

2020年度  
**AIPシンポジウム**  
**成果報告会**

RIKEN Center for Advanced Intelligence Project



特別講演  
「脳が少数サンプルから学習する仕組み」

川人 光男  
特別顧問



# 人工知能ブームへの期待と混乱

- 人工知能をヒトの知能の人工的な再現と定義すれば、そのようなものは**存在しない**
- ヒト知能のごく一部を切り出してきた歴史：四則演算、シンボルに基づく演繹的推論、記憶、検索、**ビッグデータに頼る帰納的推論**
- 運動学習、概念形成、シンボル生成、辺縁系、注意・意識、エピソード記憶などまだ入っていない。そこに神経科学がAIに貢献する余地
- 少数サンプルからの学習についての脳研究は未来のAI技術になる：**神経同期、意識**

ヒト型ロボットのシミュレーションは難しく、転倒すれば故障するので、学習用の訓練データは多数試行取れない：  
DNNは使えない

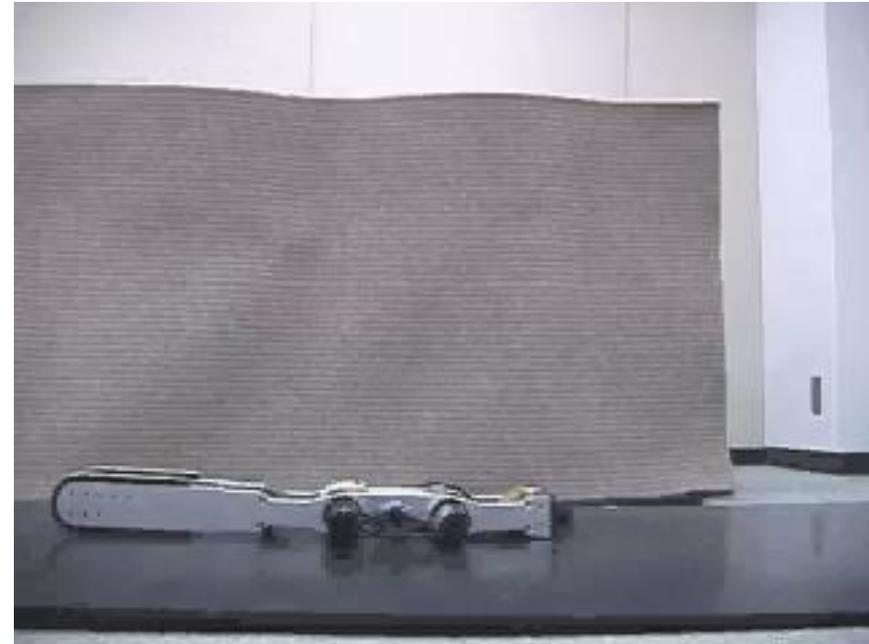


## DARPA Robotic Challenge 2015

多数は転倒、少数は恐ろしくノロイ PM Gill Pratt 新しい概念皆無!?

# ロボットの起立運動の階層強化学習 少数学習サンプル<100からの学習

森本淳、銅谷賢治



Morimoto J. and Doya K.: Acquisition of stand-up behavior by a real robot using hierarchical reinforcement learning. *Robotics and Autonomous Systems*, **36**, 37-51 (2001)

# 脳は、そして未来のAIはどのように少数サンプルからの学習を可能にするか？

汎化誤差  $e=d/(2n)$   $d$ を減少させるしかない

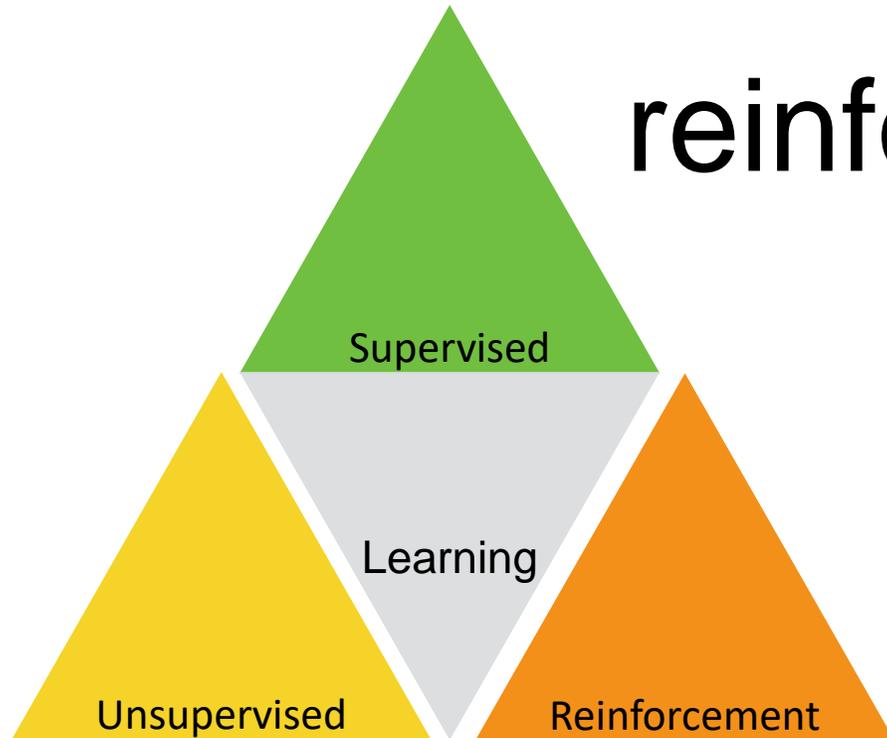
- スパース事前分布 (e.g. sparse logistic regression)
- 階層強化学習
- 神経発火の同期で  $d$ を減少
- 内部モデルのモジュラー構造(MOSAIC)
- 高次認知機能：注意、エピソード記憶、概念化、メタ認知、意識

1. Yamashita O, Sato M, Yoshioka T, Tong F, Kamitani Y: Sparse estimation automatically selects voxels relevant for the decoding of fMRI activity patterns, *NeuroImage*, **42**, 1414-1429 (2008)
2. Cortese A, De Martino B, Kawato M: Higher cognitive functions for learning from a small sample, *Current Opinion in Neurobiology*, **55**, 133-141 (2019)
3. Kawato M, Samejima K: Efficient reinforcement learning: computational theories, neuroscience and robotics. *Current Opinion in Neurobiology*, **17**, 205-212 (2007)

