 0.00 impulsivity -0.25emotion regulation language processing language 80 -0.50selective attention spatial attention -0.75100 eating object recognition empathy sustaine dattention face perception spatial working memory 80 consolidation anticipationlearning communication visual attention associative memory motor magery emotional expression facial expression speech perception mo

<u>Kurashige H</u>, Kaneko J, Yamashita Y, Osu R, Otaka Y, Hanakawa T, Honda M and Kawabata H (2020) Revealing Relationships Among Cognitive Functions Using Functional Connectivity and a Large-Scale Meta-Analysis Database. *Front. Hum. Neurosci.* 13:457.

モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:自然言語処理ベース

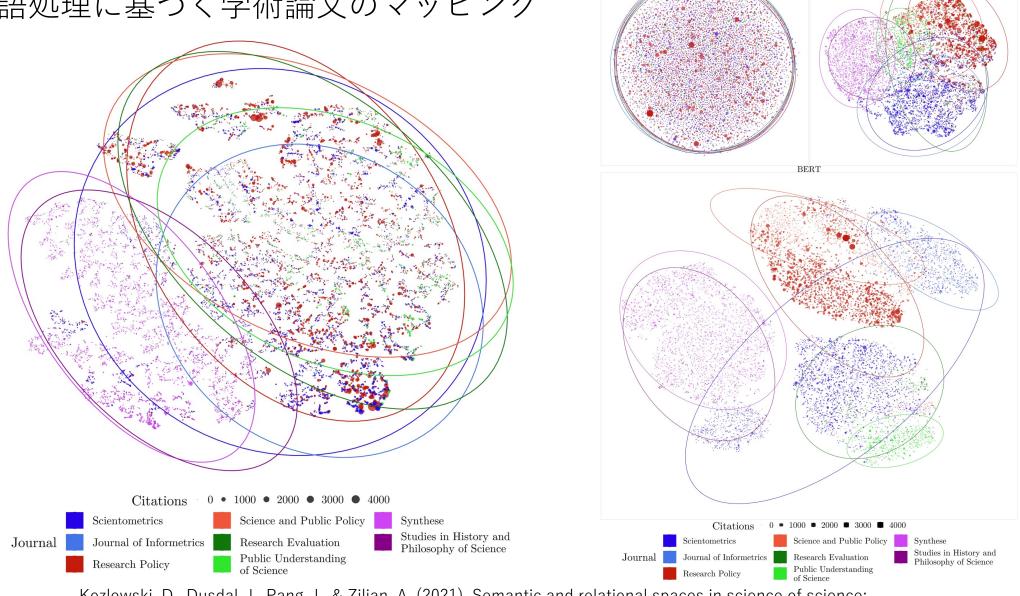
材料科学文献を対象にした自然言語処理に基づく材料のマッピング



Tshitoyan, V., Dagdelen, J., Weston, L., Dunn, A., Rong, Z., Kononova, O., ... & Jain, A. (2019). Unsupervised word embeddings capture latent knowledge from materials science literature. *Nature*, 571(7763), 95-98.

モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:自然言語処理ベース

自然言語処理に基づく学術論文のマッピング



LDA

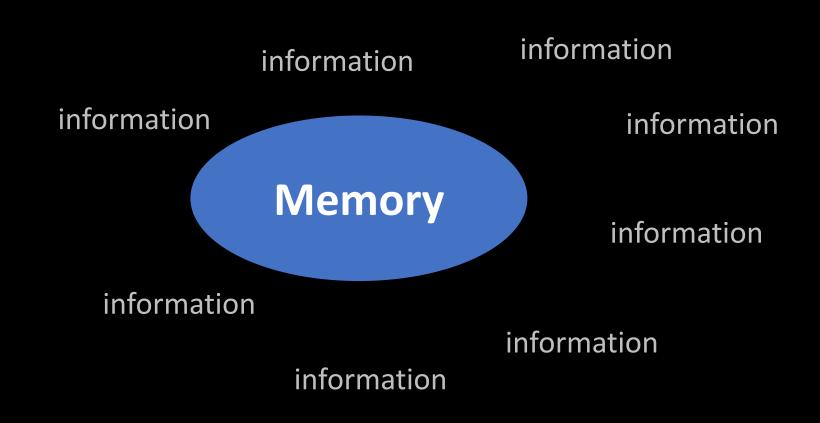
Kozlowski, D., Dusdal, J., Pang, J., & Zilian, A. (2021). Semantic and relational spaces in science of science: deep learning models for article vectorisation. *Scientometrics*, 126(7), 5881-5910.

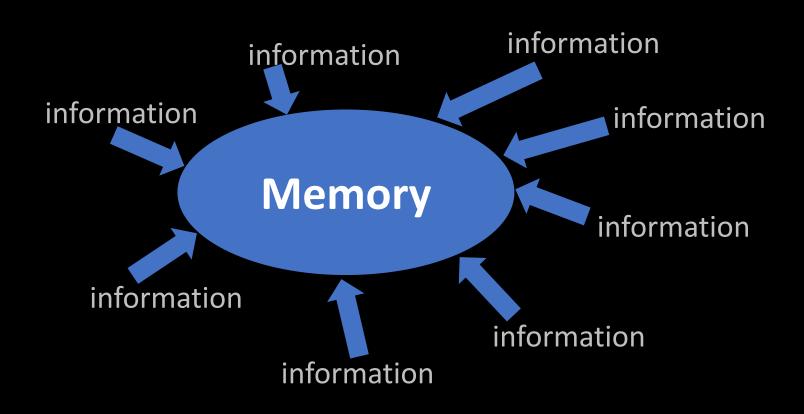
本講演のメインクエスチョン: 記憶はどこに行けるのか?

本講演のメインクエスチョン: 記憶はどこに行けるのか?

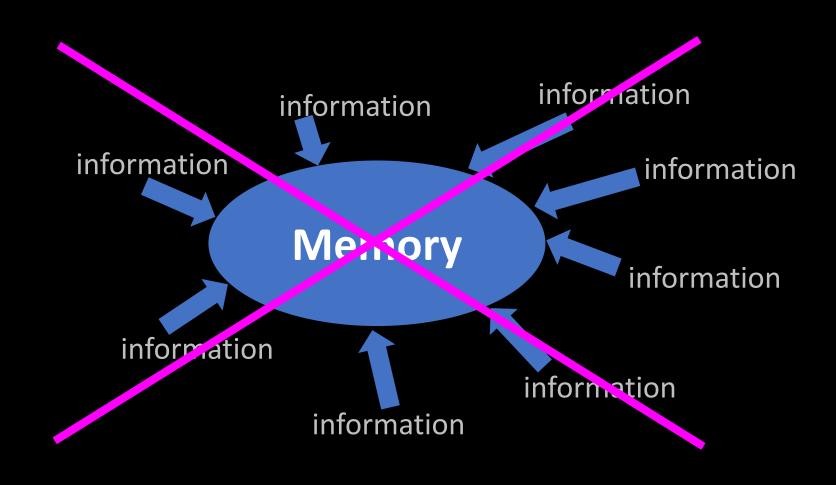
サスクエスチョン: 記憶はどのように変化をするか? その神経生理学的メカニズムはなにか?

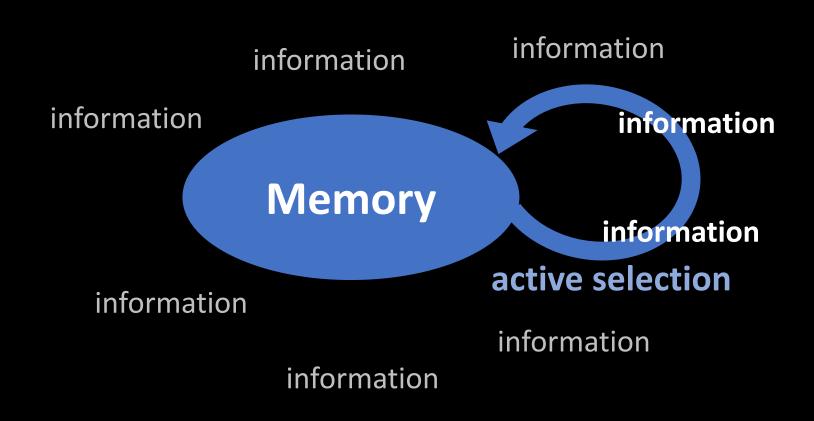
記憶は再帰的に自己構築をする



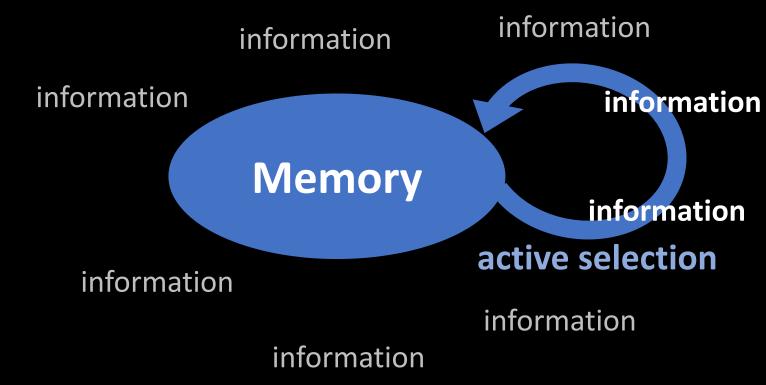


記憶学習は能動的な情報選択の過程である

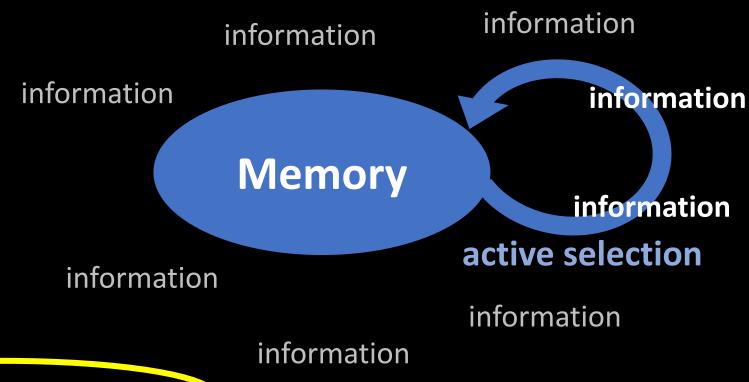




記憶学習は能動的な情報選択の過程である



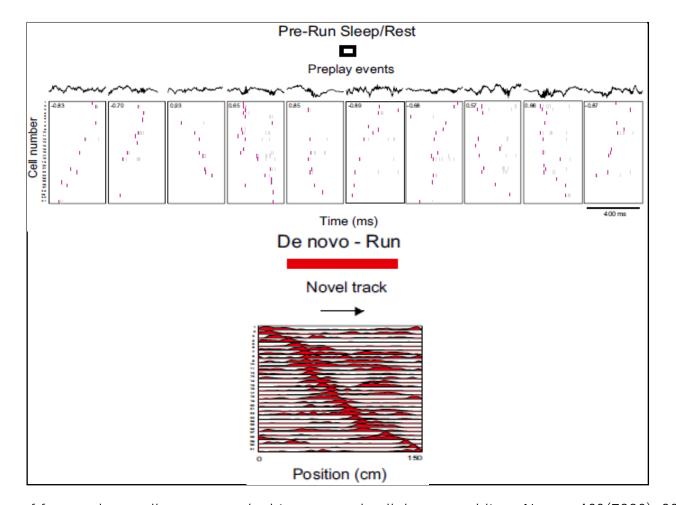
- 事前知識 (≒記憶スキーマ)
- 目的 (Sweegers et al., 2015)
- 好奇心 (Kang et al., 2009; Gruber, Gelman & Ranganath, 2014)
- 知識使用への予期 (Fischer & Born, 2009; Wilhelm et al., 2011; van Dongen et al., 2012)
- 実際の知識使用 (Karpicke & Roediger, 2008; Karpicke & Blunt, 2011; Moskaliuk, Kimmerle & Cress 2009)
- 情報の望ましさ(Sharot, Korn & Dolan, 2011)



- 事前知識(≒記憶スキーマ)
- 目的 (Sweegers et al., 2015)
- 好奇心 (Kang et al., 2009; Gruber, Gelman & Ranganath, 2014)
- 知識使用への予期 (Fischer & Born, 2009; Wilhelm et al., 2011; van Dongen et al., 2012)
- 実際の知識使用(Karpicke & Roediger, 2008; Karpicke & Blunt, 2011; Moskaliuk, Kimmerle & Cress 2009)
- 情報の望ましさ(Sharot, Korn & Dolan, 2011)

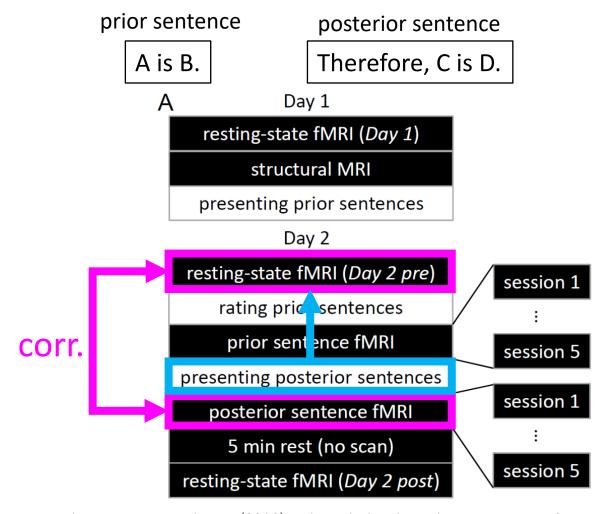
Preplay:

経験に先立って作られる神経活動シーケンスが、のちに実際の経験に対する神経表現になる ⇒神経表現のプロトタイプのようなもの



Dragoi, G., & Tonegawa, S. (2011). Preplay of future place cell sequences by hippocampal cellular assemblies. *Nature*, 469(7330), 397-401. Dragoi, G., & Tonegawa, S. (2013). Distinct preplay of multiple novel spatial experiences in the rat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(22), 9100-9105.

神経表現プロトタイプによる知識獲得の促進は事前知識に依存して生じる(発表者らによる成果)



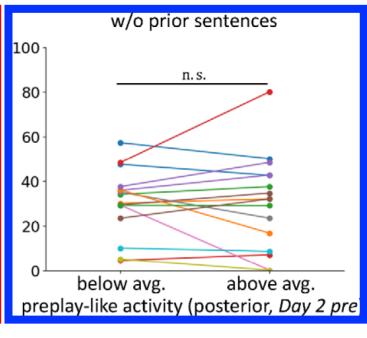
<u>Kurashige, H.</u>, Yamashita, Y., Hanakawa, T., & Honda, M. (2018). A knowledge-based arrangement of prototypical neural representation prior to experience contributes to selectivity in upcoming knowledge acquisition. Frontiers in human neuroscience, 12, 111.

神経表現プロトタイプによる知識獲得の促進は事前知識に依存して生じる(発表者らによる成果)

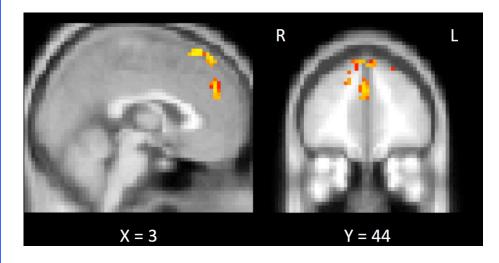
ROI analysis (entorhinal cortex)

with prior knowledge

without prior knowledge

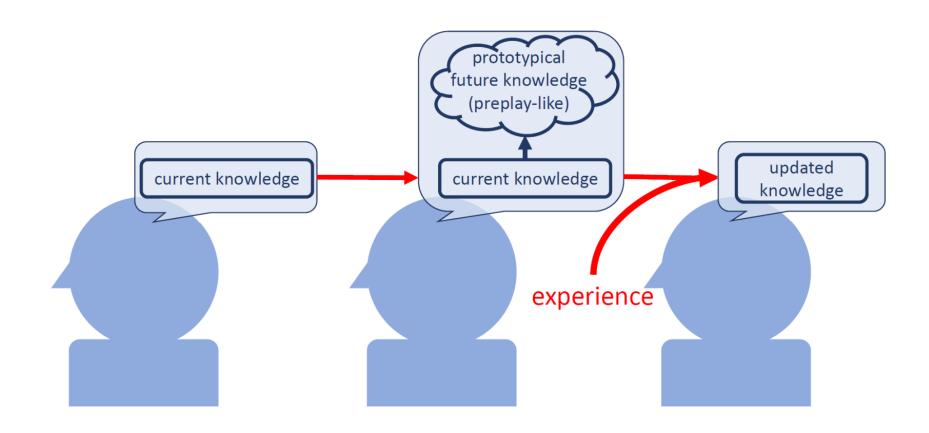


whole-brain analysis



<u>Kurashige, H.</u>, Yamashita, Y., Hanakawa, T., & Honda, M. (2018). A knowledge-based arrangement of prototypical neural representation prior to experience contributes to selectivity in upcoming knowledge acquisition. Frontiers in human neuroscience, 12, 111.

神経表現プロトタイプによる知識獲得の促進は事前知識に依存して生じる(発表者らによる成果)



<u>Kurashige, H.</u>, Yamashita, Y., Hanakawa, T., & Honda, M. (2018). A knowledge-based arrangement of prototypical neural representation prior to experience contributes to selectivity in upcoming knowledge acquisition. Frontiers in human neuroscience, 12, 111.

