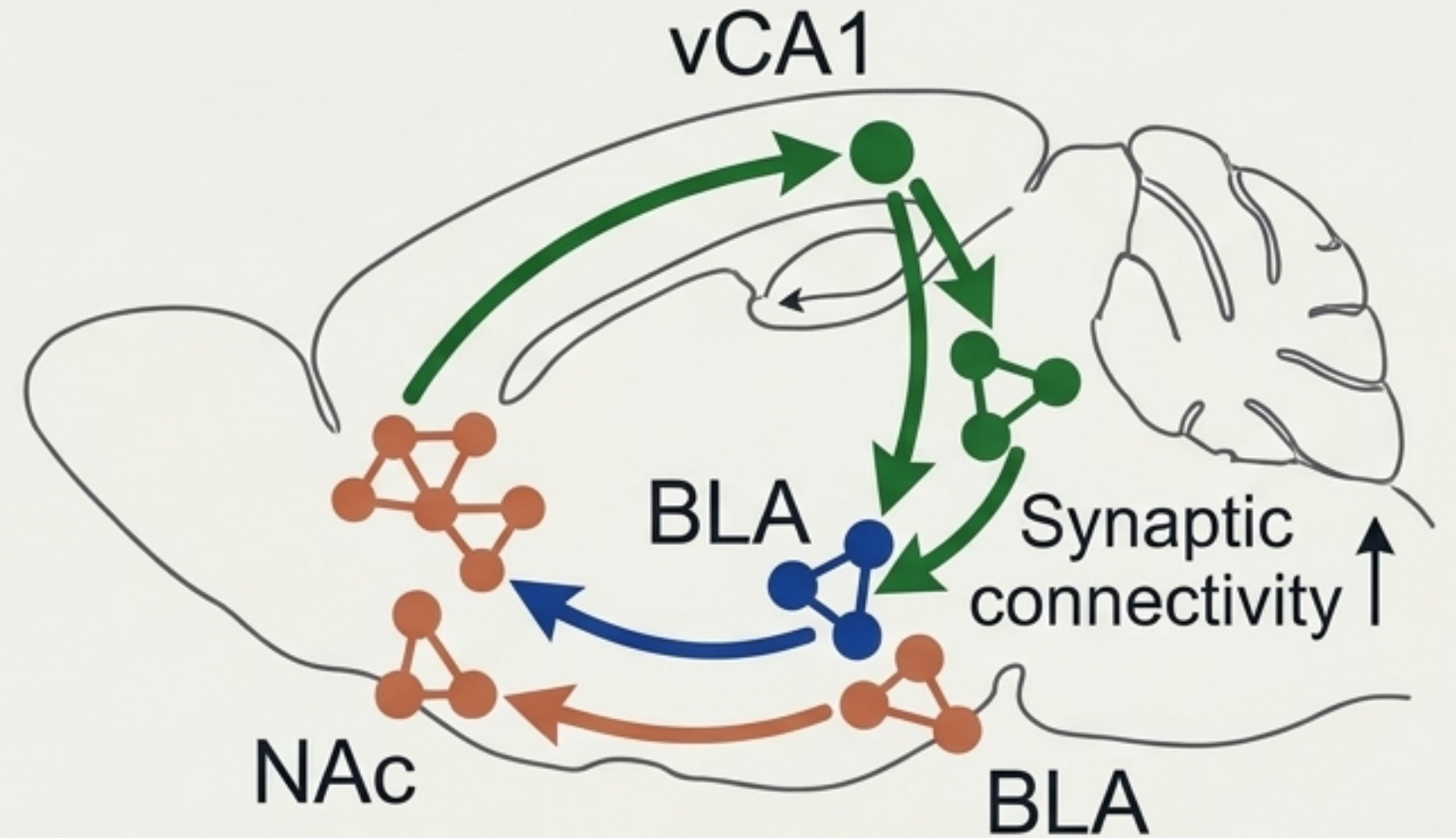


社会性記憶における感情価更新の神経回路

親しい仲間が「敵」に変わる時、
脳内で何が起こっているのか？



柔軟な感情価の更新（Valence Updating）は、記憶と行動を直接結ぶ経路ではなく、海馬から扁桃体、側坐核に至る「特定の間接回路」に依存している。これにより、相手のアイデンティティ（誰であるか）の記憶を保持したまま、その相手に対する行動（避けるべきか）だけを動的に変化させることが可能になる。