意識は少数個のサンプルからの学習を可能にする

# Adaptive significance of consciousness in reinforcement learning

ATR

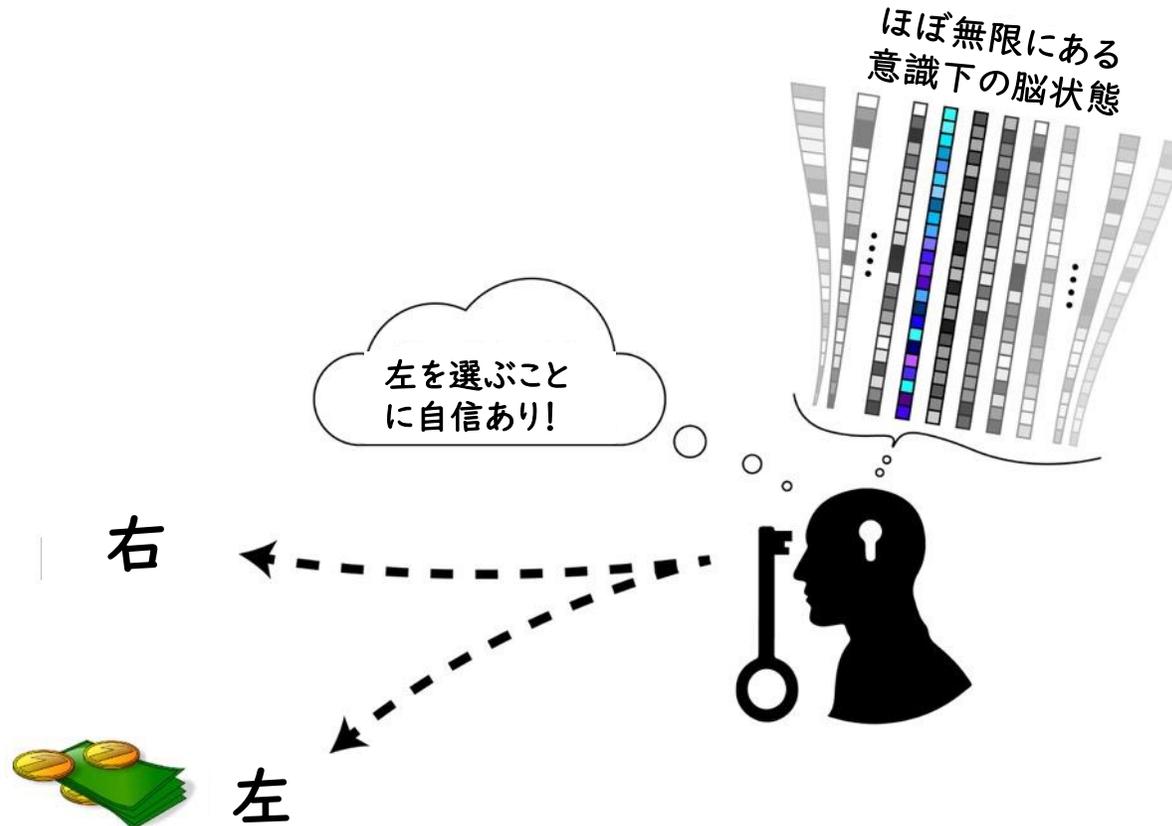


Cortese A, Lau H, Kawato M: Unconscious reinforcement learning of hidden brain states supported by confidence, *Nature Communications*, **11**: 4429, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17828-8> (2020)