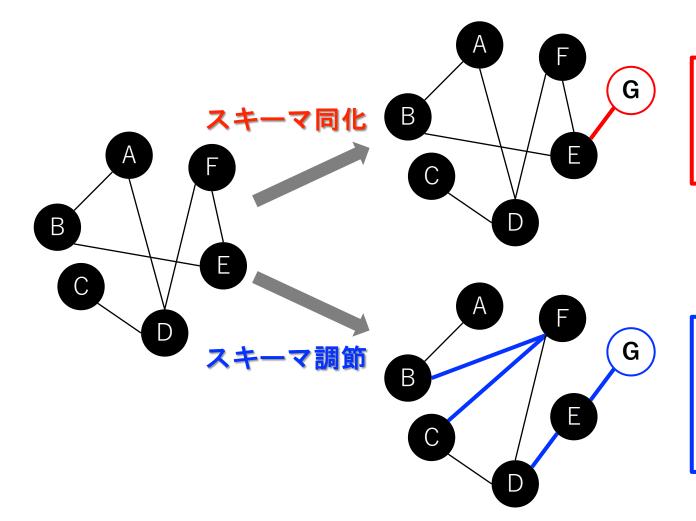
学習は事前知識(≒記憶スキーマ)に相対的に起こる: スキーマ同化とスキーマ調節

事前知識相対的に生じる学習:スキーマ同化とスキーマ調節

学習は事前に持っている知識枠組み(スキーマ)相対的に生じる

スキーマ同化:スキーマに整合的な情報をスキーマに大きな変更を加えることなく受入れる

スキーマ調節:スキーマに不整合な情報をスキーマ自体を再編成して受入れる

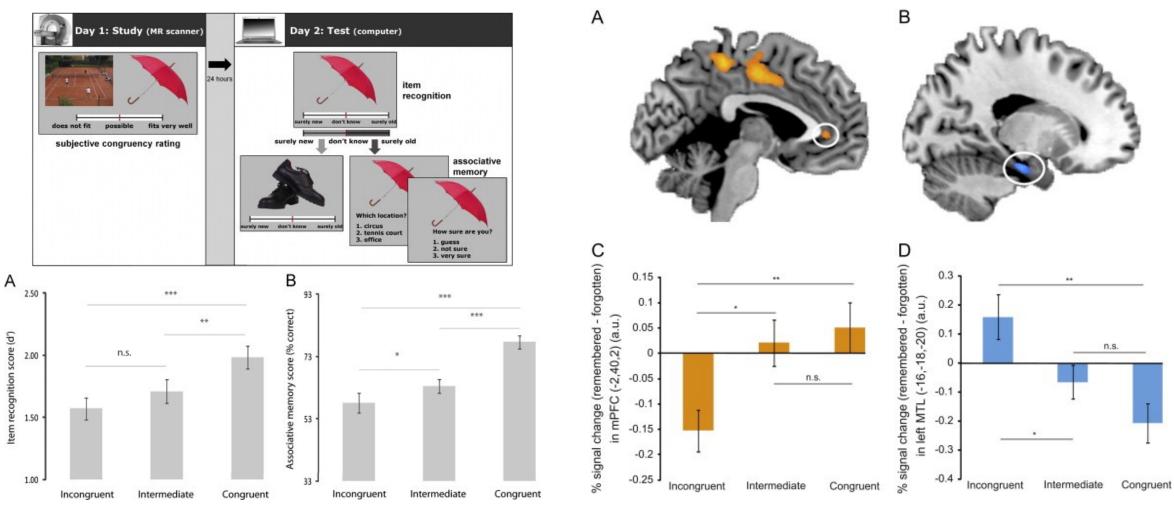


- 受入れ易いものを受入れる学習
- スキーマへの情報追加
- 日常的に起こり易い
- 実験室的にも起こし易い

- ・ 受入れ難いものを受入れる学習
- スキーマ自体の**再編成**+情報追加
- 日常的に頻繁に起こっているわけではないが 「**柔軟な知**」のためには不可欠
- 実験室的に起こすのが難しい

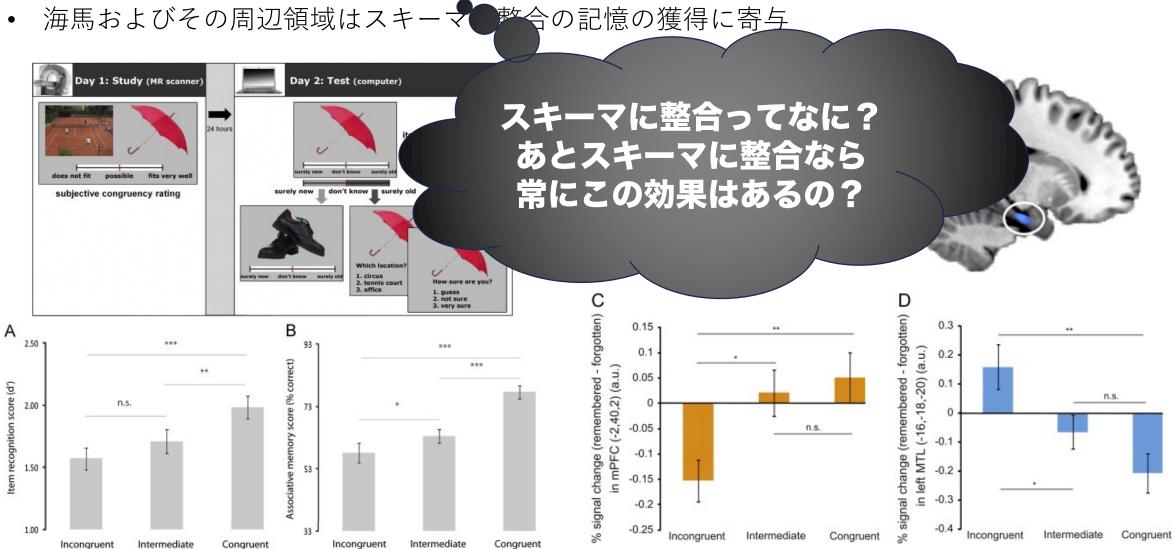
スキーマ同化

- スキーマに整合する記憶はよく獲得される
- 内側前頭前野(mPFC)はスキーマ整合の記憶の獲得に寄与
- 海馬およびその周辺領域はスキーマ不整合の記憶の獲得に寄与



Van Kesteren, M. T., Beul, S. F., Takashima, A., Henson, R. N., Ruiter, D. J., & Fernández, G. (2013). Differential roles for medial prefrontal and medial temporal cortices in schema-dependent encoding: from congruent to incongruent. *Neuropsychologia*, 51(12), 2352-2359.

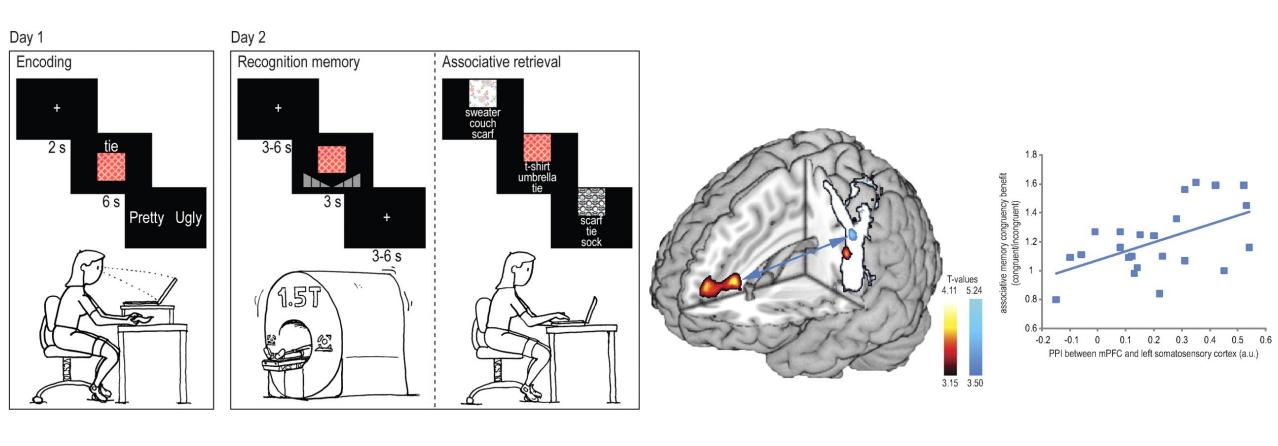
- スキーマに整合する記憶はよく獲得される
- 内側前頭前野(mPFC)はスキーマ整合の記憶の獲得に寄与



Van Kesteren, M. T., Beul, S. F., Takashima, A., Henson, R. N., Ruiter, D. J., & Fernández, G. (2013). Differential roles for medial prefrontal and medial temporal cortices in schema-dependent encoding: from congruent to incongruent. *Neuropsychologia*, 51(12), 2352-2359.

触覚刺激提示条件で物品名-視覚パターンの連合を記憶する

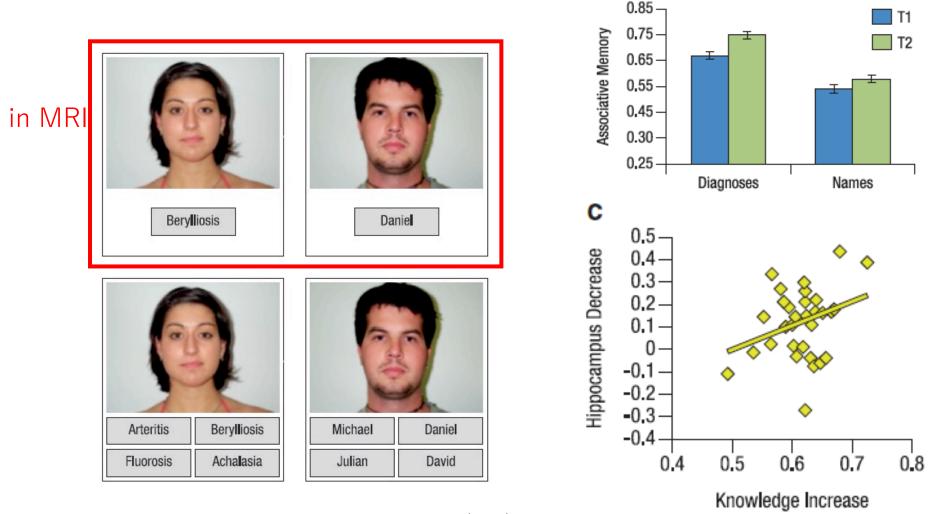
- スキーマに整合する記憶はよく獲得される
- 内側前頭前野(mPFC)はスキーマ整合の記憶の再認に関与
- mPFCと体性感覚野の機能的結合はスキーマ整合の記憶の再認に関与



Van Kesteren, M. T., Rijpkema, M., Ruiter, D. J., & Fernández, G. (2010). Retrieval of associative information congruent with prior knowledge is related to increased medial prefrontal activity and connectivity. *Journal of Neuroscience*, 30(47), 15888-15894.

100日間の医学試験勉強後に病名(事前知識有り)か名前(事前知識無し)と顔写真の連想記憶を作る

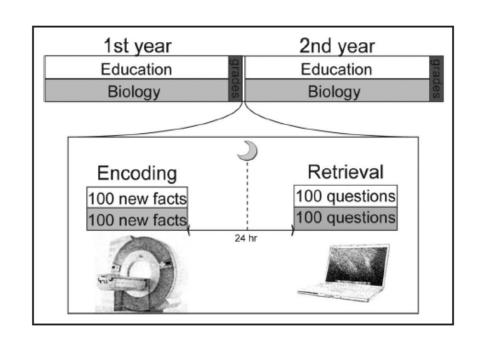
- 事前知識にある情報との連合はより強く記憶される
- 事前知識(スキーマ)の増加と記憶符号化時の海馬活動の減少が相関

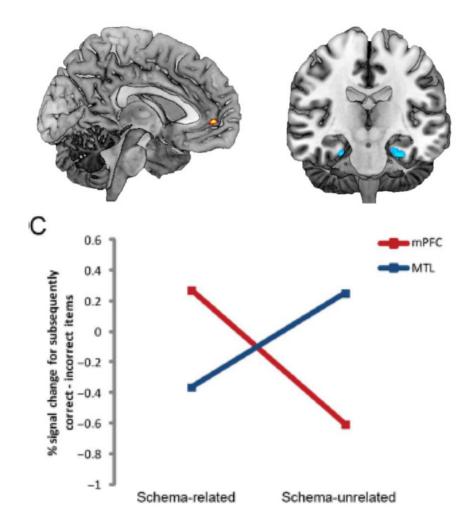


Brod, G., Lindenberger, U., Wagner, A. D., & Shing, Y. L. (2016). Knowledge acquisition during exam preparation improves memory and modulates memory formation. *Journal of Neuroscience*, 36(31), 8103-8111.

専攻の専門知識(スキーマ)に関連する新規情報と関連しない新規情報の学習

- 内側前頭前野(mPFC)はスキーマに関連する記憶の獲得に寄与
- 海馬およびその周辺領域はスキーマに関連しない記憶の獲得に寄与



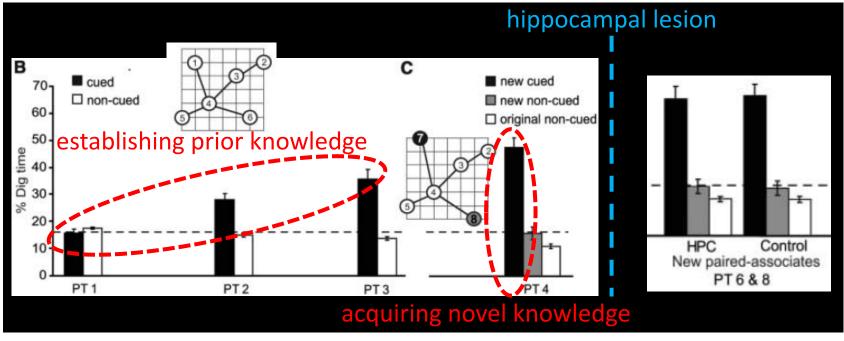


Van Kesteren, M. T., Rijpkema, M., Ruiter, D. J., Morris, R. G., & Fernández, G. (2014). Building on prior knowledge: schema-dependent encoding processes relate to academic performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(10), 2250-2261.

ラットの匂い-場所連合学習

• 事前スキーマに関連づけられる記憶は、急速に海馬非依存になる

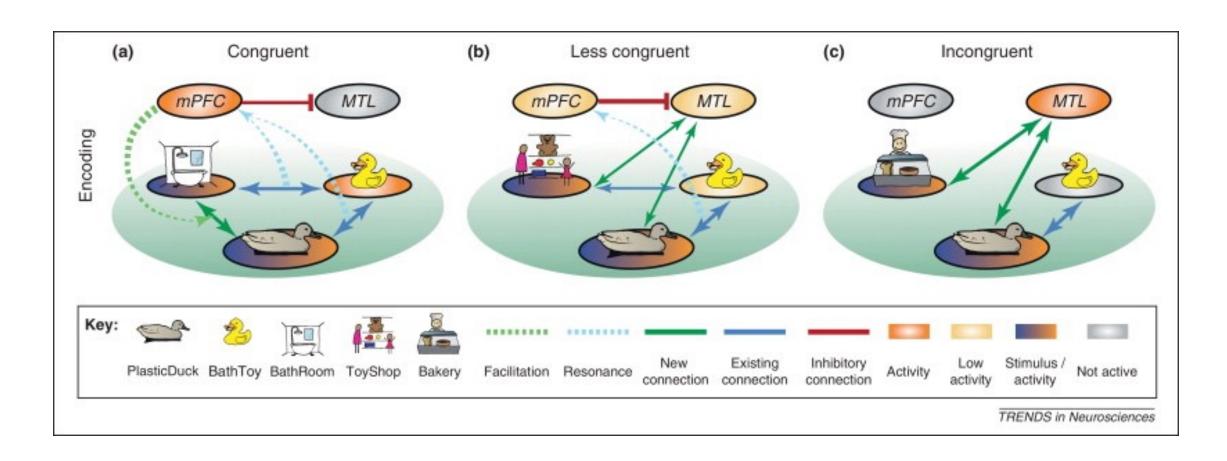




Tse, D., Langston, R. F., Kakeyama, M., Bethus, I., Spooner, P. A., Wood, E. R., ... & Morris, R. G. (2007). Schemas and memory consolidation. *Science*, 316(5821), 76-82.

SLIMM:

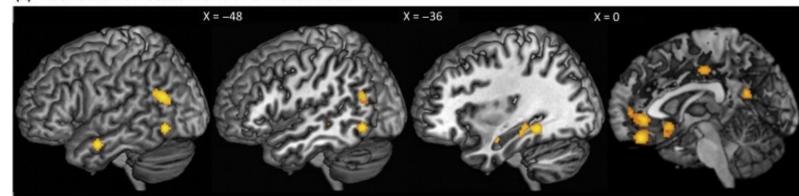
Schema-linked interactions between medial prefrontal and medial temporal regions



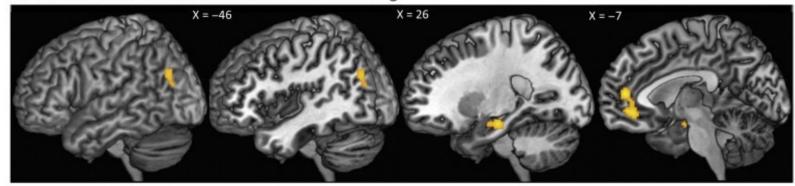
注意:スキーマ同化への海馬の関与はまだ決着していない

(何らかの役割を果たしている可能性は高いです)

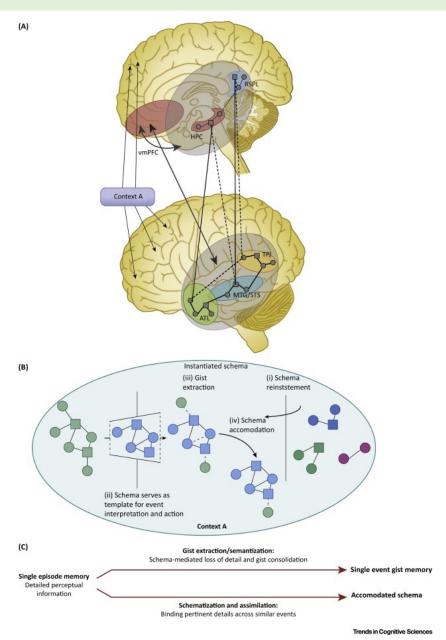
(A) Schema reinstatement and instantiation



(B) Schema-mediated new information encoding



Trends in Cognitive Sciences



Gilboa, A., & Marlatte, H. (2017). Neurobiology of schemas and schema-mediated memory. Trends in cognitive sciences, 21(8), 618-631.