Positive/Neutral - 汎化された親和性



社会的動物は、過去の相互作用に基づいて個体を見分け、それぞれに「感情価 (Valence)」を割り当てる。

Negative Update - 特異的社会的回避



関係性が変化した時、特定の個体に対する感情価を更新する必要がある。

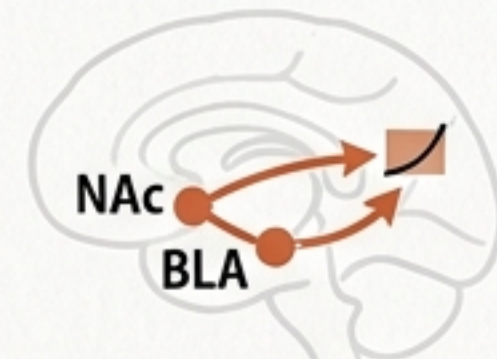
汎化された回避 (Generalized Avoidance)

見知らぬ個体からの敗北による、相手を問わない回避（うつ病や社交不安のモデル）。

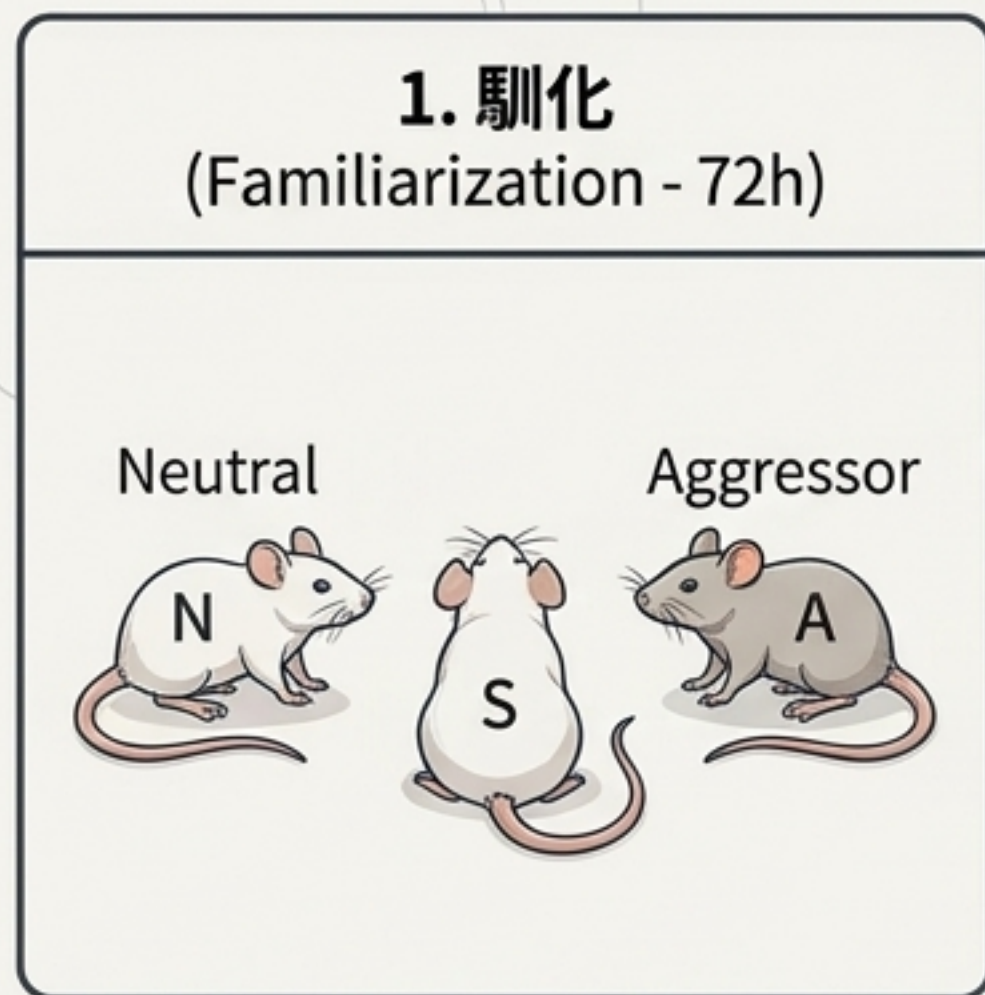


特異的社会的回避 (Specific Social Avoidance)