# 本研究のポイント

小数個のサンプルから多次元の複雑な問題を学習する上で、  
メタ認知が重要な役割を果たしています

次世代AI学習アルゴリズムにおいてもメタ認知が重要な役割を担うことを示唆します。



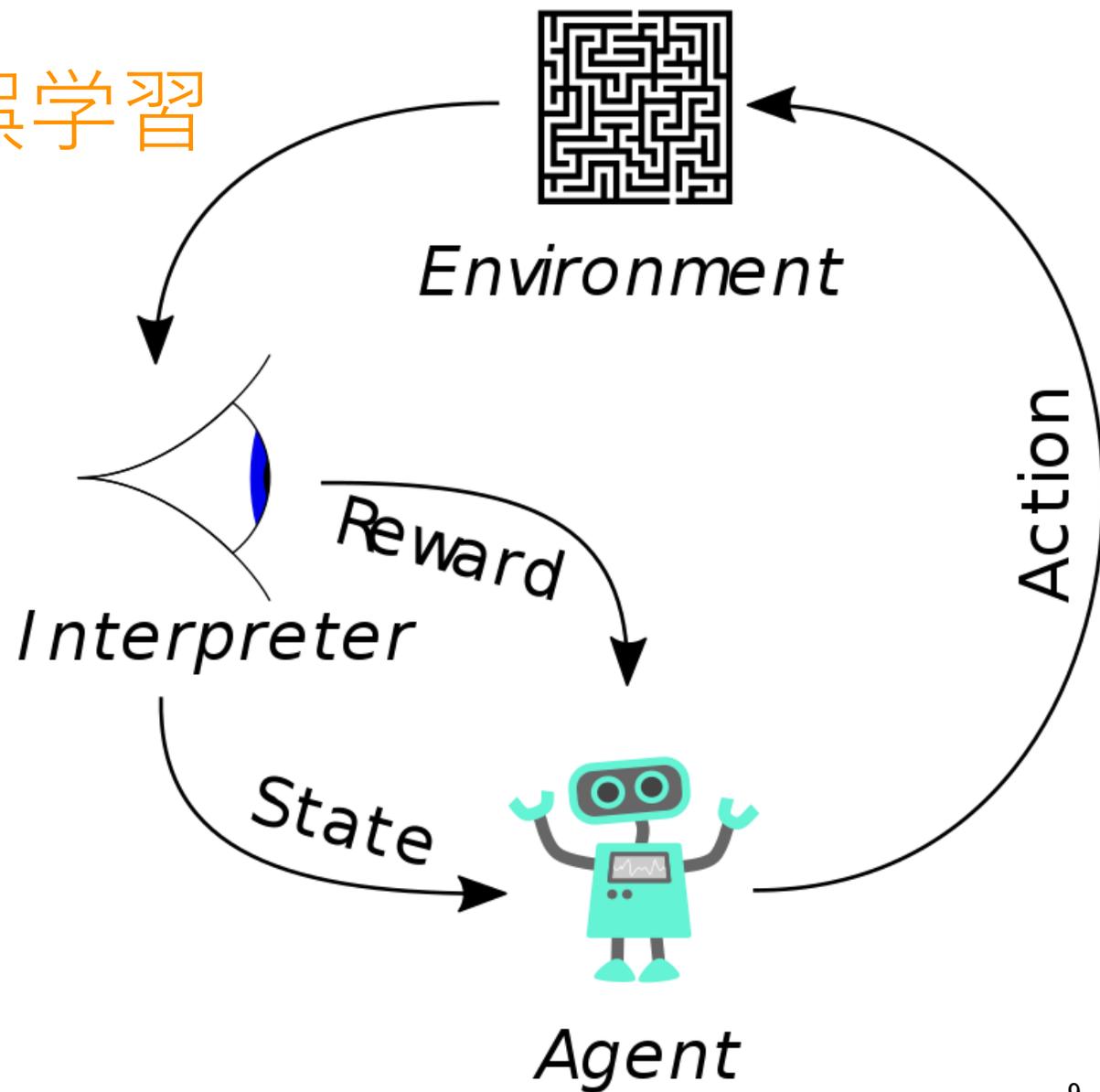
# メタ認知: 選択を監視している



強化学習:  
成功・失敗からの試行錯誤学習



メタ認知:  
行動と結果の監視

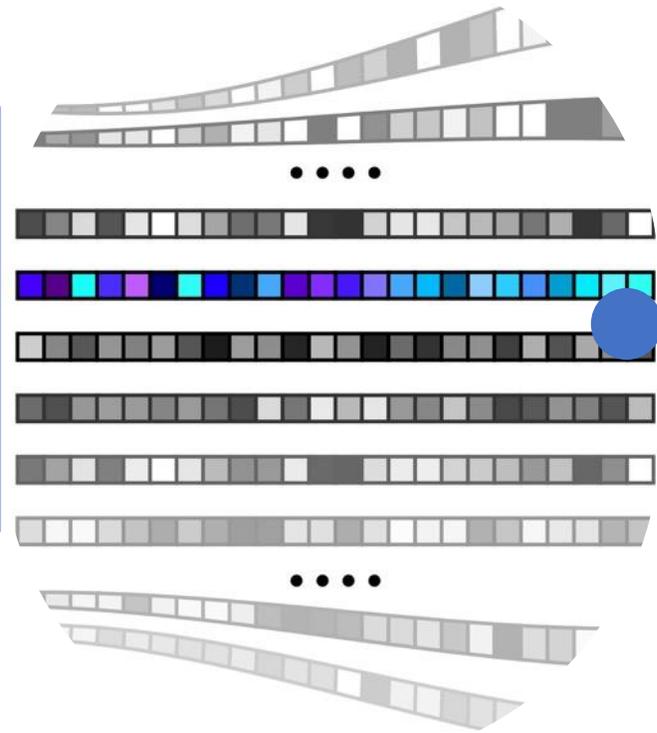
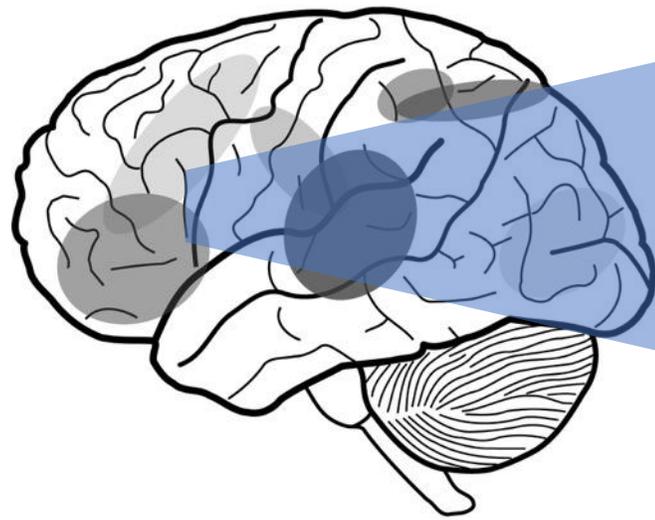


意識に上る思考

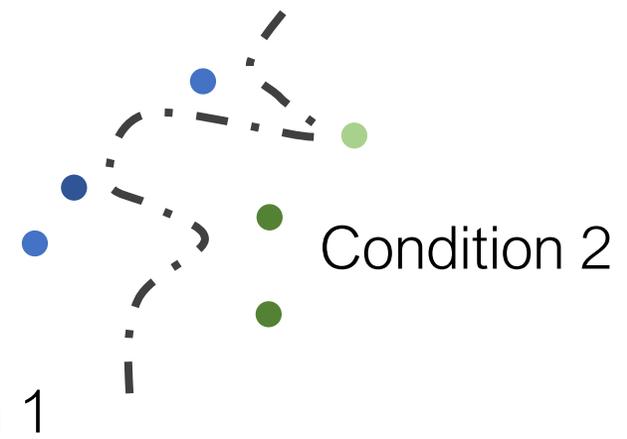
意識下の情報





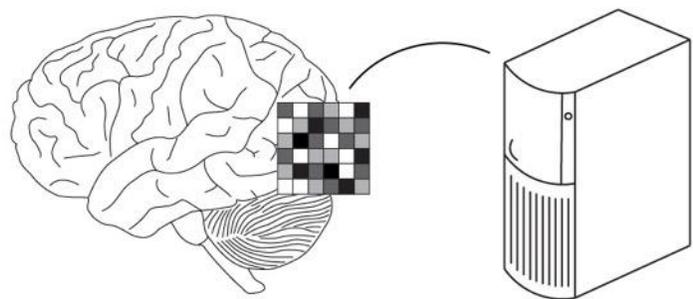


# 強化学習（ギャンブル）課題 の探索空間に脳の状態（活動 パターン）を使用

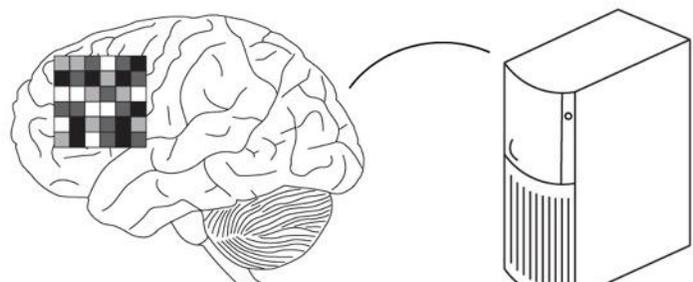


Cortese A, Lau H, and Kawato M: Unconscious reinforcement learning of hidden brain states supported by confidence, *Nature Communications*, **11**: 4429 (2020)