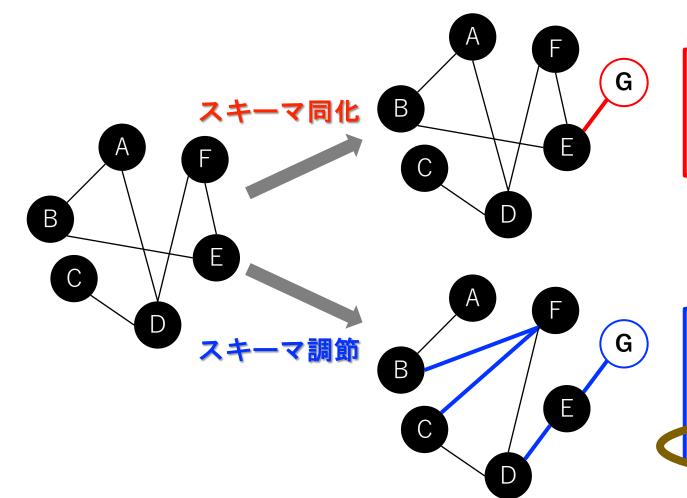
スキーマ調節

事前知識相対的に生じる学習:スキーマ同化とスキーマ調節

学習は事前に持っている知識枠組み(スキーマ)相対的に生じる

スキーマ同化:スキーマに整合的な情報をスキーマに大きな変更を加えることなく受入れる

スキーマ調節:スキーマに不整合な情報をスキーマ自体を再編成して受入れる



- 受入れ易いものを受入れる学習
- スキーマへの情報追加
- 日常的に起こり易い
- 実験室的にも起こし易い

- ・ 受入れ難いものを受入れる学習
- スキーマ自体の**再編成**+情報追加
- 日常的に頻繁に起こっているわけではないが 「柔軟な知」のためには不可欠
- ・ 実験室的に起こすのが難しい

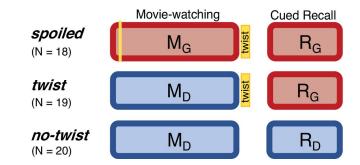
どんでん返しのある映画のシーンの神経表現の変化を調べた研究

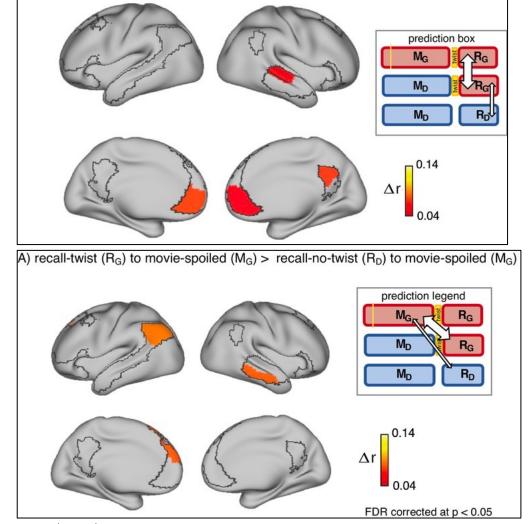
- ネタばらしによりデフォルトモードネットワークの幾らかで神経表現の更新が見られた
- ▶ スキーマ調節のメカニズムそのものではない
- ▶ 確立されたスキーマの調節と言えるかは不明





B. Study groups

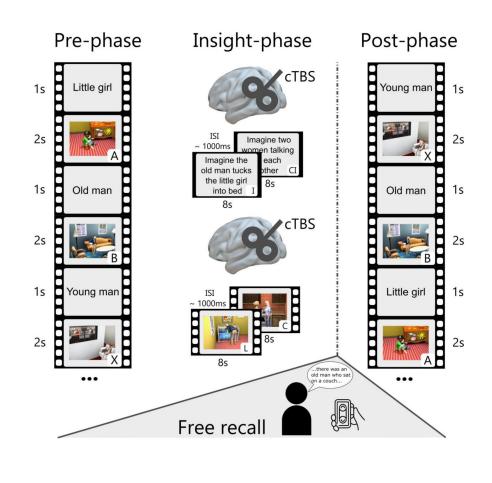


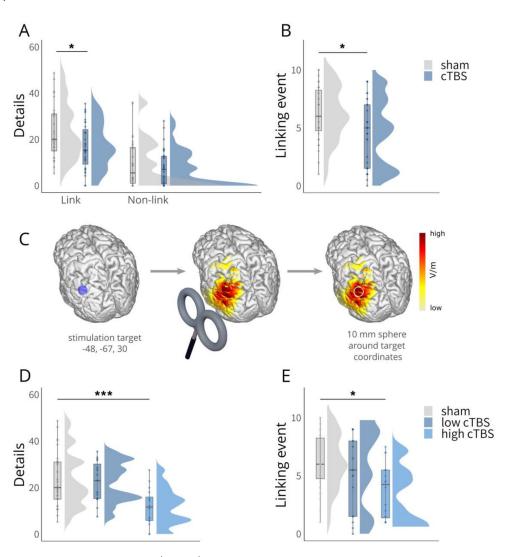


B) recall-twist (R_G) to recall-spoiled (R_G) > recall-twist (R_G) to recall-no-twist (R_D)

Zadbood, A., Nastase, S., Chen, J., Norman, K. A., & Hasson, U. (2022). Neural representations of naturalistic events are updated as our understanding of the past changes. *Elife*, 11, e79045.

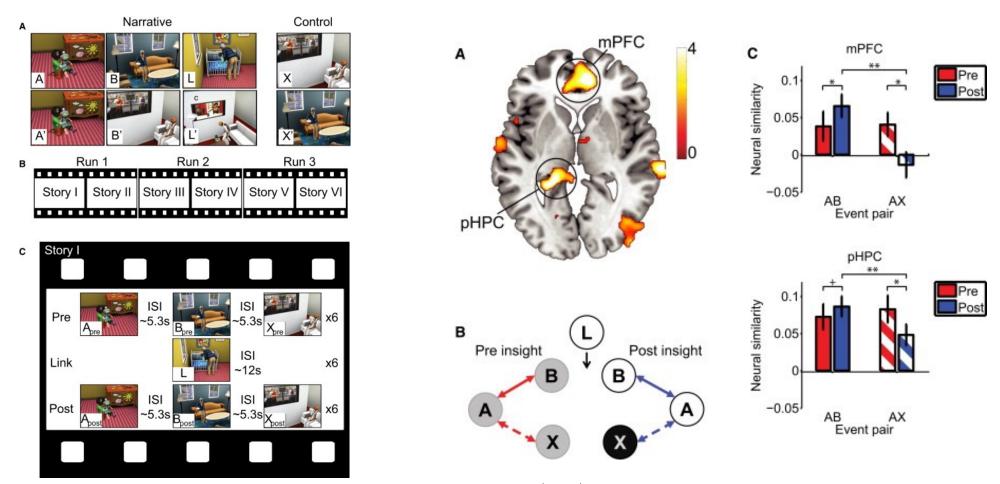
- 一見無関係のシーン群を提示して、それからその間をリンクする出来事を提示する
- 一般にリンキングにより記憶が促進されるが、左角回へのcTBSがその効果を抑制する
- ▶ スキーマの再編成とは必ずしも言えない





Grob, A.M., Heinbockel, H., Milivojevic, B., Doeller, C., & Schwabe, L., (2023). Causal role of the angular gyrus in insight-driven memory reconfiguration. *eLife*, 12:RP91033.

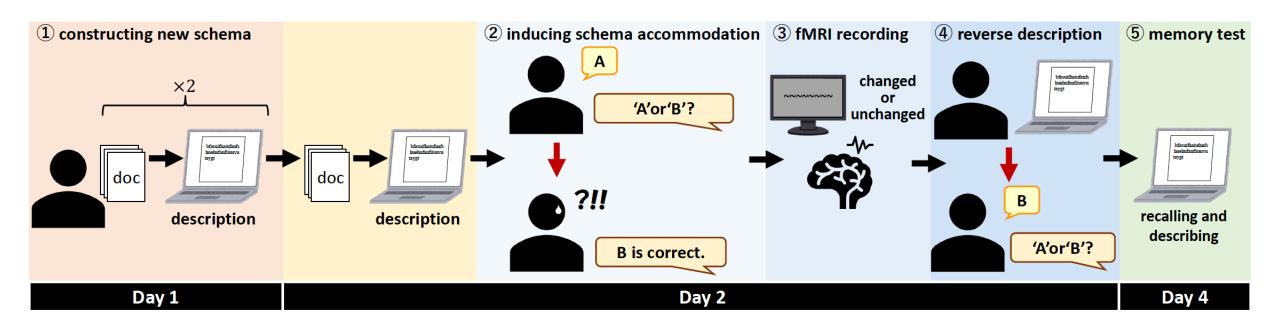
- 一見無関係のシーン群を提示して、それからその間をリンクする出来事を提示する
- リンキングによりリンクされたシーン間のmPFC神経表現の類似性が増加する
- メカニズムを見ているものではない
- ▶ スキーマの再編成とは必ずしも言えない



Milivojevic, B., Vicente-Grabovetsky, A., & Doeller, C. F. (2015). Insight reconfigures hippocampal-prefrontal memories. Current Biology, 25(7), 821-830.

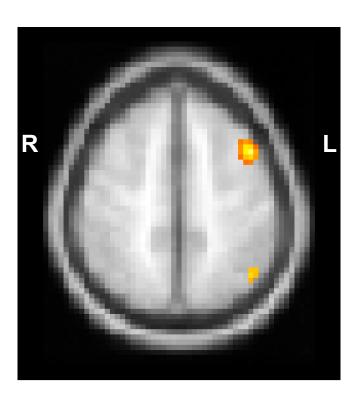
逆転論述課題パラダイムを用いたスキーマ調節の脳メカニズムの検討 (発表者らの成果)

- 積極的な解釈を要する難読文章を用いたスキーマ調節課題
- 一度確立した解釈に逆転を要する場面を作る
- スキャナ内ではスキーマ調節を促す課題を行う⇒文章に出てきた文を提示して解釈を再検討させ、その解釈が更新された瞬間を答える
- 解釈に更新が生じた試行 vs 生じなかった試行 の比較



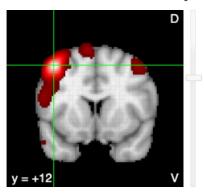
逆転論述課題パラダイムを用いたスキーマ調節の脳メカニズムの検討 (発表者らの成果)

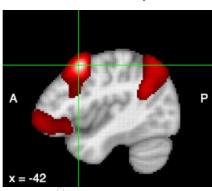
- changed > unchanged の比較にて,**左中前頭回と左下頭頂小葉**に有意差が見られた (Threshold-Free Cluster Enhancement, FWE-corrected)
- つまり**前頭頭頂ネットワーク**の関与が示唆された

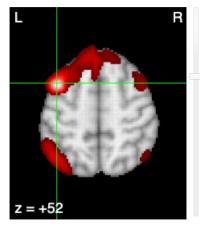


coactivation map (from Neurosynth)

Functional connectivity and coactivation maps







逆転論述課題パラダイムを用いたスキーマ調節の脳メカニズムの検討 (発表者らの成果)

- changed > unchanged の比較にて,**左中前頭回と左下頭頂小葉**に有意差が見られた (Threshold-Free Cluster Enhancement, FWE-corrected)
- つまり**前頭頭頂ネットワーク**の関与が示唆された

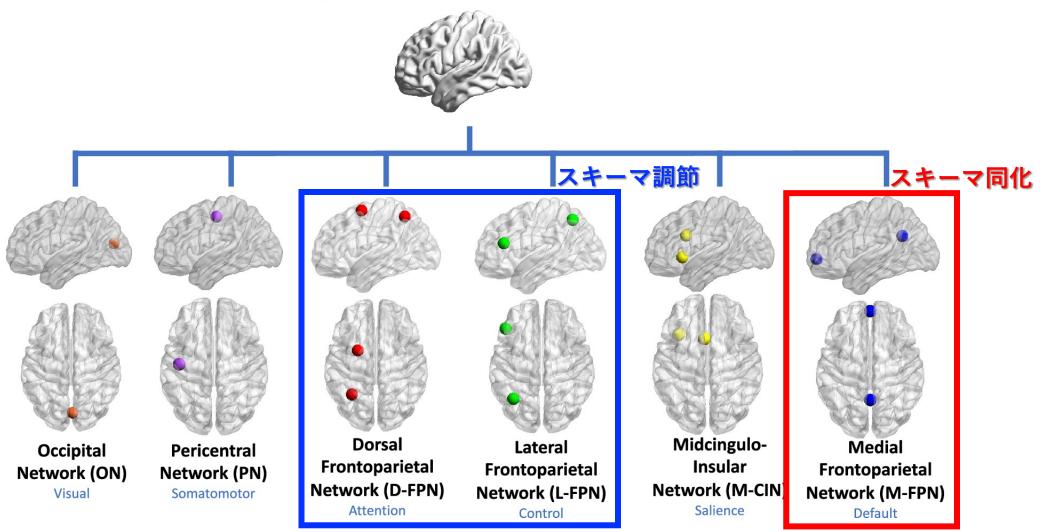
top-10 functional associations (from Neurosynth)

	Individual voxel		Seed-based network	
Name	z-score	Posterior prob.	Func. conn. (r)	Meta-analytic coact. (r) 💠
domain general	5.1	0.84	0.15	0.2
memories	5.01	0.78	0.13	0.12
prefrontal parietal	5.01	0.8	0.07	0.1
reasoning	4.97	0.79	0.14	0.14
autobiographical	4.77	0.8	0.24	0.15
autobiographical memory	4.58	0.83	0.14	0.11
retrieval	4.4	0.69	0.26	0.31
sentence	4.19	0.74	0.32	0.32
tasks	4.13	0.64	0.01	0.16
episodic	3.98	0.71	0.14	0.16

Kurashige, H., Kaneko, J., & Matsumoto, K. (in preparation)

(外側)前頭頭頂ネットワークは実行制御や注意に関わる"高次"の領域

Taxonomy of Functional Brain Networks



情動的・直観的なスキーマ同化 & 理性的・熟慮的なスキーマ調節

記憶の再帰的自己構築に相補的な役割を担いそう

情動的・直観的なスキーマ同化

&

理性的・熟慮的なスキー具体的にどんな役割で、

具体的にどんな役割で どういった意味で相補 なのか…?

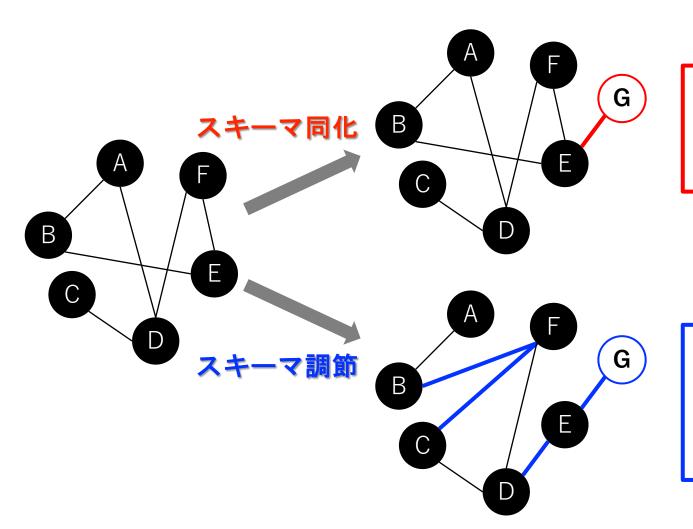
記憶の再帰的自己構築に相補的な役割を担いそう

事前知識相対的に生じる学習:スキーマ同化とスキーマ調節

学習は事前に持っている知識枠組み(スキーマ)相対的に生じる

スキーマ同化:スキーマに整合的な情報をスキーマに大きな変更を加えることなく受入れる

スキーマ調節:スキーマに不整合な情報をスキーマ自体を再編成して受入れる

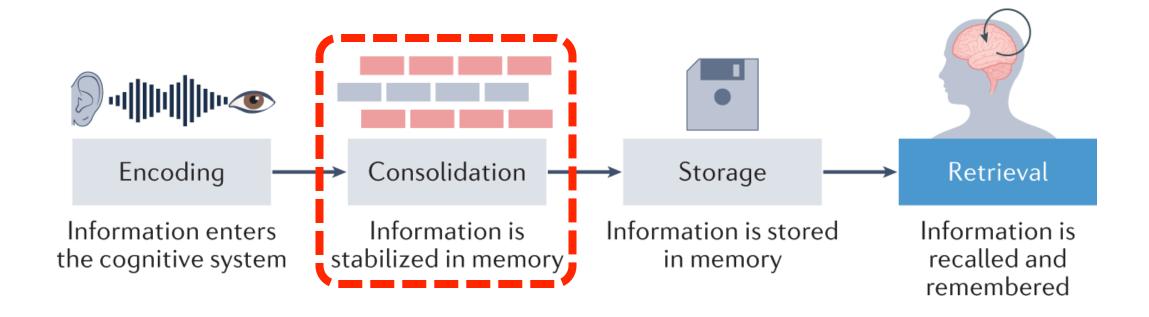


- 受入れ見
- ・スキ
- ・・・・・スキーマ自体の再編成
- って何がどうなること? あと種類はないの?