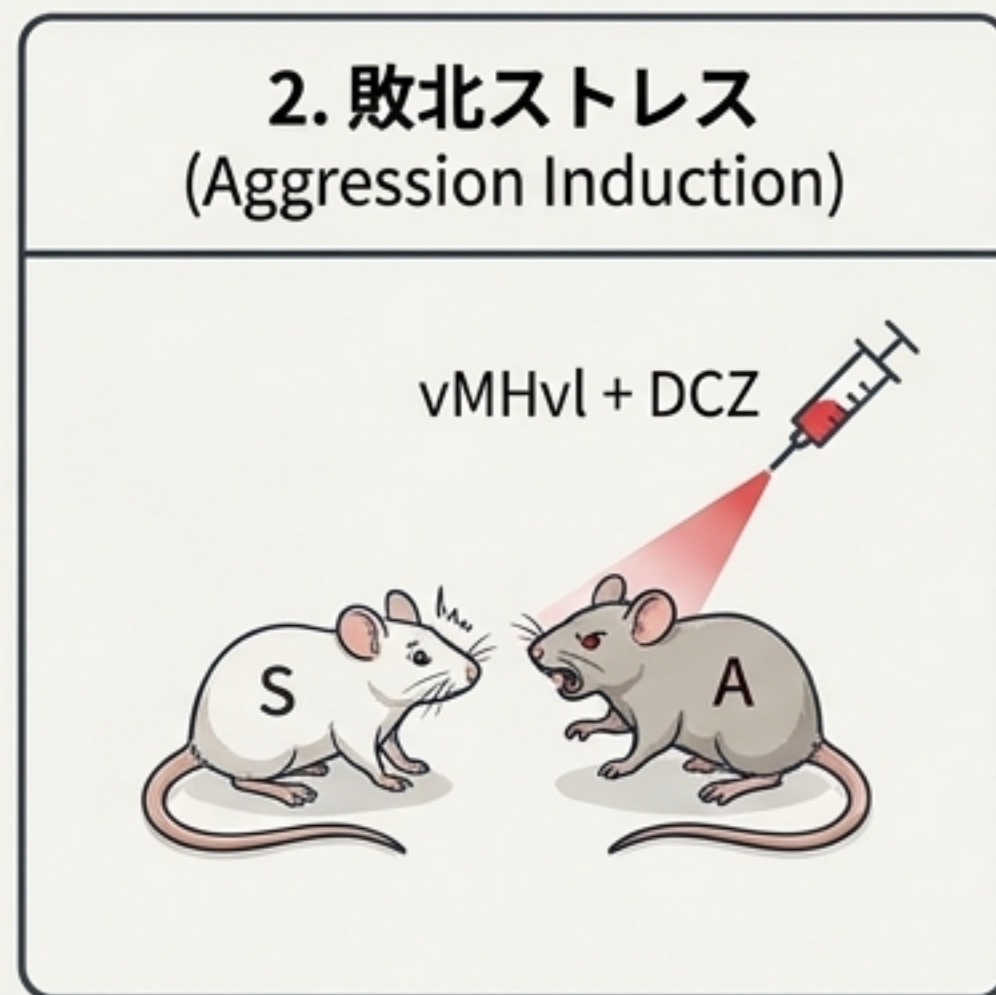
既知の個体からの敗北による、その特定の個体のみをターゲットとした回避。



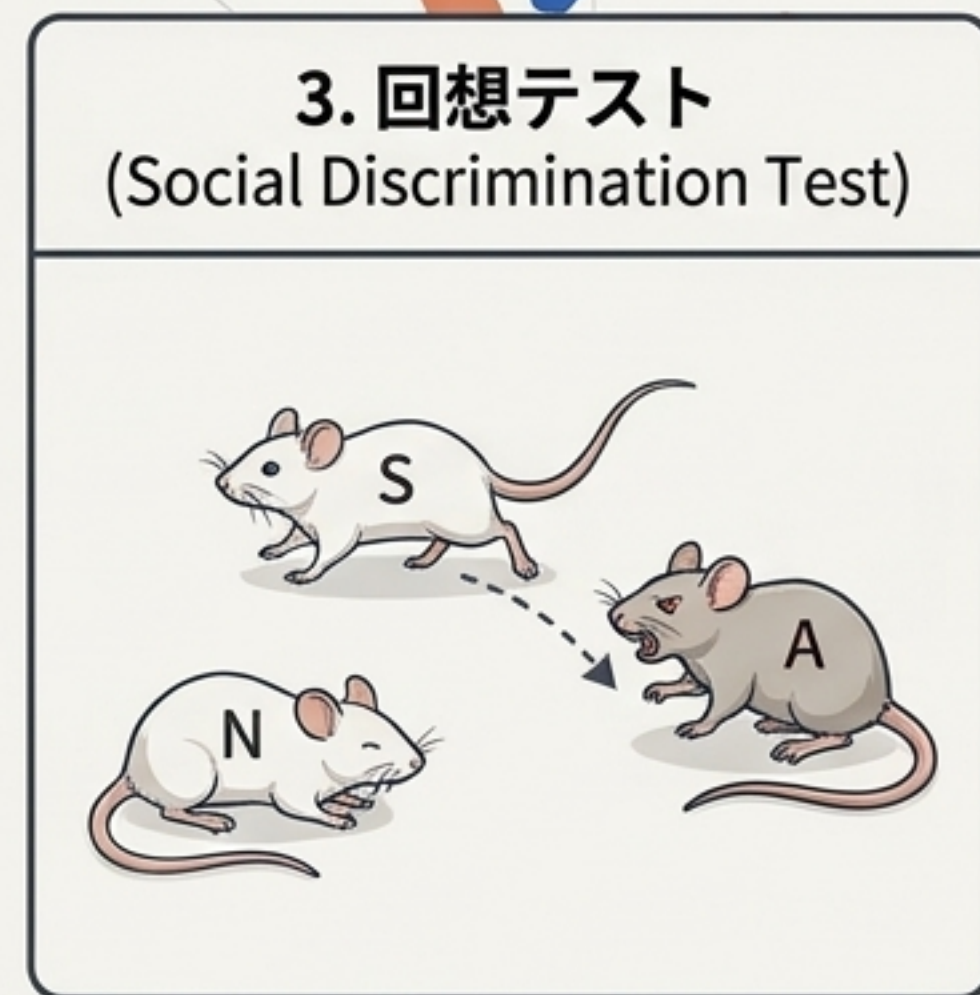