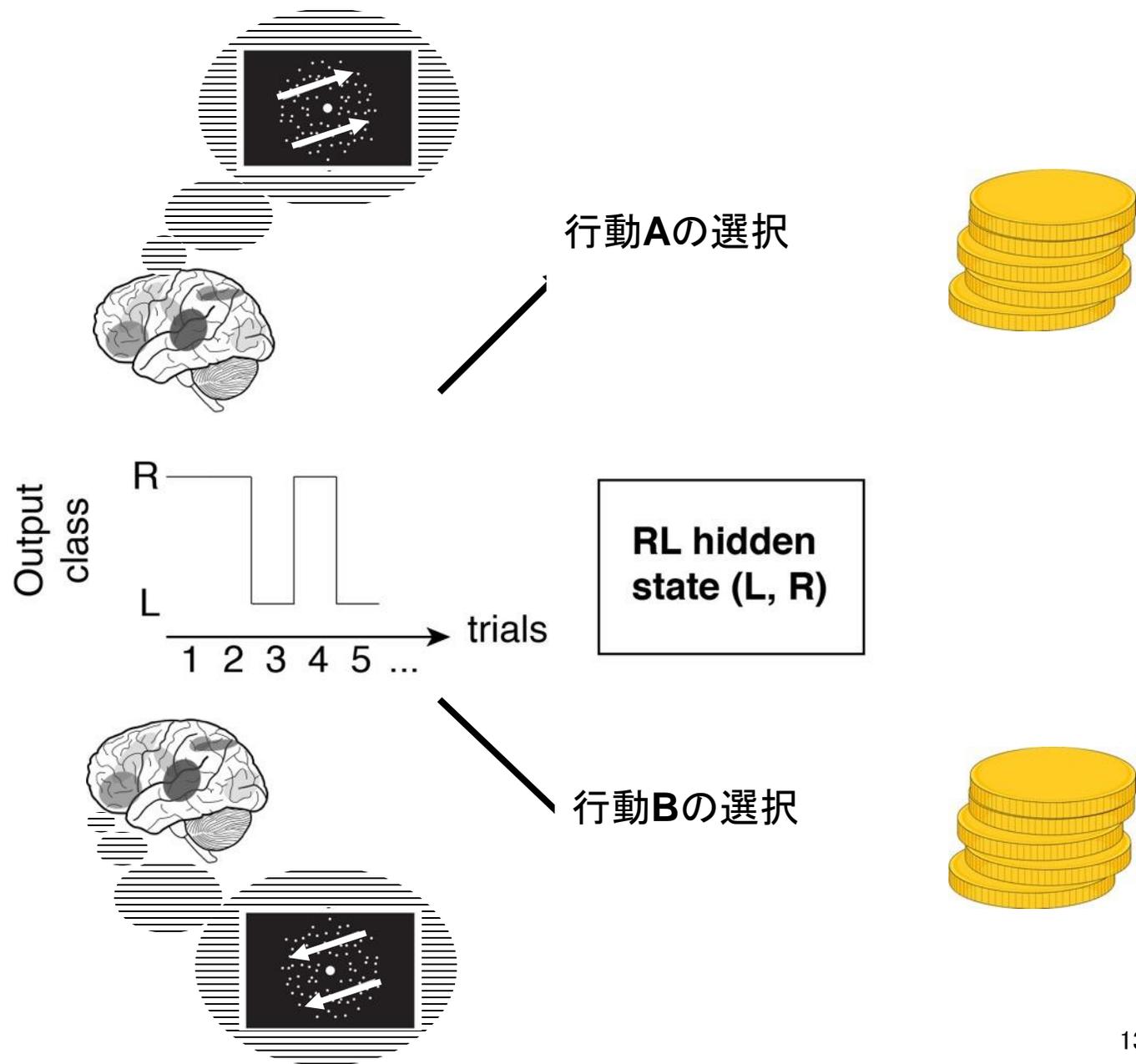
# 脳活動パターン (VC) の解読



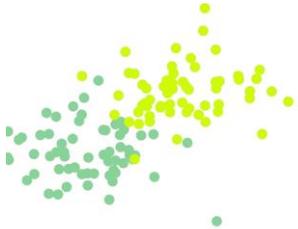
OR



# 脳活動パターン (PFC) の解読



Decoder construction



~ 1-2 week(s) interval

day 1

Resting state scan

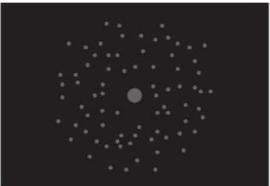
Online training



day 2

Resting state scan

Online training



day 3

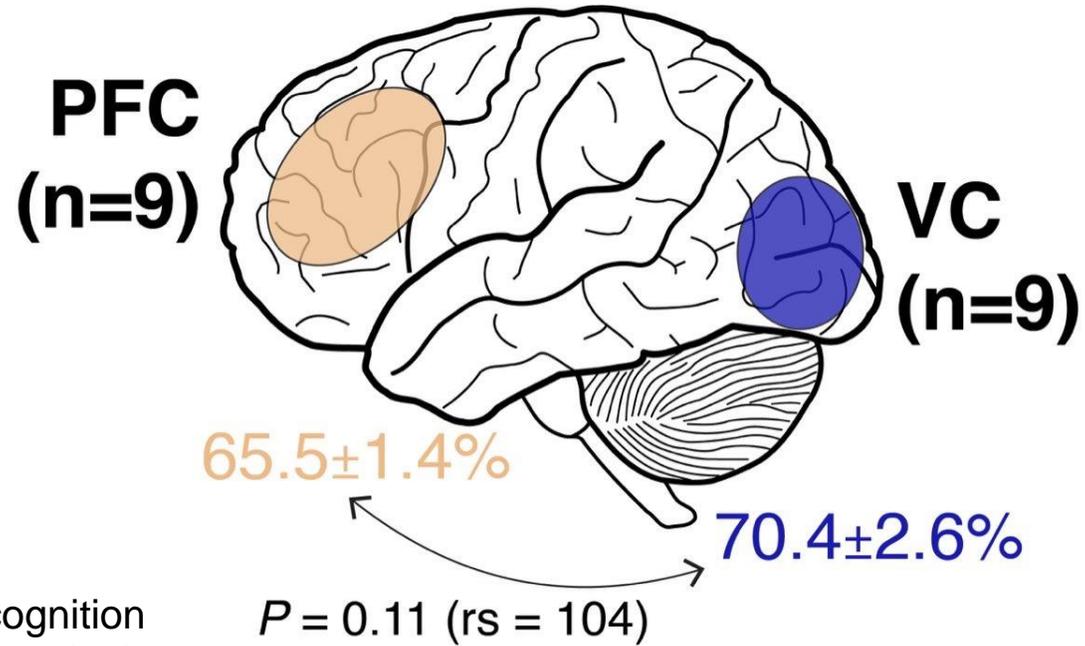
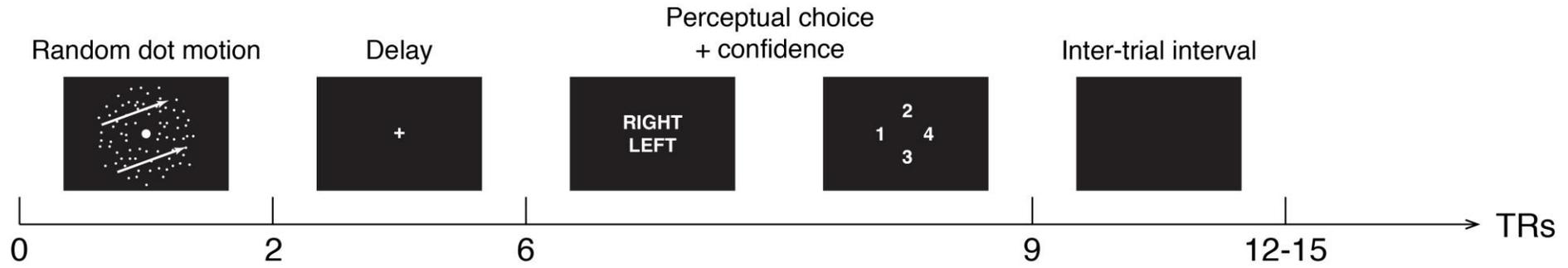
Resting state scan