- 受入れ難いもの 入れる学習
- スキーマ自体の再編成+情報追加
- 日常的に頻繁に起こっているわけではないが 「**柔軟な知**」のためには不可欠
- 実験室的に起こすのが難しい

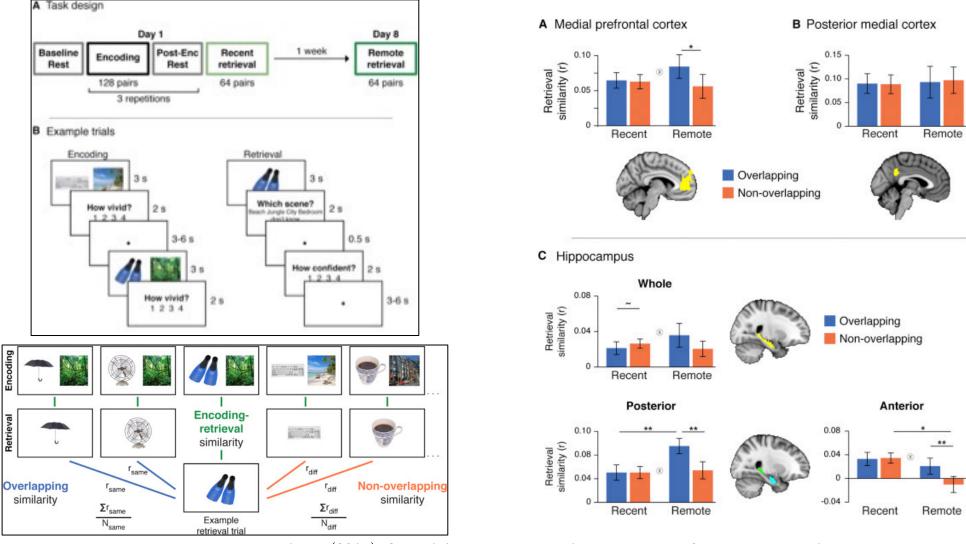
固定化(consolidation):

• 記憶がオフライン的に処理され、整理・統合されつつ長期記憶化する過程



同じシーンと連合されたオブジェクトの神経表現が固定化を経て…

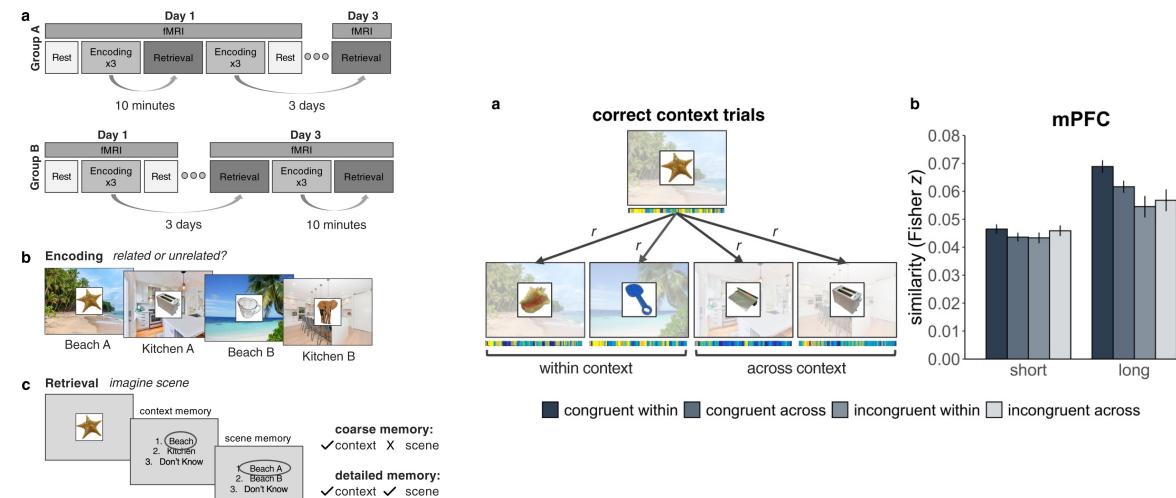
• mPFCと海馬後部では類似性が増加し、海馬前部では類似性が減少する



Tompary, A., & Davachi, L. (2017). Consolidation promotes the emergence of representational overlap in the hippocampus and medial prefrontal cortex. *Neuron*, 96(1), 228-241.

固定化による神経表現の類似性増加に対するスキーマの影響を調べた研究

• オブジェクトとシーンのペアがスキーマに整合であった場合, mPFCで表現類似度の増加が促進される



Audrain, S., & McAndrews, M. P. (2022). Schemas provide a scaffold for neocortical integration of new memories over time. *Nature Communications*, 13(1), 5795.

3. Don't Know

Beach A

3. Don't Know

detailed memory:

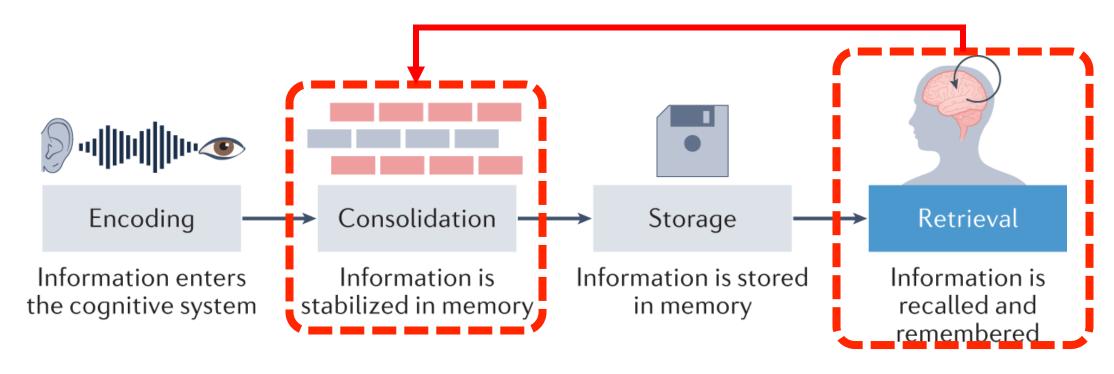
✓context ✓ scene

固定化による神経表現の類似性増加に対するスキーマの影響を調べた研究 オブジェクトとシーンのペアがスキーマに整合であった場合、mPFCで表現類似度の増加が促 進される Day 1 Day 3 **fMRI** Encoding Encoding Rest Retrieval Rest 000 Retrieval スキーマに整合ってなに? 3 days 10 minutes あとスキーマに整合なら Day 1 Day 3 **fMRI fMRI** 常にこの効果はあるの? Encoding Encoding 000 Retrieval Retrieval 3 days 10 minutes **€**_{0.04} **Encoding** related or unrelated? 0.03 0.02 0.01 Beach A Kitchen A Beach B Kitchen B 0.00 within context across context short long Retrieval imagine scene congruent within congruent across incongruent within incongruent across context memory coarse memory: scene memory Beach
 Kitchen ✓ context X scene

Audrain, S., & McAndrews, M. P. (2022). Schemas provide a scaffold for neocortical integration of new memories over time. *Nature Communications*, 13(1), 5795.

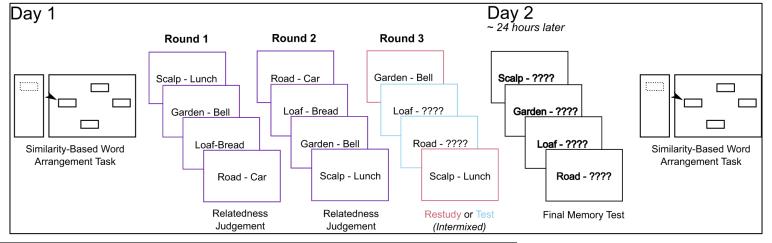
記憶の想起は記憶の変容を促す

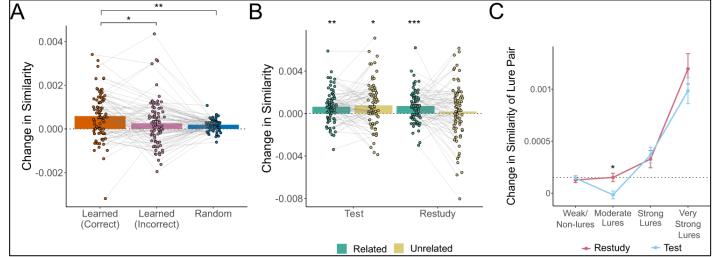
- 神経可塑性の分野では再固定化(reconsolidation)が知られている
- 学習科学の分野ではテスト効果が知られている
- スキーマに変化をもたらす現象と考えられる

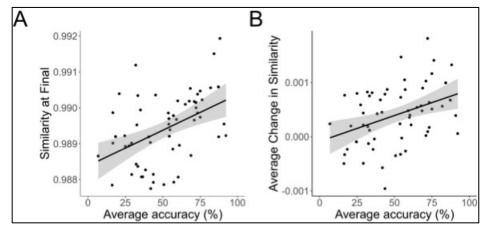


単語のペア連合学習により、その単語の類似性評価がどのように変わるかを調べた研究

- 一般にペアの単語の類似性評価は増加し、各人の類似性評価増加と記憶成績は正相関していた
- 中程度の強さのルアー語との類似性は、再学習よりも想起テストによって大きく減少した



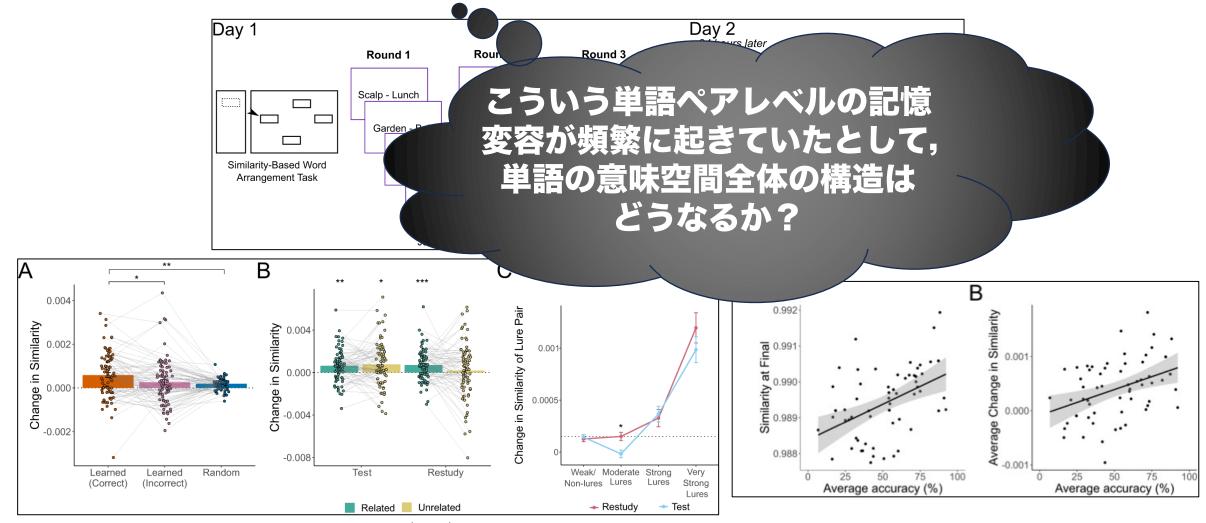




Walsh, C. R., & Rissman, J. (2023). Behavioral representational similarity analysis reveals how episodic learning is influenced by and reshapes semantic memory. *Nature Communications*, 14(1), 7548.

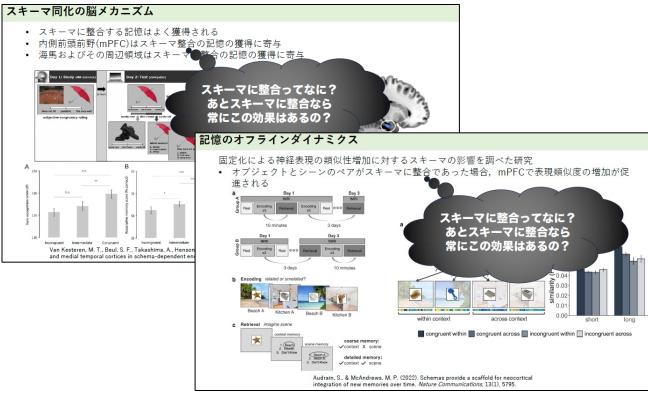
単語のペア連合学習により、その単語の類似性評価がどのように変わるかを調べた研究

- 一般にペアの単語の類似性評価は増加し、各人の類似性評価増加と記憶成績は正相関していた
- 中程度の強さのルアー語との類似性は、再学習よりも想起テストによって大きく減少した



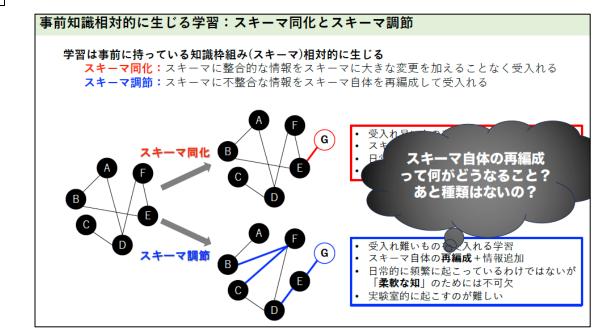
Walsh, C. R., & Rissman, J. (2023). Behavioral representational similarity analysis reveals how episodic learning is influenced by and reshapes semantic memory. *Nature Communications*, 14(1), 7548.

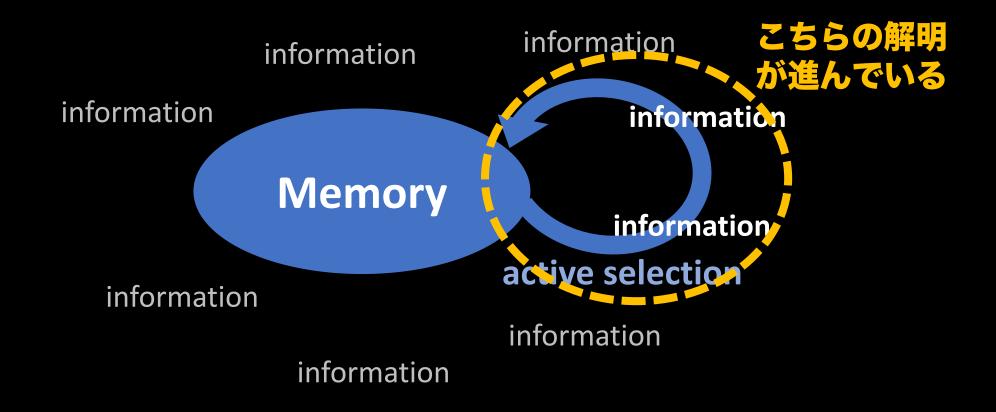
これまでに出てきたモヤモヤ

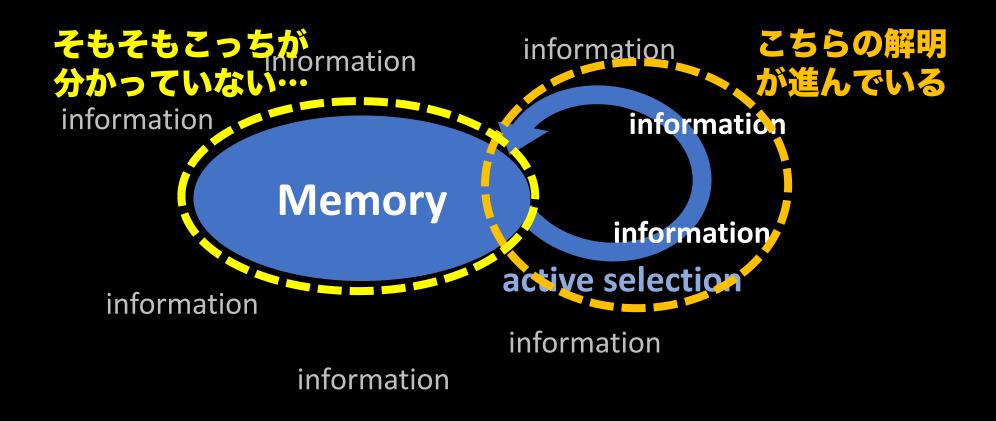


#語のペア連合学習により、その単語の類似性評価がどのように変わるかを調べた研究 - 一般にペアの単語の類似性評価は増加し、各人の類似性評価増加と記憶成績は正相関していた - 中程度の強さのルアー語との類似性は、再学習よりも想起テストによって大きく減少した Day 1 Round 1 Round 3 Day 2 Walsh, C. R. & Rissman, J. (2023). Behavioral representational similarity analysis reveals be episodic learning is influenced by and reshapes semantic memory. Nature Communications, 14(1), 7548.

情動的・直観的なスキーマ同化 を 理性的・熟慮的なスキー 具体的にどんな役割で、 どういった意味で相補なのか…?







何に入れているか が分かっていない

information

information

調味料の味は分かっても



active selection

information

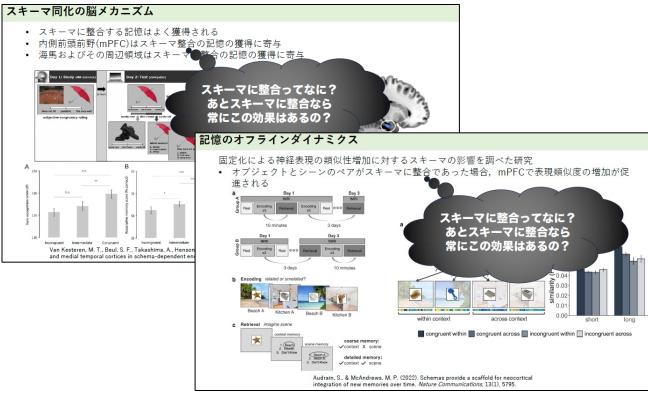
information

information



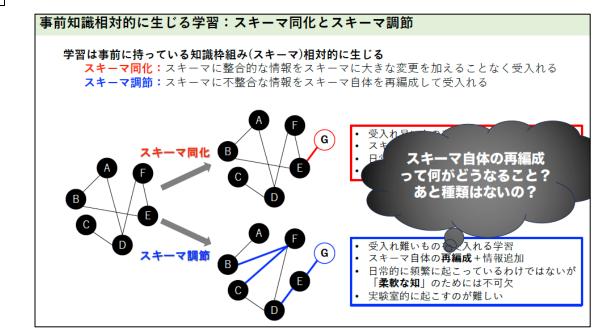
記憶という構造物どれ自体が分からなければ記憶学習とは何かが結局わからない

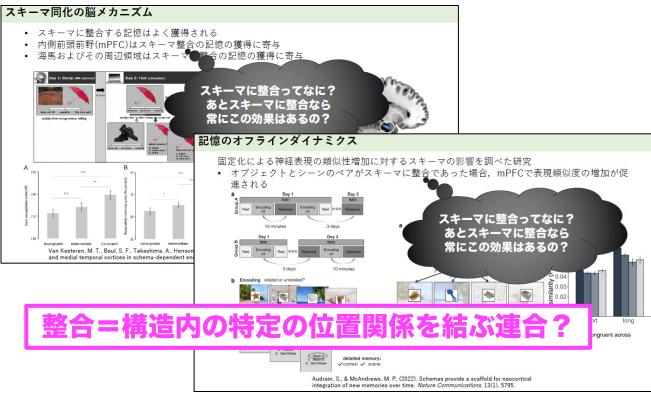
記憶という構造物を理解する

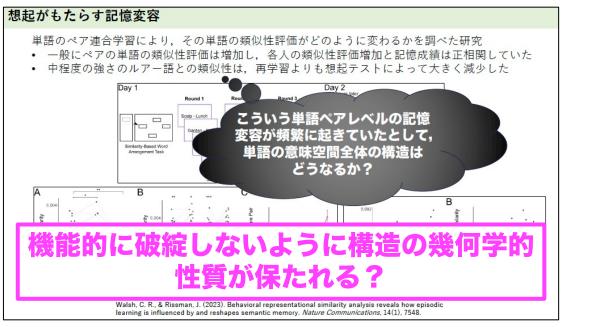


#語のペア連合学習により、その単語の類似性評価がどのように変わるかを調べた研究 - 一般にペアの単語の類似性評価は増加し、各人の類似性評価増加と記憶成績は正相関していた - 中程度の強さのルアー語との類似性は、再学習よりも想起テストによって大きく減少した Day 1 Round 1 Round 3 Day 2 Walsh, C. R. & Rissman, J. (2023). Behavioral representational similarity analysis reveals be episodic learning is influenced by and reshapes semantic memory. Nature Communications, 14(1), 7548.

情動的・直観的なスキーマ同化 を 理性的・熟慮的なスキー 具体的にどんな役割で、 どういった意味で相補なのか…?







本ーマ調節の脳メカニズム 構造の幾何学的複雑性を減らすvs増やす など?

情動的・直観的なスキーマ同化

8

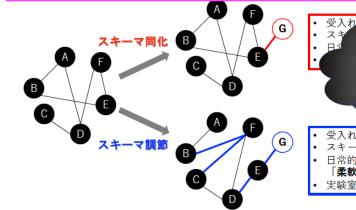
理性的・熟慮的なスキー具体的にどんな役割で、

具体的にどんな役割で, どういった意味で相補 なのか…?

記憶の再帰的自己構築に相補的な役割を担いそう

事前知識相対的に生じる学習:スキーマ同化とスキーマ調節

記憶の機能に影響する幾何学的性質の何か は大きく変わるが、何かは保たれる?



スキーマ自体の再編成 って何がどうなること? あと種類はないの?

- 受入れ難いもの 入れる学習
- スキーマ自体の再編成+情報追加
- 日常的に頻繁に起こっているわけではないが 「柔軟な知」のためには不可欠
- 実験室的に起こすのが難しい

本講演のメインクエスチョン: 記憶はどこに行けるのか?

サスクエスチョン: 記憶はどのように変化をするか? その神経生理学的メカニズムはなにか?

記憶の大域構造と、 学習やオフライン処理によるその変化、 そして記憶の機能に構造がどう関わるか を明らかにしたい

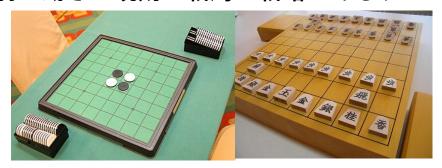
記憶の大域構造と、 学習やオフライン処理によるその変化。 そして記憶の機能に構造がどう関わるか を明らかにしたい

記憶はシステムである、むしろ複雑系である

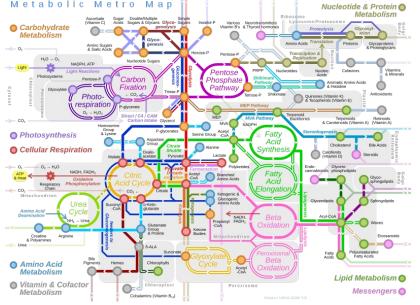
複雑系:多要素の関係性から創発する"固有の法則を有する現象の階層"

- ✓ 複雑系はそれ自体が一つの小世界をなすようなモノとコトの集まり
- ✓ システム全体への視線が必要であり、要素はそのなかに位置付けられる必要がある

駒の動きの規則⇒戦局・戦略のあるゲーム

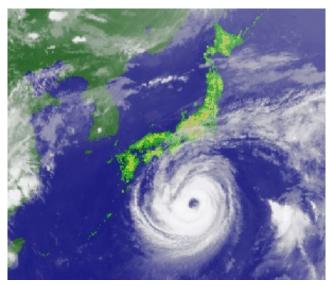


化学反応⇒細胞・生体



https://en.wikipedia.org/wiki/Metabolic_network

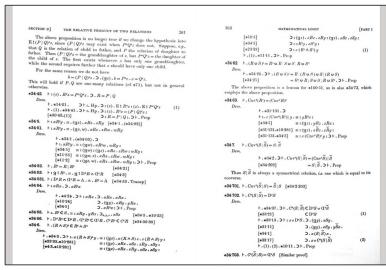
気体分子⇒流体法則



個人⇒社会

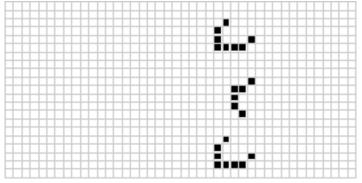


命題⇒数学体系



from Principia Mathematica (Whitehead & Russell)

局所ルール⇒The game of life



https://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html

記憶:様々な情報とそれら間の関係が小世界をなす複雑システム

記憶は…

- ✓ 自己組織化された秩序構造を持つ
- ✓ 構成要素である情報同士の関係性に依拠して自発変化する
- ✓ 現在の状態に依拠して外界と相互作用し、自らと外界を変える
- ✓ まとまりのある考え(=サブシステム)が創発し、それが階層をなす
 - ▶ 閃きや洞察もこの"サブシステムの出現"だろうか?
- ✓ "知"=体系化された情報ならば、複雑系としての記憶は"知"である
 - ▶ 複雑系としての記憶が十分解明されれば、思考なども大体分かると思います

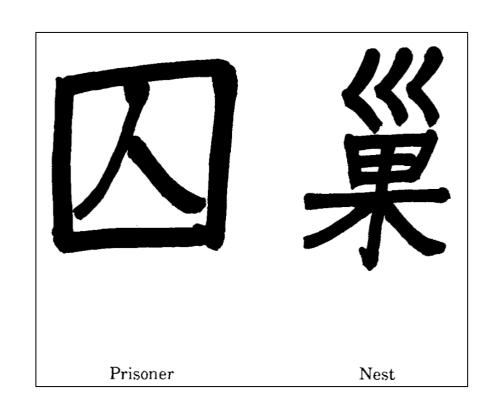
丸暗記を理解できるか?

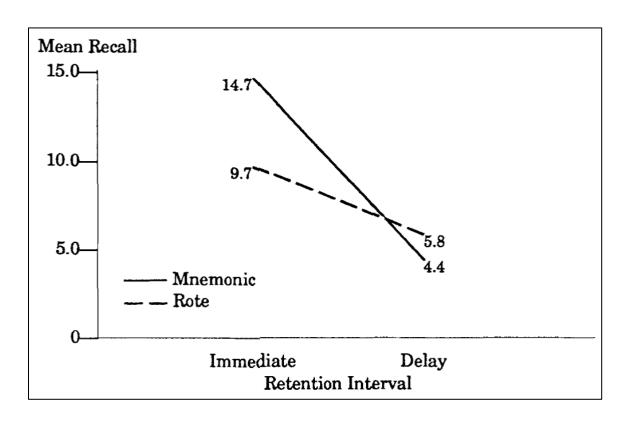
丸暗記:記憶のシステム性の無視

記憶のシステム性を無視した学習法である丸暗記を理解できるか?

- 丸暗記は「すぐに忘れる」「応用が効かない」と言われ、経験上も納得感がある
- しかし記憶術との比較では、しばしばそれらと同等以上の記憶定着が観られる(下図)
- 中立的な丸暗記に比べ、記憶術は**記憶の大域構造**から無理**のある学習**にもなりうる

これを定量的に理解できるだろうか?





Wang, A. Y., & Thomas, M. H. (1992). The effect of imagery-based mnemonics on the long-term retention of Chinese characters. *Language Learning*, 42(3), 359-376.

丸暗記:記憶のシステム性の無視

記憶のシステム性を無視した学習法である丸暗記を理解できるか?

- 丸暗記は「すぐに忘れる」「応用が効かない」と言われ、経験上も納得感がある
- しかし記憶術との比較では、しばしばそれらと同等以上の記憶定着が観られる(下図)
- 中立的な丸暗記に比べ、記憶術は記憶の大域構造から無理のある学習にもなりうる

これを定量的に理解できるだろうか?

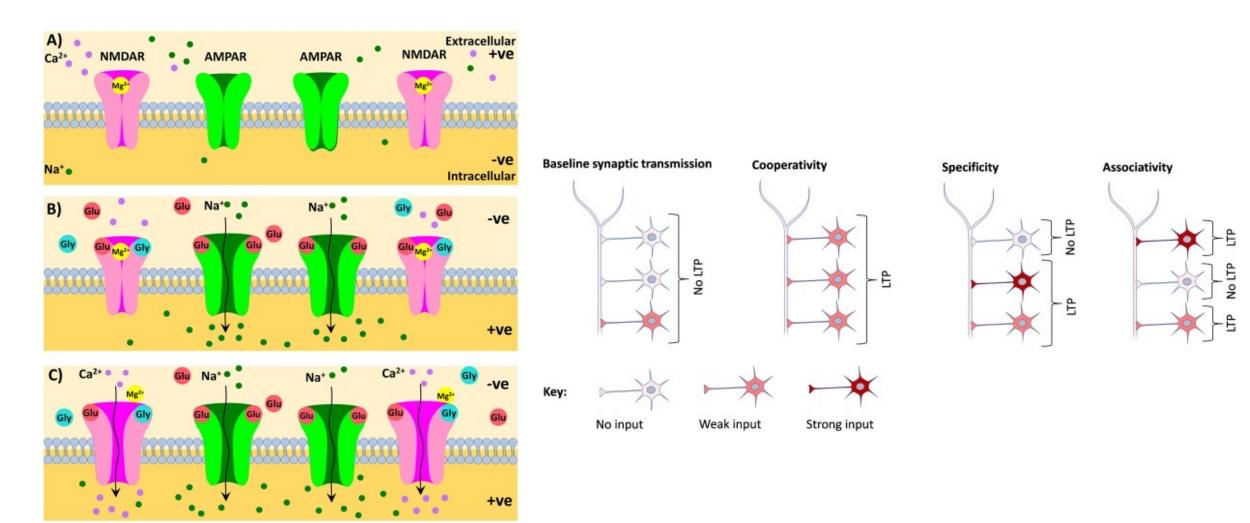


Wang, A. Y., & Thomas, M. H. (1992). The effect of imagery-based mnemonics on the long-term retention of Chinese characters. *Language Learning*, 42(3), 359-376.

記憶が構造を持つことの生物学的基礎

記憶が構造を持つことの生物学的基礎:Hebb型可塑性

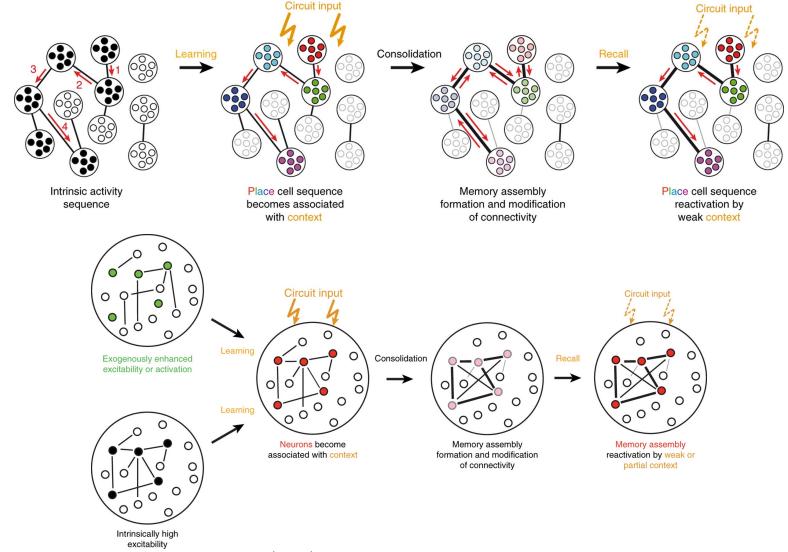
"Neurons that fire together wire together."と呼ばれるシナプス前後のニューロンの共発火によるシナプス増強が基礎中の基礎



Sumner, R. L., Spriggs, M. J., Muthukumaraswamy, S. D., & Kirk, I. J. (2020). The role of Hebbian learning in human perception: a methodological and theoretical review of the human Visual Long-Term Potentiation paradigm. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 115, 220-237.

記憶が構造を持つことの生物学的基礎:集合的発火の形成

何らかの理由で共発火したニューロンは連合し、その後、共発火しやすくなる

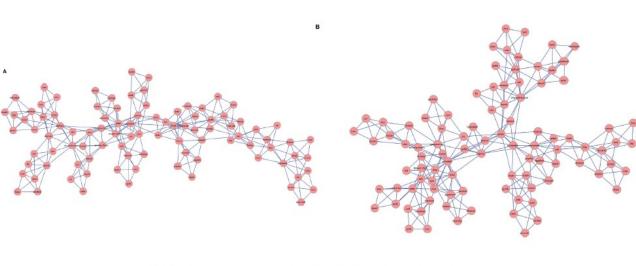


Holtmaat, A., & Caroni, P. (2016). Functional and structural underpinnings of neuronal assembly formation in learning. *Nature neuroscience*, 19(12), 1553-1562.

記憶の全体構造とそのダイナミクスを捉える戦略

モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:心理実験ベース

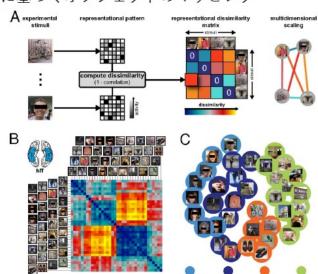
自由連想課題に基づく単語間の意味ネットワーク



Hebart, M.N., Zheng, C.Y., Pereira, F. et al. Revealing the multidimensional mental representations of natural objects underlying human similarity judgements. *Nat Hum Behav* 4, 1173–1185 (2020).

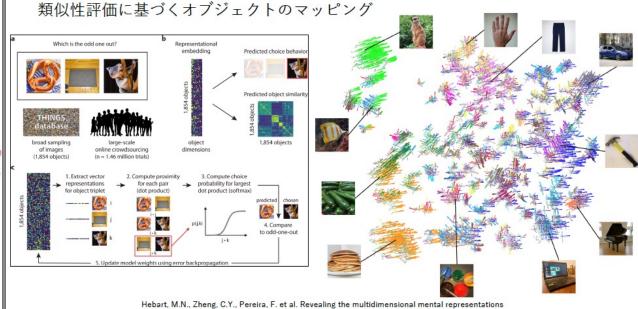
モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:脳活動ベース

神経表現の類似性に基づくオブジェクトのマッピング



Charest, I., Kievit, R. A., Schmitz, T. W., Deca, D., & Kriegeskorte, N. (2014). Unique semantic space in the brain of each beholder predicts perceived similarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(40), 14565-14570.

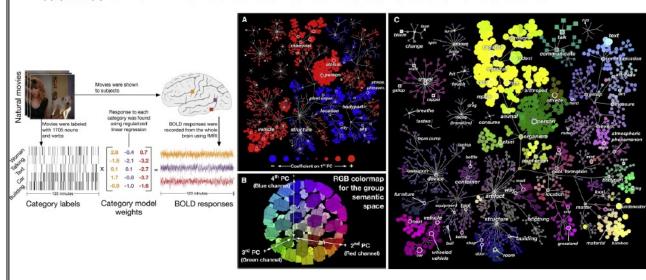
モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:心理実験ベース



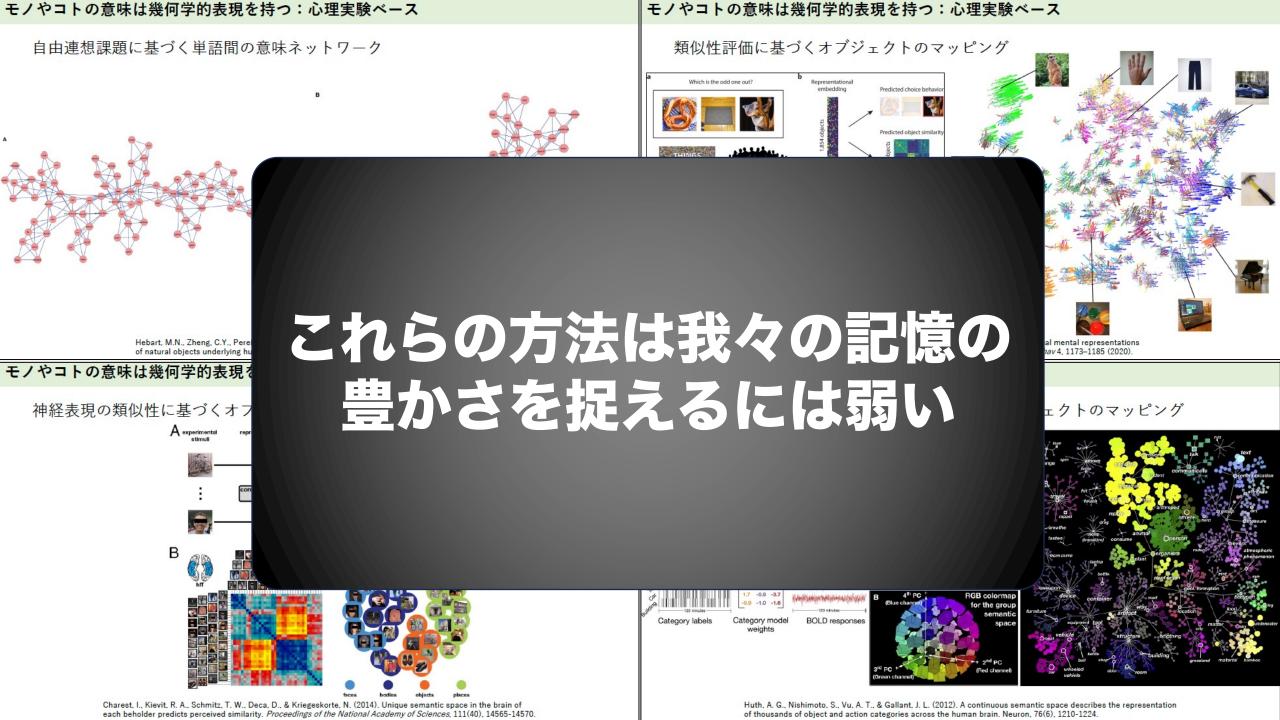
Hebart, M.N., Zheng, C.Y., Pereira, F. et al. Revealing the multidimensional mental representations of natural objects underlying human similarity judgements. *Nat Hum Behav* 4, 1173–1185 (2020).