Online training



Investigating {metacognition and reinforcement learning}

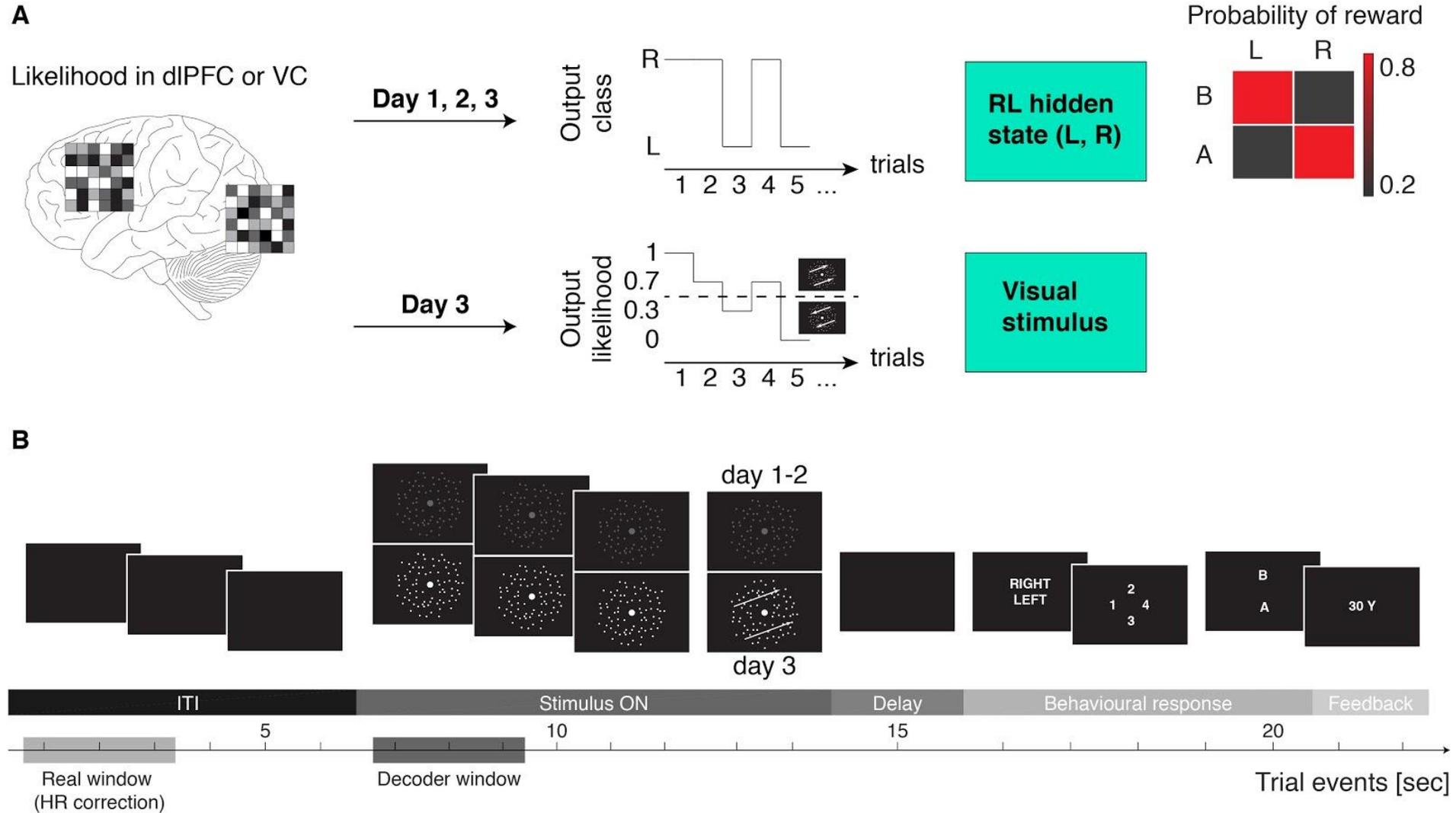
## Decoder construction



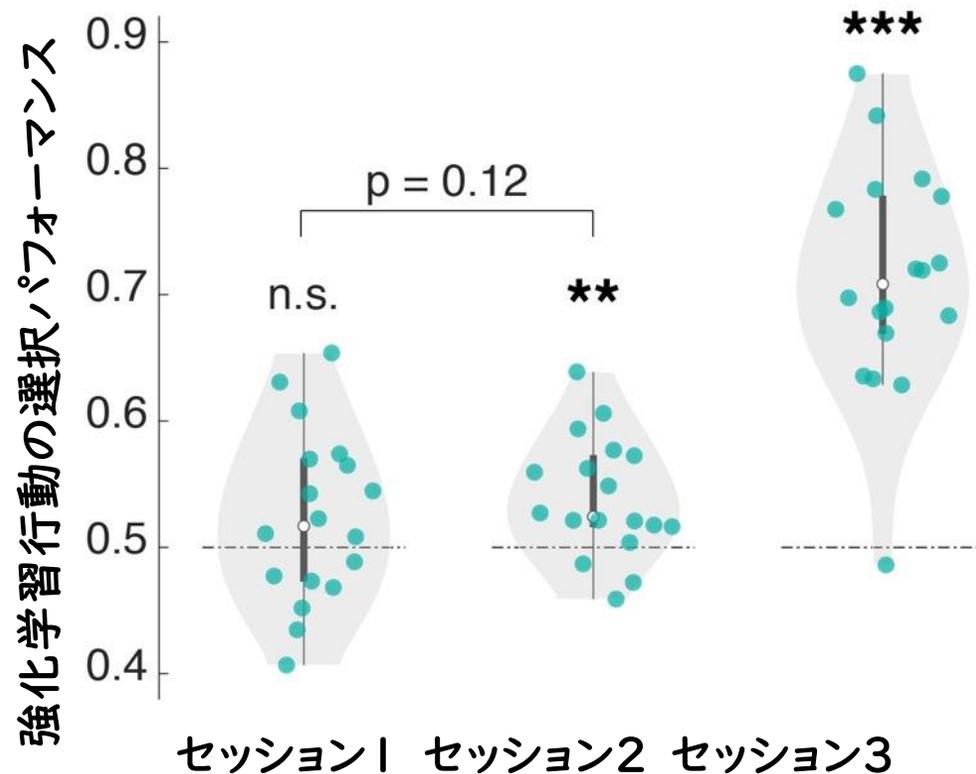
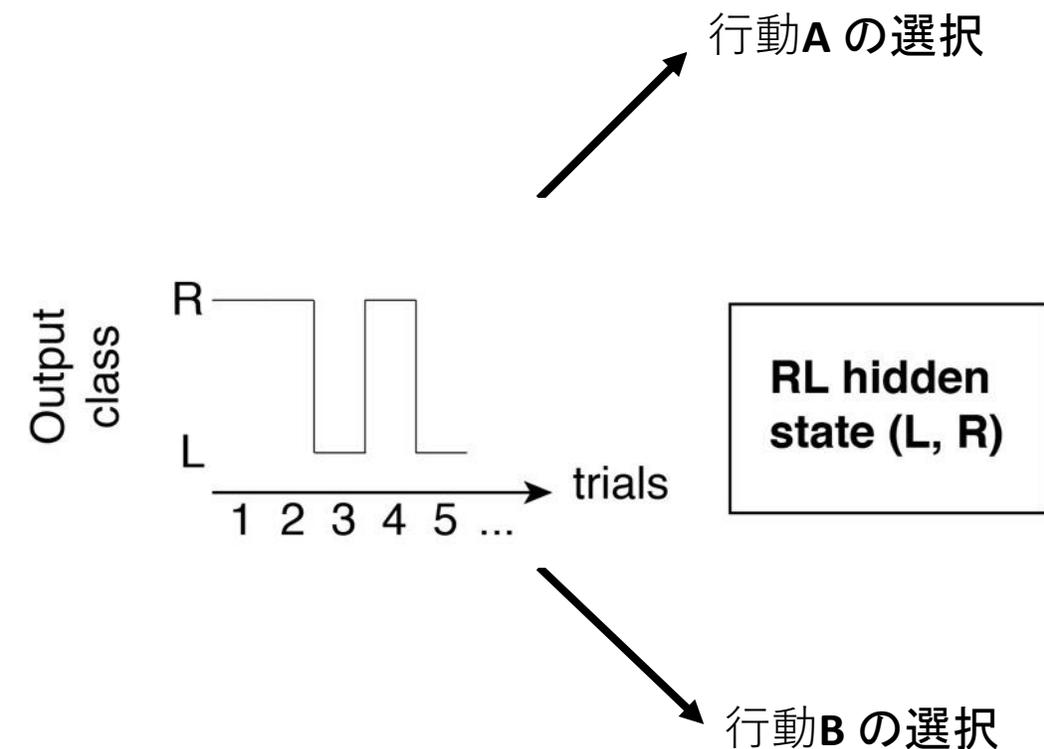
Investigating {metacognition and reinforcement learning}