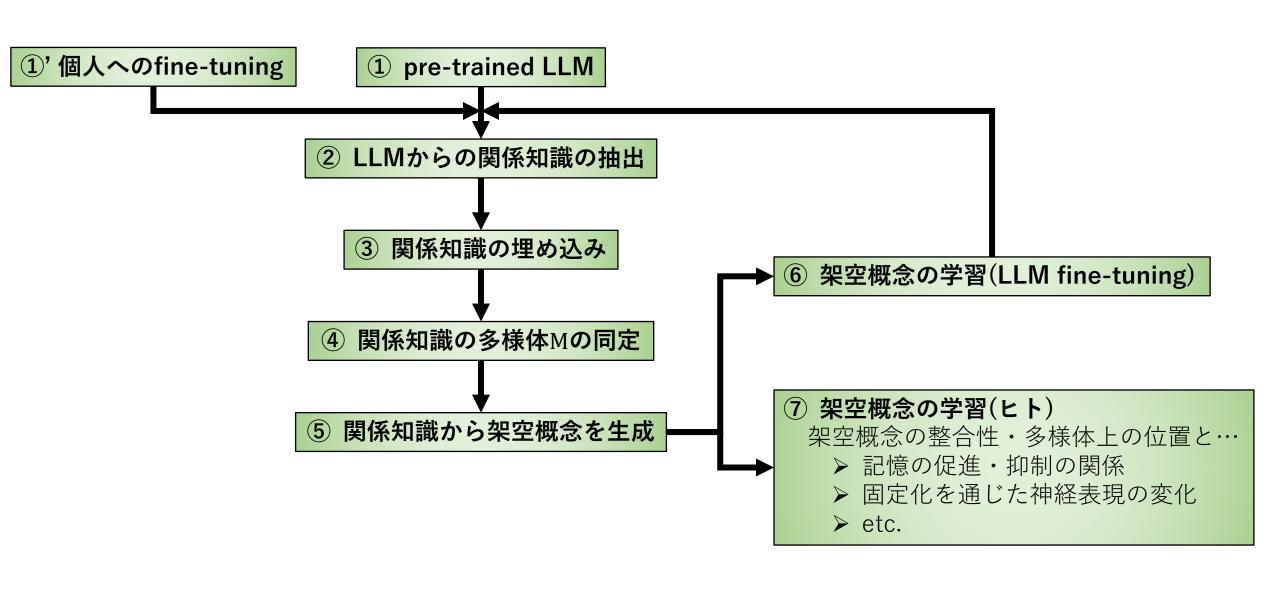
モノやコトの意味は幾何学的表現を持つ:脳活動ベース

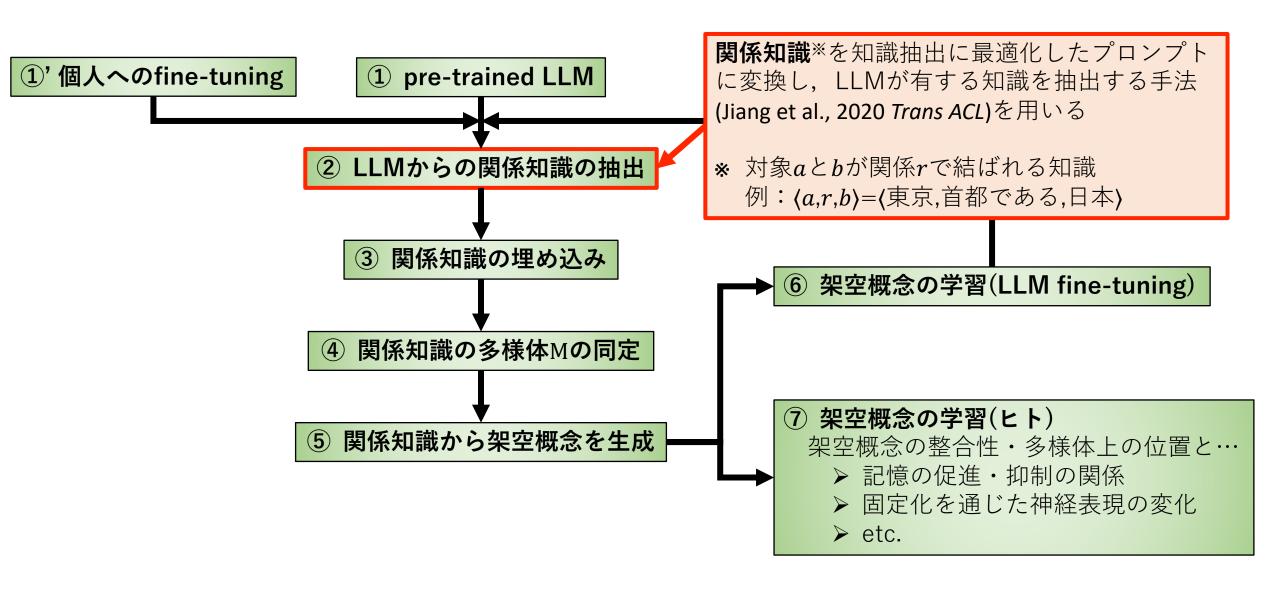
神経応答のエンコーディングモデルに基づくオブジェクトのマッピング

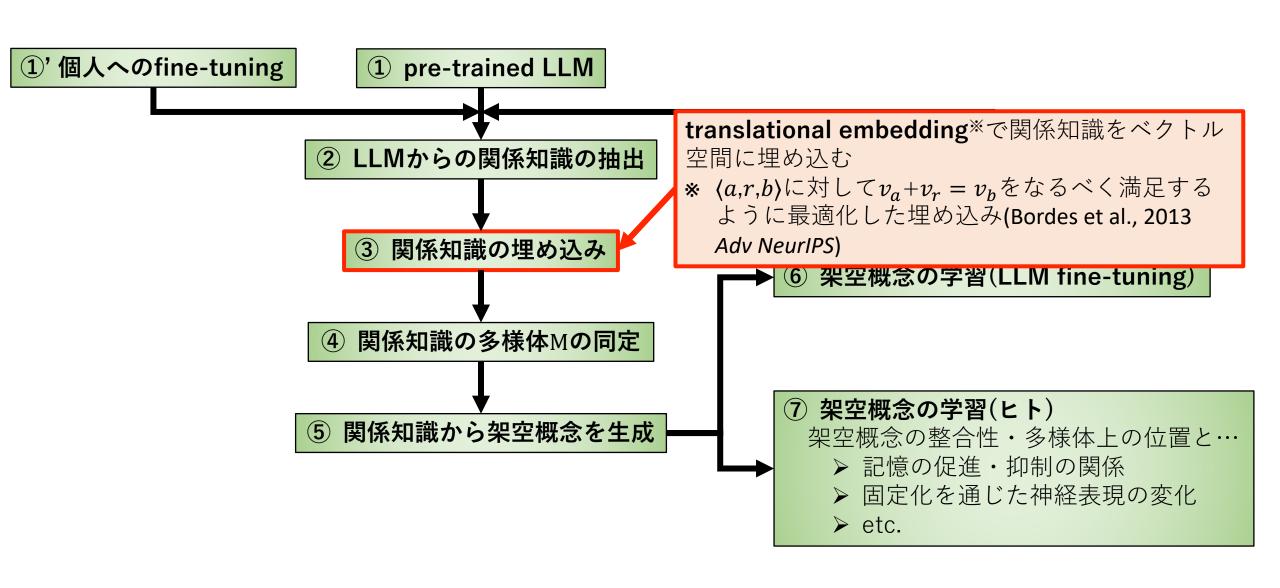


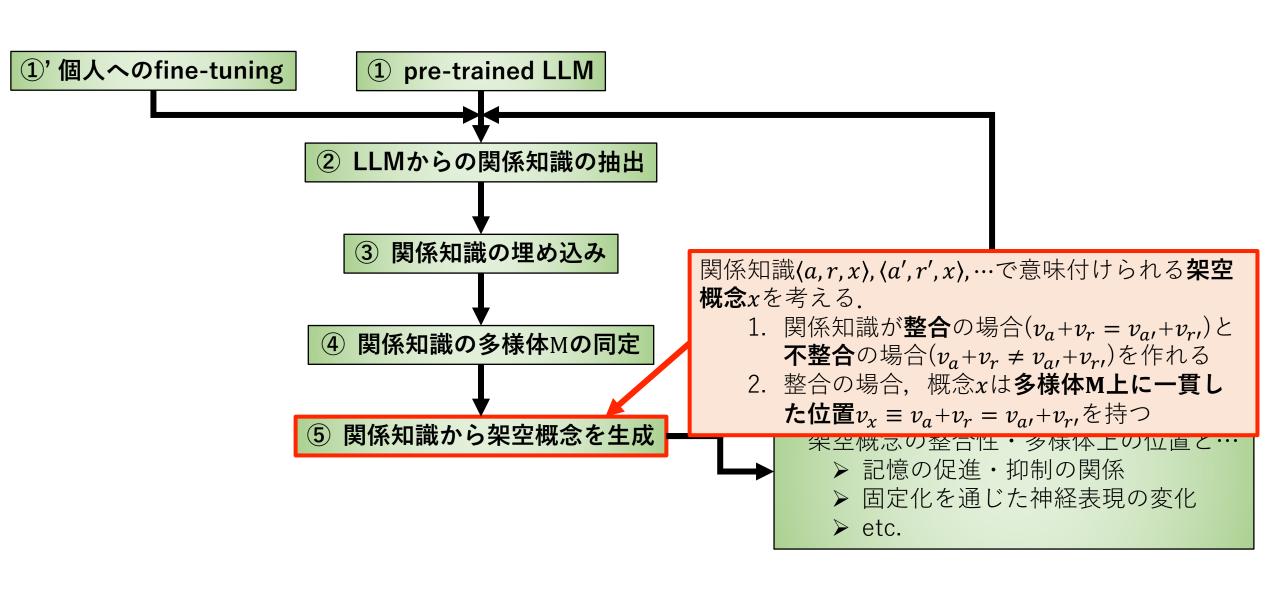
Huth, A. G., Nishimoto, S., Vu, A. T., & Gallant, J. L. (2012). A continuous semantic space describes the representation of thousands of object and action categories across the human brain. Neuron, 76(6), 1210-1224.

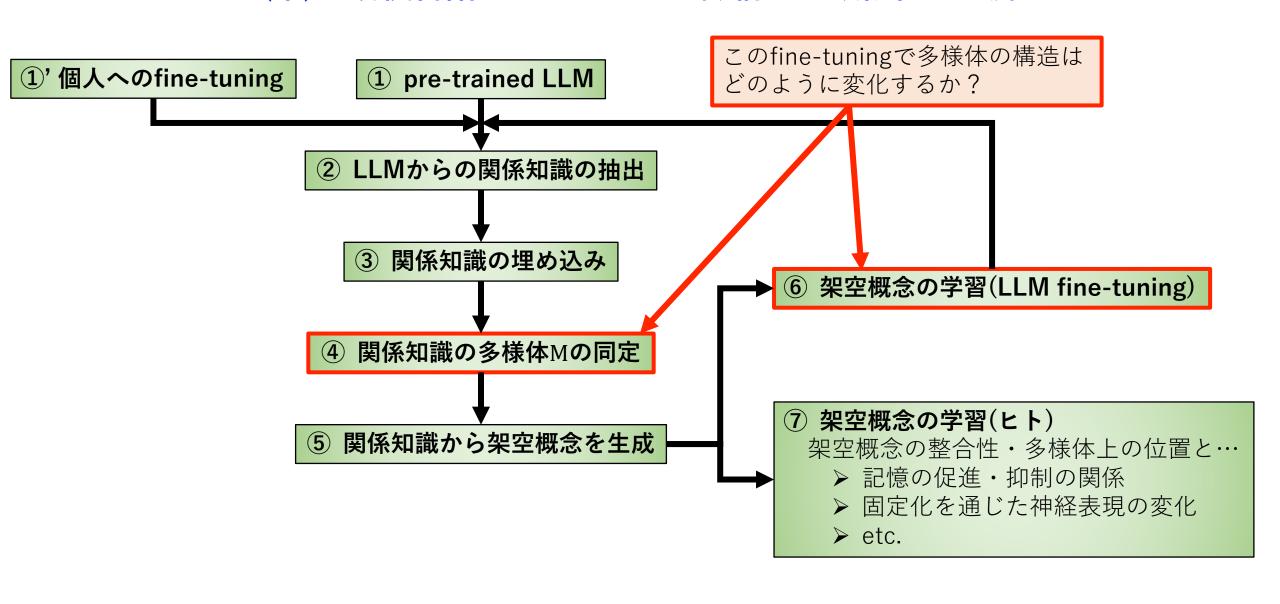


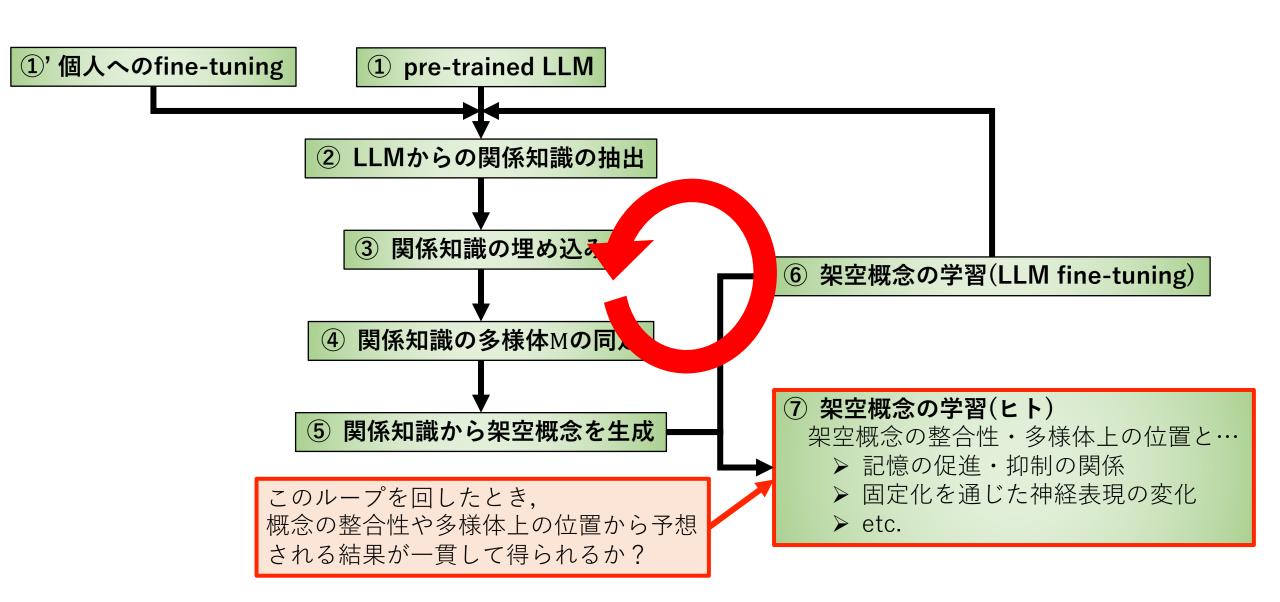


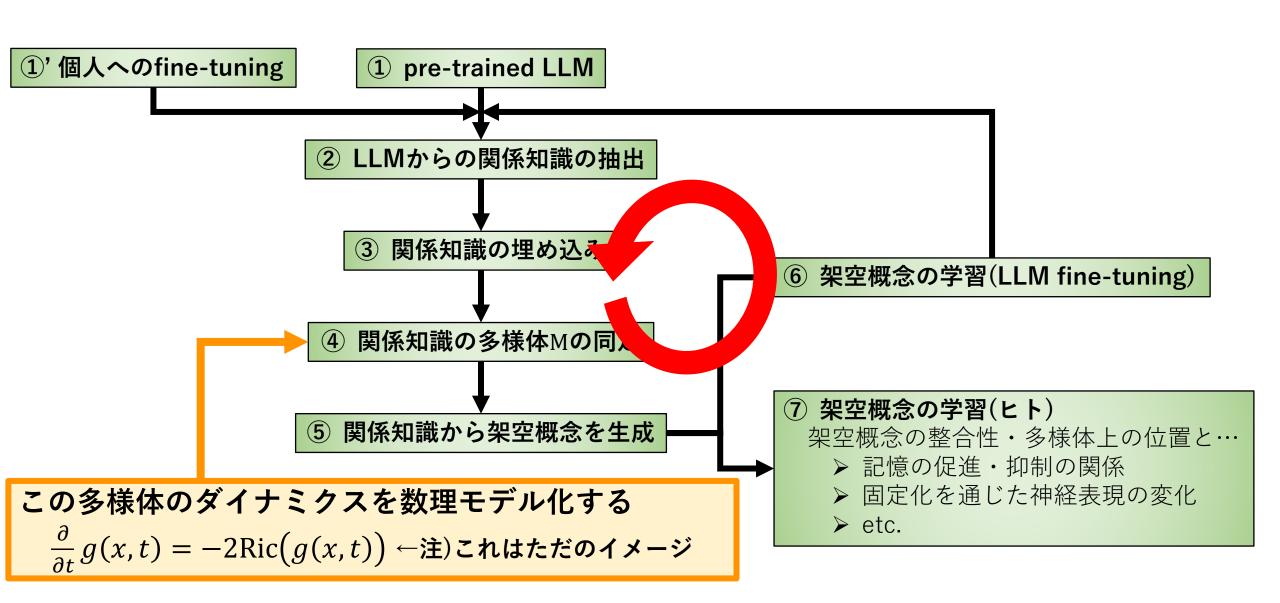










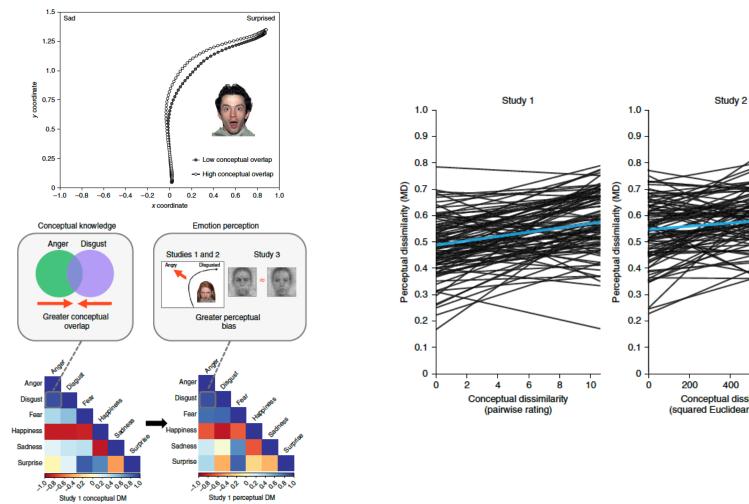


記憶の大域構造と、 学習やオフライン処理によるその変化、 そして記憶の機能に構造がどう関わるか を明らかにしたい 記憶の機能にその構造がどう関わるか?

記憶が知覚を作る

概念的知識の構造が知覚構造を定める

有する情動概念間の類似性についての知識が情動顔知覚に影響を与える



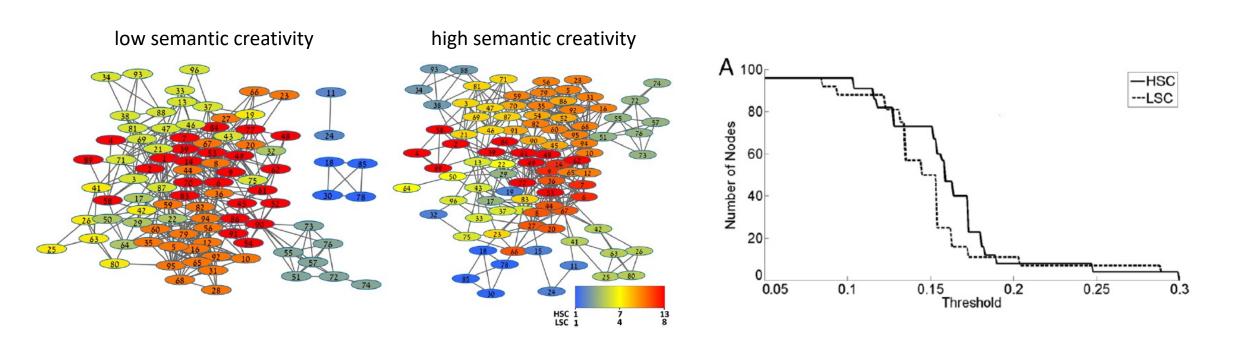
-2.0-2.5400 800 200 800 Conceptual dissimilarity Conceptual dissimilarity (squared Euclidean distance) (squared Euclidean distance)

Brooks, J. A., & Freeman, J. B. (2018). Conceptual knowledge predicts the representational structure of facial emotion perception. *Nature Human Behaviour*, 2(8), 581-591.

記憶が思考を作る

意味的知識の構造が創造性に関与する

• 高創造性群は低創造性群に比べ、パーコレーション転移が起きやすい意味ネットワークを持つ

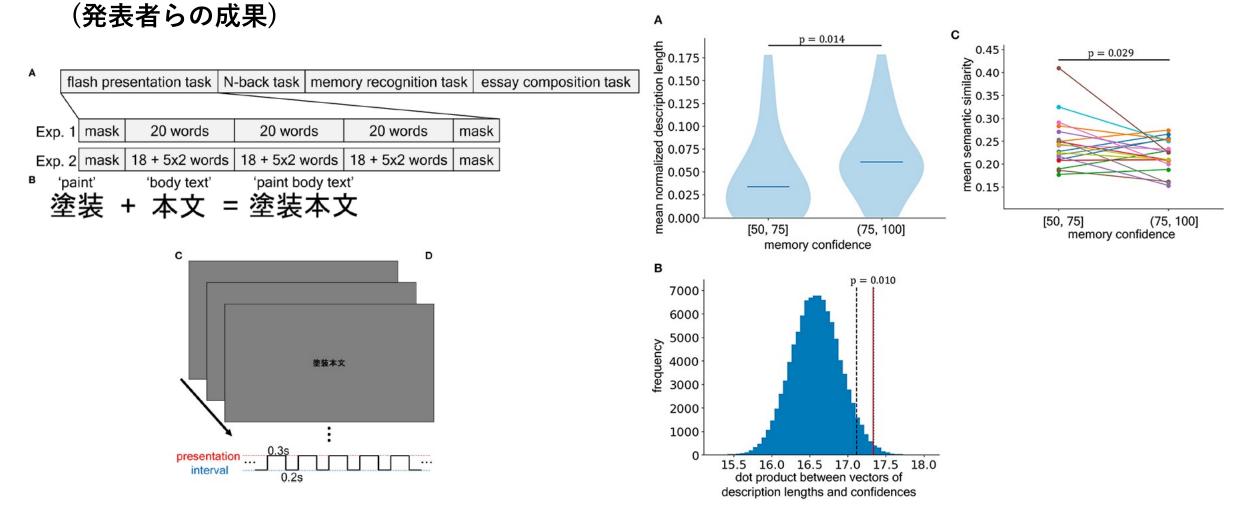


Kenett, Y. N., Levy, O., Kenett, D. Y., Stanley, H. E., Faust, M., & Havlin, S. (2018). Flexibility of thought in high creative individuals represented by percolation analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(5), 867-872.

思考のために記憶が作られる

創造性を増す知識が選択的に獲得される

• 合成語の記憶課題で、そこからの発想に意味的跳躍を与えやすいものが選択的に獲得される



<u>Kurashige, H.</u>, Yamashita, Y., Hanakawa, T., & Honda, M. (2019). Effective augmentation of creativity-involving productivity consequent to spontaneous selectivity in knowledge acquisition. *Frontiers in Psychology*, 10, 600.

そもそも記憶の機能とは?

記憶の機能とは?

機能の二つの実現法:ハードウェア実装とコード実装

"機能"を広く定義すれば「何かが何かに作用して何かが生じること」であり、つまり機能を持つものは

$$y = F(x; \theta)$$

のどこかに居場所を持つ.

記憶は表象であると考えれば、まず**データ**xであり得るが、計算の視点からは関数を定義するパラメータ θ にもなり得る.



記憶の機能とは?

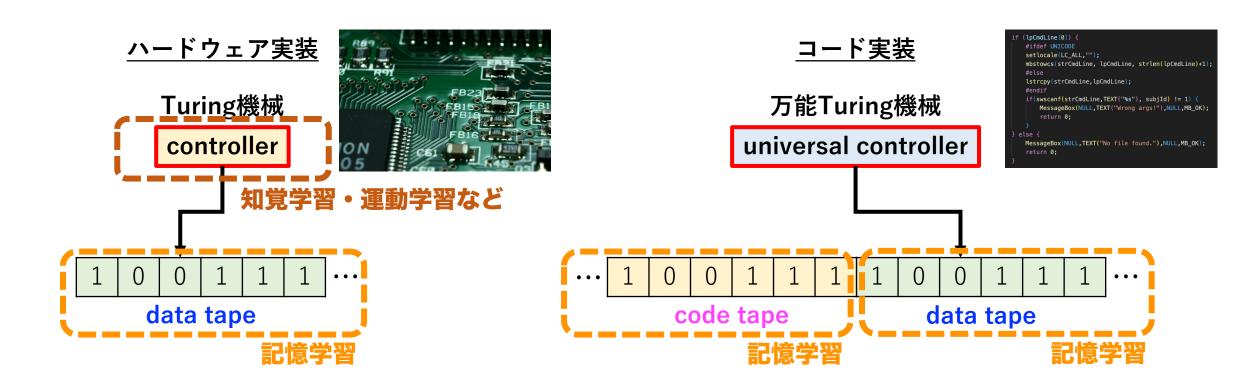
機能の二つの実現法:ハードウェア実装とコード実装

"機能"を広く定義すれば「何かが何かに作用して何かが生じること」であり、つまり機能を持つものは

$$y = F(x; \theta)$$

のどこかに居場所を持つ.

記憶は表象であると考えれば、まず**データ**xであり得るが、計算の視点からは関数を定義するパラメータ θ にもなり得る.



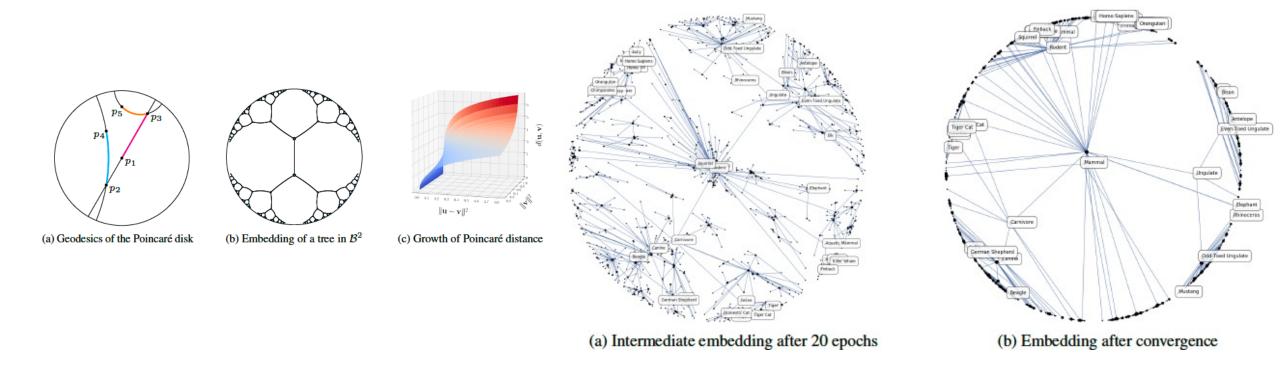
データとしての記憶の構造と機能の関係を考える

記憶の構造と機能の関係を考える:データとしての記憶の場合

記憶はデータ構造として望ましい大域構造を持つか?

双曲空間へのデータ埋め込みは、埋め込み空間を低次元化できる・データの階層構造を反映した埋め込みが可能など、望ましい特徴を持つ。

そのような意味で、記憶の大域構造はデータ構造として望ましい構造を持つだろうか?



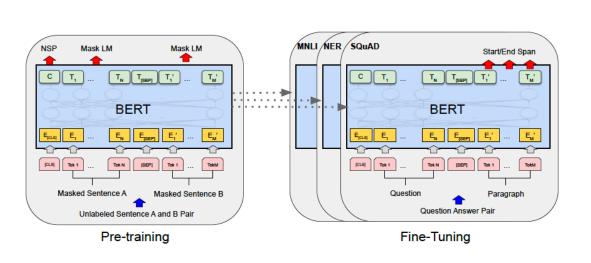
Nickel, M., & Kiela, D. (2017). Poincaré embeddings for learning hierarchical representations. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.

記憶の構造と機能の関係を考える:データとしての記憶の場合

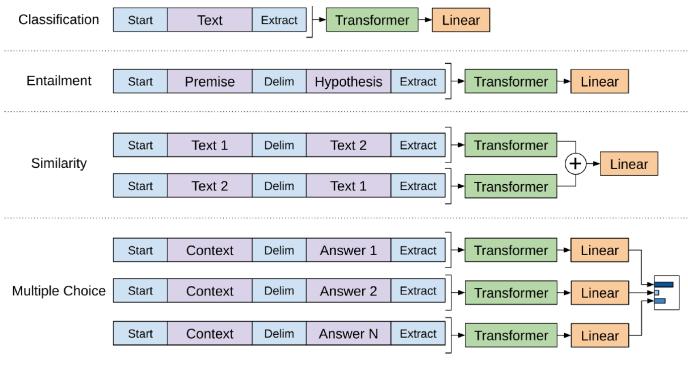
記憶はデータ構造として望ましい大域構造を持つか?

ビッグデータで学習した深層ニューラルネットは下流タスクで汎用的に使える潜在表現を獲得する.

記憶もそのような"よい表現"となっているだろうか?



Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pretraining of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT*, 4171–4186.

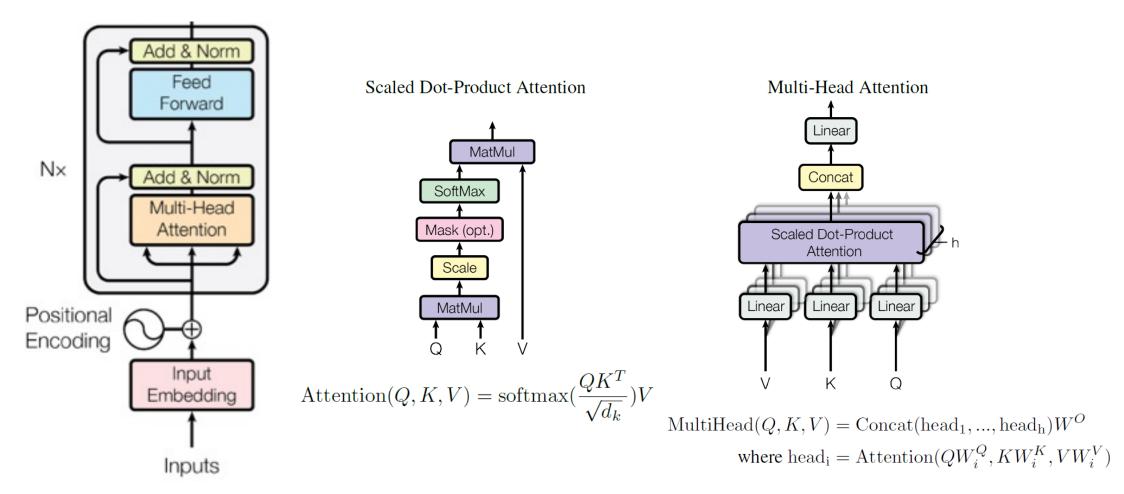


Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). Improving language understanding by generative pre-training.

記憶の構造と機能の関係を考える:データとしての記憶の場合

記憶はデータ構造として望ましい大域構造を持つか?

そもそも記憶の固定化における関連のある情報の神経表現の類似性が増加していく過程は self-attentionでモデル化できないか?



Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in neural information processing systems*, 30.

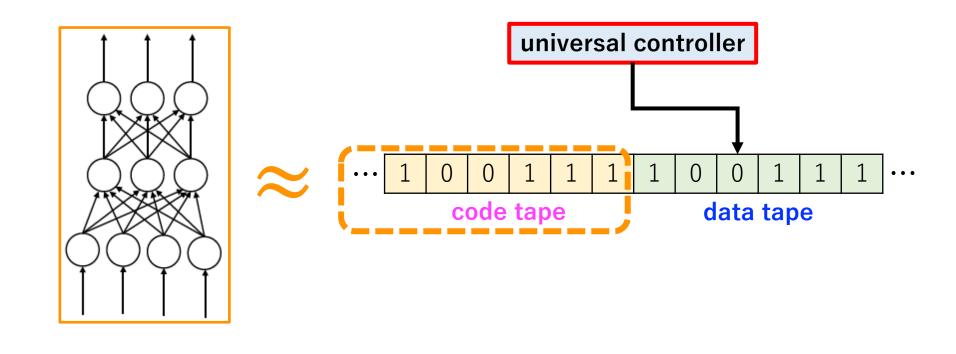
コードとしての記憶の構造と機能の関係を考える

記憶の構造と機能の関係を考える:コードとしての記憶の場合

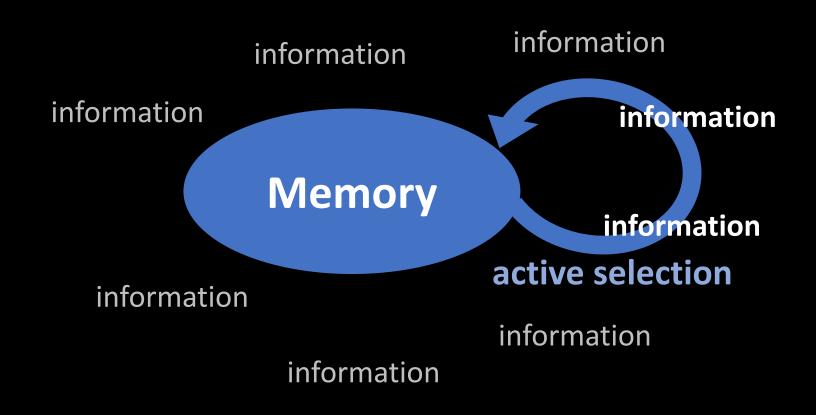
コードとしての記憶は情報幾何学的に捉えられないだろうか?

コードを定めることを確率モデルのパラメータを定めることに対応づければ、情報幾何の対象になり得る.

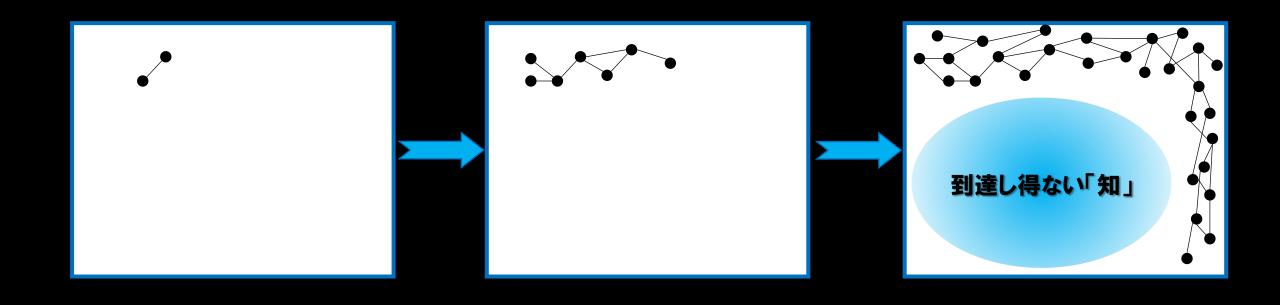
とくにニューロ多様体(Amari, et al., 2006. *Neural Comput.*)で検討されている学習と特異点の問題に関係ありそう?



本講演のメインクエスチョン: 記憶はどこに行けるのか?