# Online Decoder-based RL for 3 Days

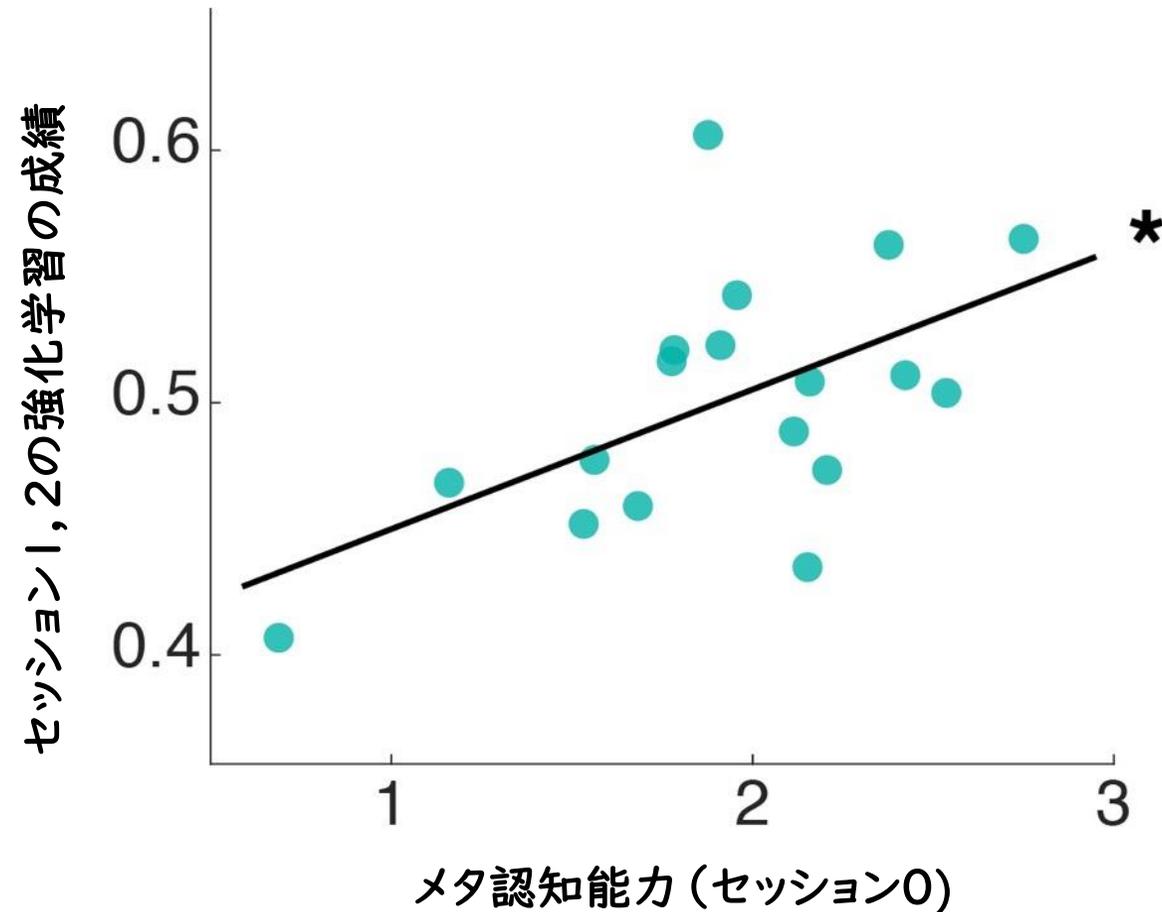
## ~ DecNef like Reinforcement Learning



# 被験者は報酬につながる最適な行動を選択できるように学習し

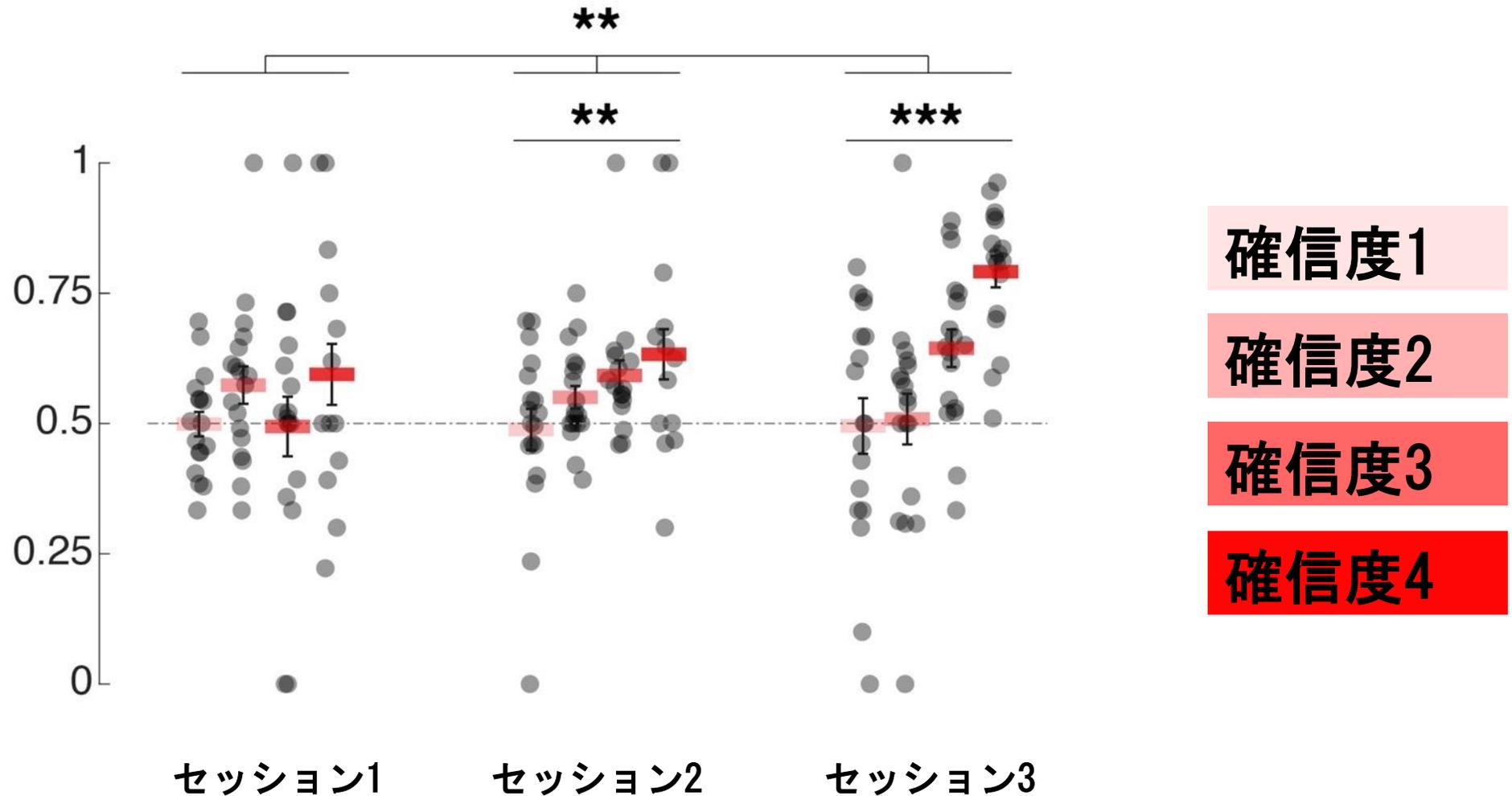


# メタ認知能力は被験者の強化学習能力を予測している

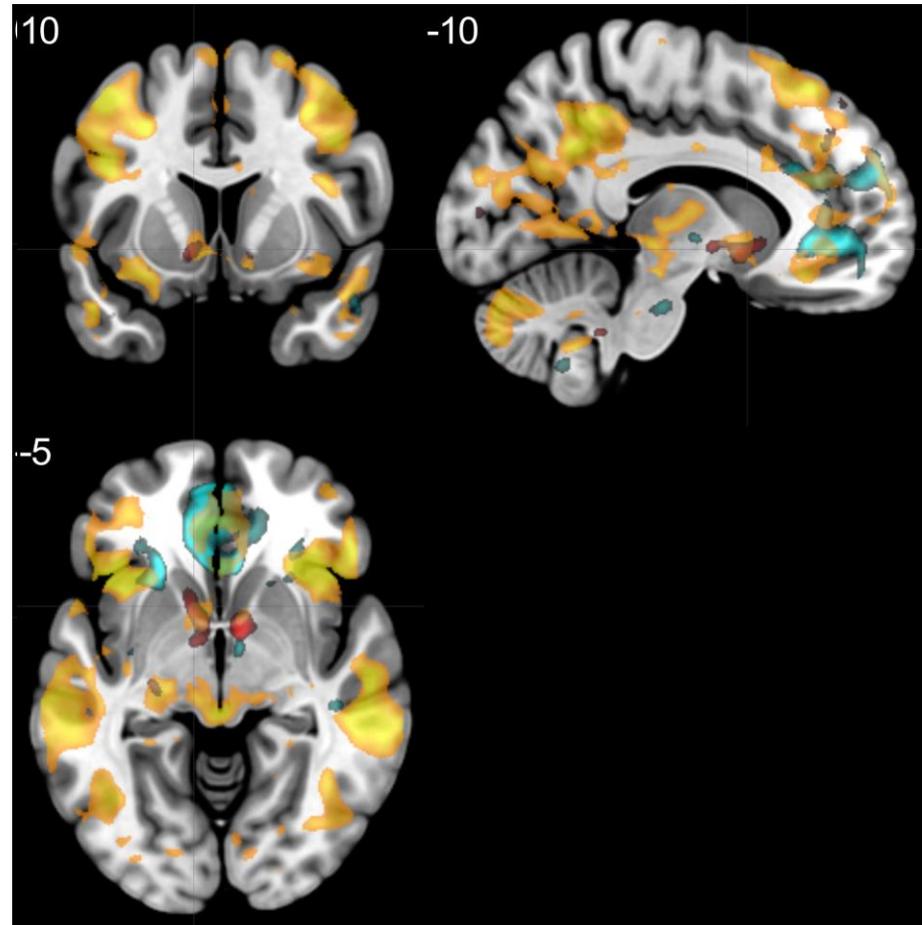


# 確信度が高い試行ほど正しい行動を選択できている

## 強化学習行動の選択の成績



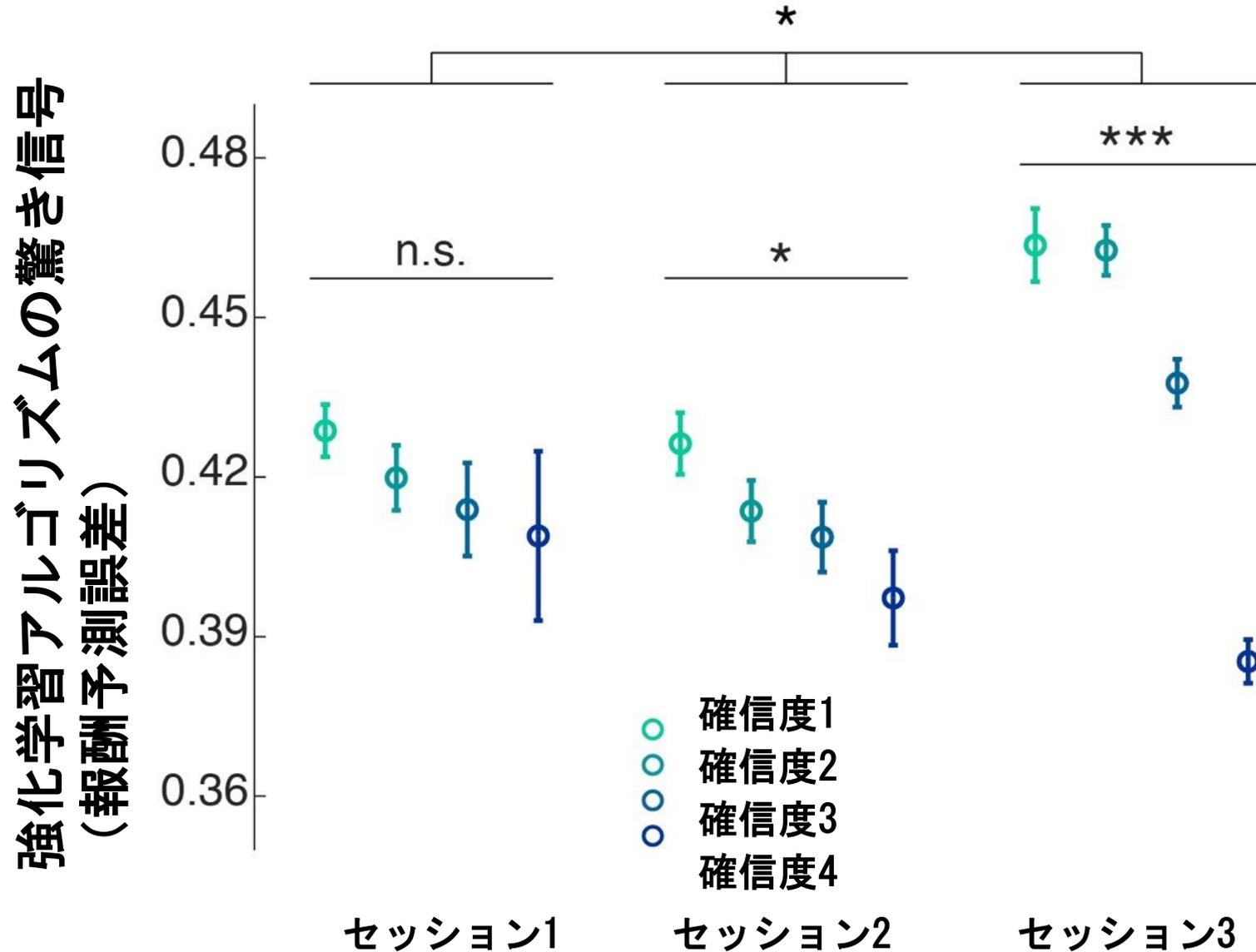