記憶の大域構造のダイナミクスに法則があるということは、 記憶には到達できない場所があるということ

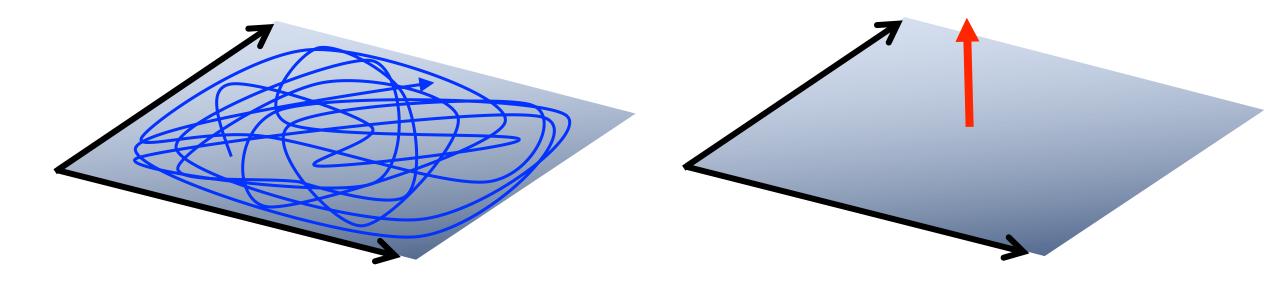


記憶の大域構造のダイナミクスに法則があるということは、 記憶には到達できない場所があるということ

AIの知について

AIによる知の探索

- AIによる知の探索といったときに、人と同じ(もしくは人より狭い)多様体上に制限されるか、そこから飛び出るかの違いは(少なくとも発表者にとっては)大きい
- ・ 人と比べずとも、どこに制限されているかは重要である

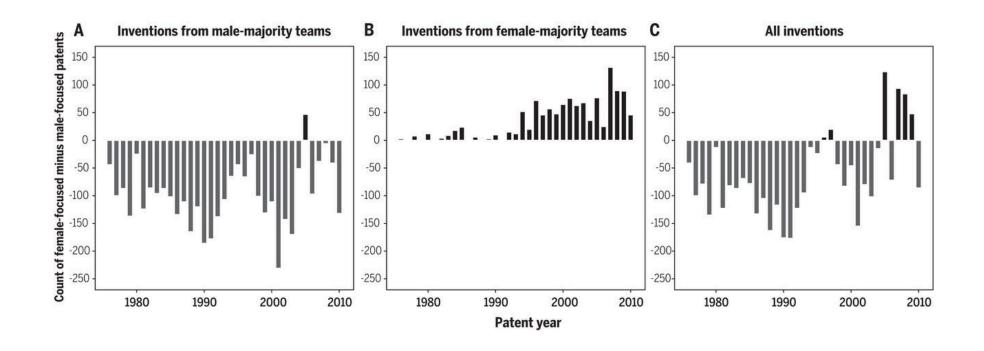


社会レベルの知の探索

社会レベルの知の探索にも法則=制限がある

生物医学系特許の解析の研究

- 男性メインのチームは男性向け発明を、女性メインのチームは女性向け発明をする傾向
- さまざまな周辺要因の影響を考慮してもこの傾向は残る
- 開発者は本来の性向として同性に偏って利するプロダクトを産み出す
- 開発者はそもそも男性が多いため、**女性向け発明の空間は十分に探索されない**



Koning R, Samila S, Ferguson JP. (2021) Who do we invent for? Patents by women focus more on women's health, but few women get to invent. *Science* 372, 1345–1348.

社会レベルの知の探索にも法則=制限がある

この話がさらに一般化可能ならば…

- 性別以外・生物医薬品開発以外にも一般化されたとする
- 例えば「制度」というものの発明にも一般化されるならば…

例えば「制度」の発明にも一般化されるならば…

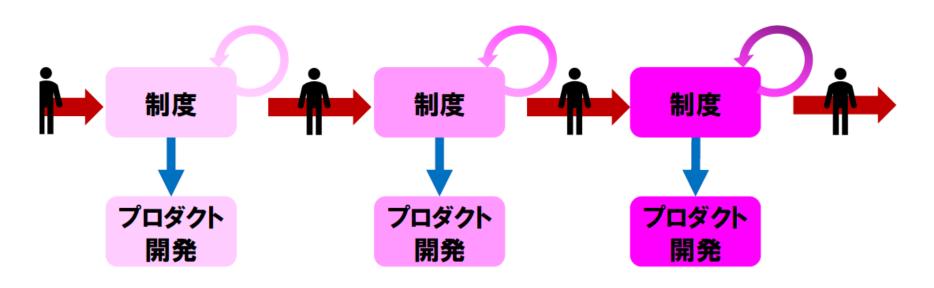


社会レベルの知の探索にも法則=制限がある

この話がさらに一般化可能ならば…

- 性別以外・生物医薬品開発以外にも一般化されたとする
- 例えば「制度」というものの発明にも一般化されるならば…

例えば「制度」の発明にも一般化されるならば…



本講演のメインクエスチョン: 記憶はどこに行けるのか?

人類が思考可能な領域を拡張したい & thought-as-it-could-beを知りたい

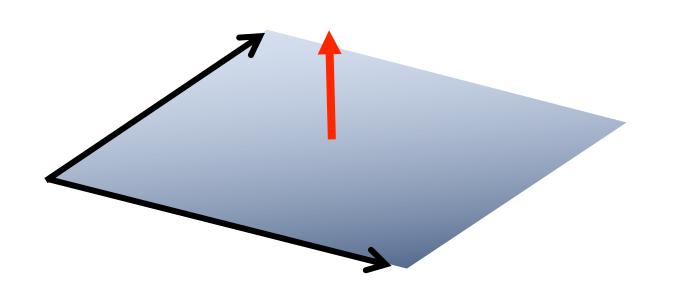
人類が思考可能な領域を拡張するには?

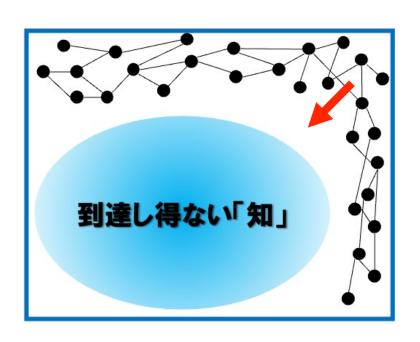
そもそも我々がどこにどう制限されているかを知る必要がある(理学的アプローチ)

▶ 今回の話はおもにこれについてだった

制限の外を指向するAIアルゴリズムがあるとよい(工学的アプローチ)

- ▶ 好奇心駆動型強化学習は有望な方向だと思う
- ▶ しかし現状では「まだ探索していない」と「探索できない」の区別がつかない
- ▶ "外挿できるモデル"が次の一歩だと思う

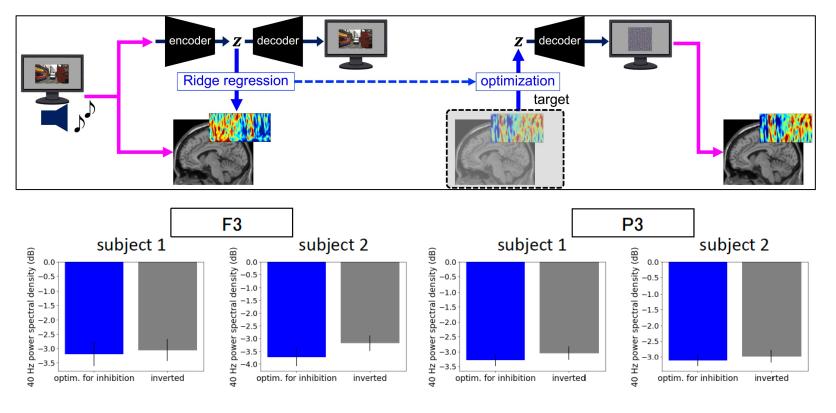


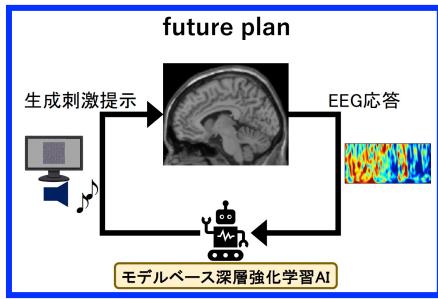


脳と強化学習AIの接続を目指す

脳と強化学習AIの接続につながり得る研究

- Contrastive Audio-Visual Masked Autoencoder(Gong et al., 2023 ICLR)の潜在変数を設計し、 あるF3/P3 EEG脳活動を抑制するように最適化した動画刺激を生成した
- これを被験者に提示すると、とくにF3電極の脳活動に期待される抑制効果が観察された (発表者らの成果)





Kurashige, H., & Nagata, E. (in preparation)

本講演のメインクエスチョン: 記憶はどこに行けるのか?

謝辞

Collaborators:

- Jun Kaneko (ex. Toklai Univ.)
- Eichiro Nagata (Tokai Univ.)
- Kenji Matsumoto (Tamagawa Univ.)
- Yuichi Yamashita (National Center of Neurology and Psychiatry)
- Manabu Honda (National Center of Neurology and Psychiatry)
- Rieko Osu (Waseda Univ.)
- Yohei Otaka (Fujita Health Univ.)
- Takashi Hanakawa (Kyoto Univ.)
- Hideaki Kawabata (Keio Univ.)
- Yuna Koyama (JSPS Overseas Research Fellow / Harvard Univ.)

Funding:

- the Leading Initiative for the Excellent Young Researchers (MEXT, Japan)
- the Grant-in-Aid for Scientific Research (C) (21K07264)
- the Grant-in-Aid for Young Scientists (B) (26870934)
- the JNNS30 Commemorative Research Grant
- the Sasakawa Scientific Research Grant from The Japan Science Society
- Tokai University Research & Information Center Project
- Tokai University Institute of Advanced Biosciences Project

参考文献(1/3)

- Amari, S. I., Park, H., & Ozeki, T. (2006). Singularities affect dynamics of learning in neuromanifolds. Neural computation, 18(5), 1007-1065.
- Audrain, S., & McAndrews, M. P. (2022). Schemas provide a scaffold for neocortical integration of new memories over time. Nature Communications, 13(1), 5795.
- Bordes, A., Usunier, N., Garcia-Duran, A., Weston, J., & Yakhnenko, O. (2013). Translating embeddings for modeling multi-relational data. Advances in neural information processing systems, 26.
- Brod, G., Lindenberger, U., Wagner, A. D., & Shing, Y. L. (2016). Knowledge acquisition during exam preparation improves memory and modulates memory formation. Journal of Neuroscience, 36(31), 8103-8111.
- Brooks, J. A., & Freeman, J. B. (2018). Conceptual knowledge predicts the representational structure of facial emotion perception. Nature Human Behaviour, 2(8), 581-591.
- Charest, I., Kievit, R. A., Schmitz, T. W., Deca, D., & Kriegeskorte, N. (2014). Unique semantic space in the brain of each beholder predicts perceived similarity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(40), 14565-14570.
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. Proceedings of NAACL-HLT, 4171–4186.
- Dragoi, G., & Tonegawa, S. (2011). Preplay of future place cell sequences by hippocampal cellular assemblies. Nature, 469(7330), 397-401.
- Dragoi, G., & Tonegawa, S. (2013). Distinct preplay of multiple novel spatial experiences in the rat. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(22), 9100-9105.
- Fischer, S., & Born, J. (2009). Anticipated reward enhances offline learning during sleep. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35(6), 1586.
- Gilboa, A., & Marlatte, H. (2017). Neurobiology of schemas and schema-mediated memory. Trends in cognitive sciences, 21(8), 618-631.
- Grob, A.M., Heinbockel, H., Milivojevic, B., Doeller, C., & Schwabe, L., (2023). Causal role of the angular gyrus in insight-driven memory reconfiguration. eLife, 12:RP91033.
- Gruber, M. J., Gelman, B. D., & Ranganath, C. (2014). States of curiosity modulate hippocampus-dependent learning via the dopaminergic circuit. Neuron, 84(2), 486-496.
- Hebart, M.N., Zheng, C.Y., Pereira, F. et al. Revealing the multidimensional mental representations of natural objects underlying human similarity judgements. Nat Hum Behav 4, 1173–1185 (2020).
- Holtmaat, A., & Caroni, P. (2016). Functional and structural underpinnings of neuronal assembly formation in learning. Nature neuroscience, 19(12), 1553-1562.
- Huth, A. G., Nishimoto, S., Vu, A. T., & Gallant, J. L. (2012). A continuous semantic space describes the representation of thousands of object and action categories across the human brain. Neuron, 76(6), 1210-1224.
- Jiang, Z., Xu, F. F., Araki, J., & Neubig, G. (2020). How can we know what language models know?. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 8, 423-438.
- Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T. Y., & Camerer, C. F. (2009). The wick in the candle of learning: Epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. Psychological science, 20(8), 963-973.
- Karpicke, J. D., & Blunt, J. R. (2011). Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping. Science, 331(6018), 772-775.

参考文献(2/3)

- Karpicke, J. D., & Roediger III, H. L. (2008). The critical importance of retrieval for learning. Science, 319(5865), 966-968.
- Kenett, Y. N., Anaki, D., & Faust, M. (2014). Investigating the structure of semantic networks in low and high creative persons. Frontiers in human neuroscience, 8, 407.
- Kenett, Y. N., Levy, O., Kenett, D. Y., Stanley, H. E., Faust, M., & Havlin, S. (2018). Flexibility of thought in high creative individuals represented by percolation analysis. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(5), 867-872.
- Koning R, Samila S, Ferguson JP. (2021) Who do we invent for? Patents by women focus more on women's health, but few women get to invent. Science 372, 1345–1348.
- Kozlowski, D., Dusdal, J., Pang, J., & Zilian, A. (2021). Semantic and relational spaces in science of science: deep learning models for article vectorisation. Scientometrics, 126(7), 5881-5910.
- Kurashige, H., & Kaneko, J. (2022). Correspondence between the Video-Learning Deep Neural Networks and EEG Brain Activity during Naturalistic Video Viewing. ICIIBMS, 200-207.
- Kurashige, H., Kaneko, J., & Matsumoto, K. (in preparation)
- Kurashige, H., & Nagata, E. (in preparation)
- Kurashige H, Kaneko J, Yamashita Y, Osu R, Otaka Y, Hanakawa T, Honda M and Kawabata H (2020) Revealing Relationships Among Cognitive Functions Using Functional Connectivity and a Large-Scale Meta-Analysis Database. Front. Hum. Neurosci. 13:457.
- Kurashige, H., Hoshino, H., Owaki, T., Ueno, K., Tanskanen, T., Cheng, K., & Câteau, H. (2021). Brain-mimetic Kernel: A Kernel Constructed from Human fMRI Signals Enabling a Brain-mimetic Visual Recognition Algorithm. Proceedings of ICONIP, 271-283.
- Kurashige, H., Yamashita, Y., Hanakawa, T., & Honda, M. (2018). A knowledge-based arrangement of prototypical neural representation prior to experience contributes to selectivity in upcoming knowledge acquisition. Frontiers in human neuroscience, 12, 111.
- Kurashige, H., Yamashita, Y., Hanakawa, T., & Honda, M. (2019). Effective augmentation of creativity-involving productivity consequent to spontaneous selectivity in knowledge acquisition. Frontiers in Psychology, 10, 600.
- Milivojevic, B., Vicente-Grabovetsky, A., & Doeller, C. F. (2015). Insight reconfigures hippocampal-prefrontal memories. Current Biology, 25(7), 821-830.
- Moskaliuk, J., Kimmerle, J., & Cress, U. (2009). Wiki-supported learning and knowledge building: effects of incongruity between knowledge and information. Journal of Computer Assisted Learning, 25(6), 549-561.
- Nickel, M., & Kiela, D. (2017). Poincaré embeddings for learning hierarchical representations. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.
- Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). Improving language understanding by generative pre-training.
- Roediger III, H. L., & Abel, M. (2022). The double-edged sword of memory retrieval. Nature Reviews Psychology, 1(12), 708-720.
- Sumner, R. L., Spriggs, M. J., Muthukumaraswamy, S. D., & Kirk, I. J. (2020). The role of Hebbian learning in human perception: a methodological and theoretical review of the human Visual Long-Term Potentiation paradigm. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 115, 220-237.
- Sweegers CCG, Coleman GA, van Poppel EAM, Cox R and Talamini LM (2015) Mental Schemas Hamper Memory Storage of Goal-Irrelevant Information. Front. Hum. Neurosci. 9:629.
- Tompary, A., & Davachi, L. (2017). Consolidation promotes the emergence of representational overlap in the hippocampus and medial prefrontal cortex. Neuron, 96(1), 228-241.

参考文献(3/3)

- Tse, D., Langston, R. F., Kakeyama, M., Bethus, I., Spooner, P. A., Wood, E. R., ... & Morris, R. G. (2007). Schemas and memory consolidation. Science, 316(5821), 76-82.
- Tshitoyan, V., Dagdelen, J., Weston, L., Dunn, A., Rong, Z., Kononova, O., ... & Jain, A. (2019). Unsupervised word embeddings capture latent knowledge from materials science literature. Nature, 571(7763), 95-98.
- Uddin, L. Q., Yeo, B. T., & Spreng, R. N. (2019). Towards a universal taxonomy of macro-scale functional human brain networks. Brain topography, 32(6), 926-942.
- Van Dongen, E. V., Thielen, J. W., Takashima, A., Barth, M., & Fernández, G. (2012). Sleep supports selective retention of associative memories based on relevance for future utilization. PLoS ONE 7(8): e43426.
- Van Kesteren, M. T., Beul, S. F., Takashima, A., Henson, R. N., Ruiter, D. J., & Fernández, G. (2013). Differential roles for medial prefrontal and medial temporal cortices in schema-dependent encoding: from congruent to incongruent. Neuropsychologia, 51(12), 2352-2359.
- Van Kesteren, M. T., Rijpkema, M., Ruiter, D. J., & Fernández, G. (2010). Retrieval of associative information congruent with prior knowledge is related to increased medial prefrontal activity and connectivity. Journal of Neuroscience, 30(47), 15888-15894.
- Van Kesteren, M. T., Rijpkema, M., Ruiter, D. J., Morris, R. G., & Fernández, G. (2014). Building on prior knowledge: schema-dependent encoding processes relate to academic performance. Journal of Cognitive Neuroscience, 26(10), 2250-2261.
- Van Kesteren, M. T., Ruiter, D. J., Fernández, G., & Henson, R. N. (2012). How schema and novelty augment memory formation. Trends in neurosciences, 35(4), 211-219.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in neural information processing systems, 30.
- Walsh, C. R., & Rissman, J. (2023). Behavioral representational similarity analysis reveals how episodic learning is influenced by and reshapes semantic memory. Nature Communications, 14(1), 7548.
- Wang, A. Y., & Thomas, M. H. (1992). The effect of imagery-based mnemonics on the long-term retention of Chinese characters. Language Learning, 42(3), 359-376.
- Wilhelm, I., Diekelmann, S., Molzow, I., Ayoub, A., Mölle, M., & Born, J. (2011). Sleep selectively enhances memory expected to be of future relevance. Journal of Neuroscience, 31(5), 1563-1569.
- Zadbood, A., Nastase, S., Chen, J., Norman, K. A., & Hasson, U. (2022). Neural representations of naturalistic events are updated as our understanding of the past changes. Elife, 11, e79045.