# 強化学習の報酬予測誤差と相関する脳部位



P < 0.005 uncorrected

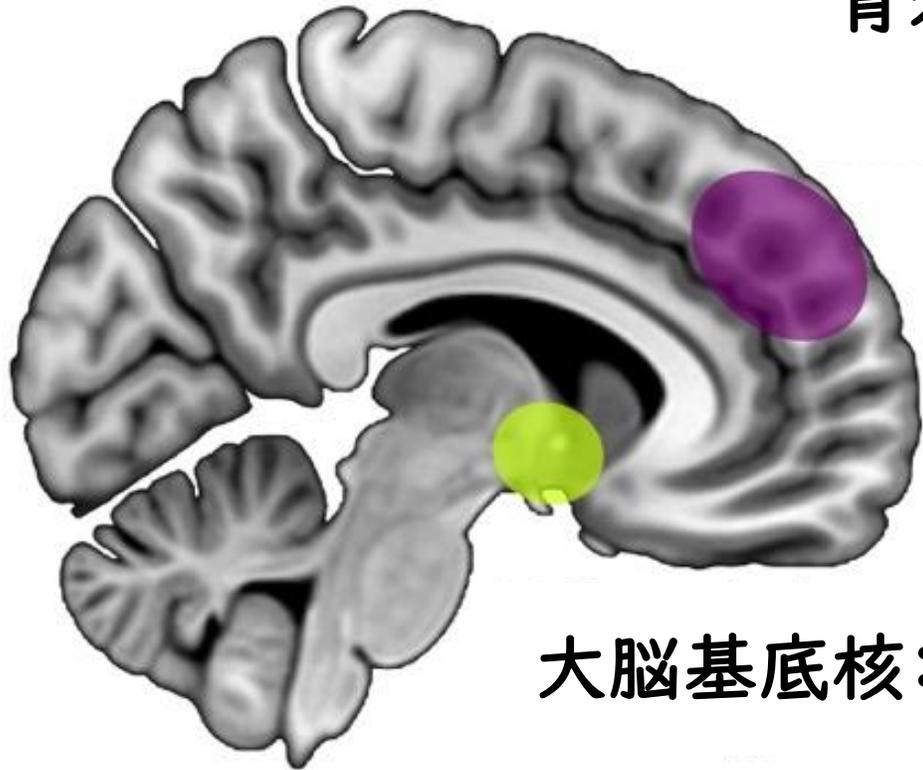
$$Q_{sb}(s_t, a_t) \leftarrow Q_{sb}(s_t, a_t) + \alpha_{sb} \cdot (r_t - Q_{sb}(s_t, a_t))$$

# 確信度が高いと、報酬予測誤差は小さい、 つまり強化学習が進んでいる

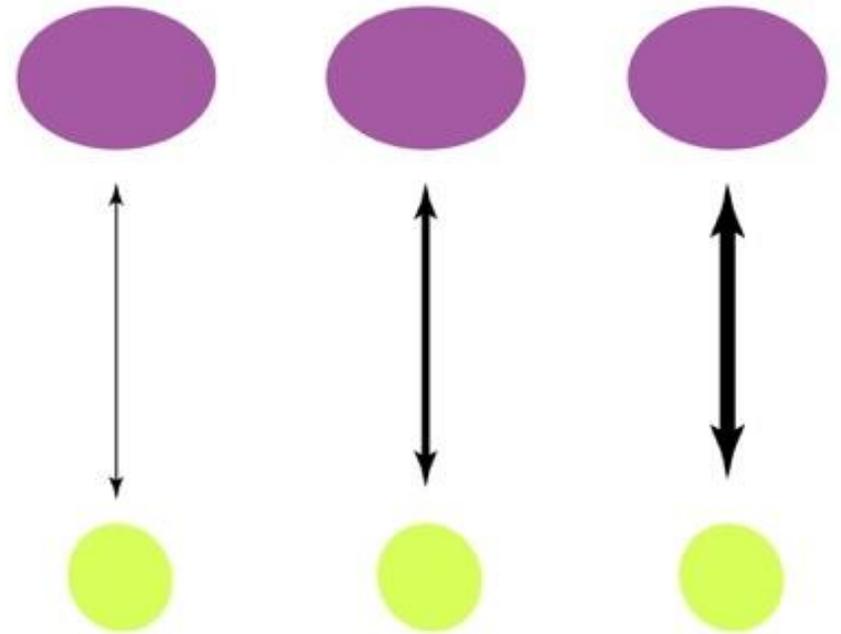


# 背外側前頭前野と大脳基底核の情報結合増加

背外側前頭前野:  
確信度



大脳基底核: 強化学習



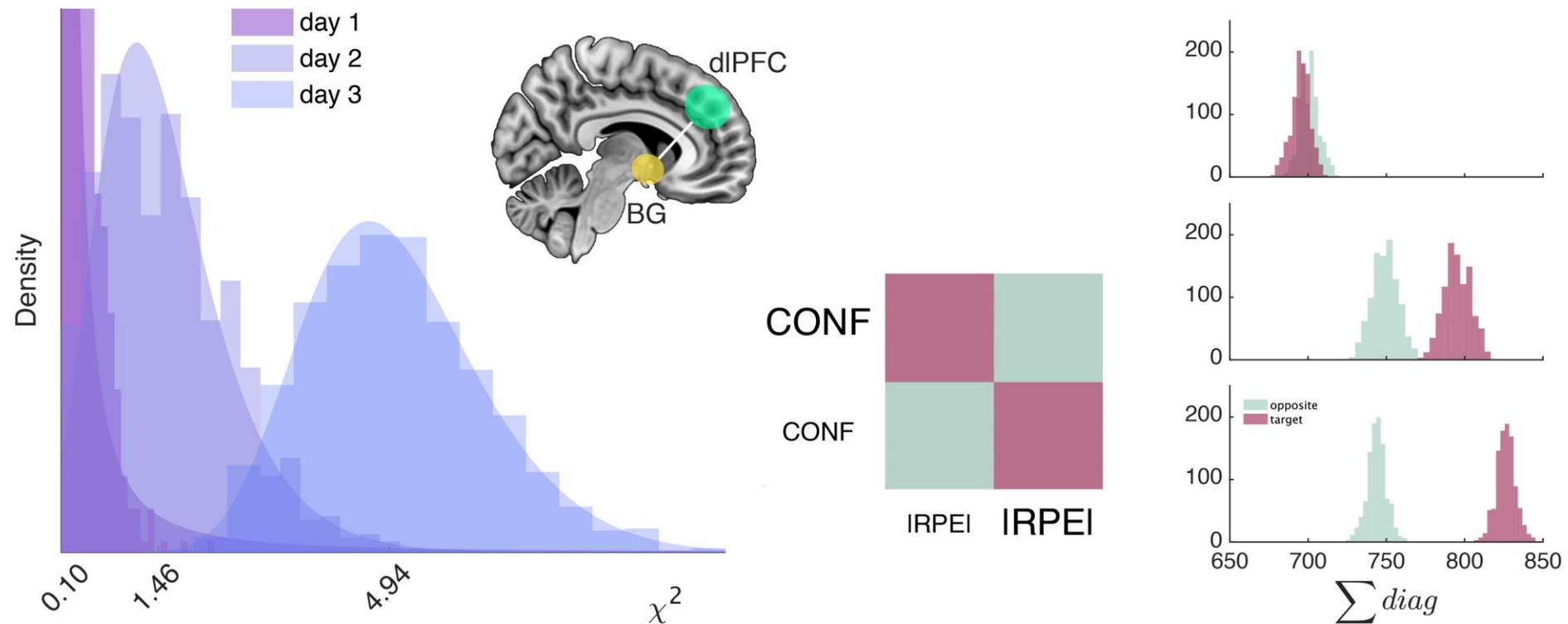
セッション1  
弱

セッション2  
中

セッション3  
強

# 前頭前野と基底核で試行毎の メタ認知と強化学習の情報が関連している

前頭前野では自信を多ボクセルパターンから解読  
基底核では報酬予測誤差を多ボクセルパターンから解読  
その両者が自信が高い程、報酬予測誤差が小さい、つまり  
学習が進んでいるという関係がある



# 少数サンプルからの学習

- 遺伝情報に頼れない状況で、ヒトは確かに、 $10^{10}$ 乗オーダーの大規模問題を数百試行のうちに試行錯誤で解ける
- 階層的強化学習が進行している
- 探索空間の絞り込みが起きている
- 意識と深い関係にあるメタ認知（自信）が前頭前野で表現され、それが大脳基底核の報酬予測誤差と同期する
- 少数サンプルの学習に、意識、抽象化が本質的な役割を果たすことが示唆された