■ 本研究の焦点は、この「特定の記憶」に対する感情価の書き換えプロセスである。



72時間の事前同居により、両者の社会的記憶を形成する。



化学遺伝学的手法（DREADD）を用い、一方のなじみの個体（A）の人為的な攻撃性を誘発。

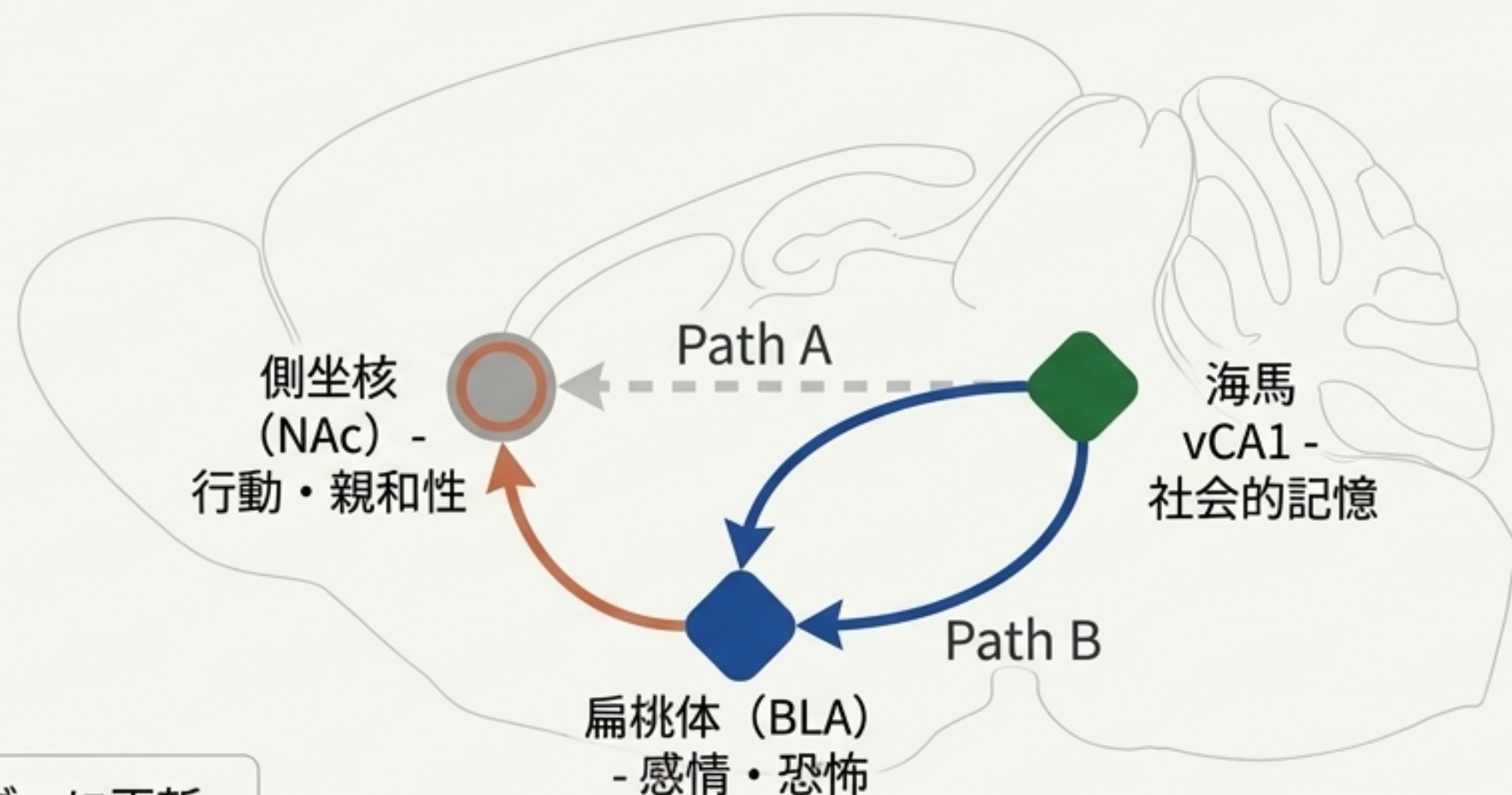


特定の攻撃者のみを選択的に回避する。

最重要ポイント：この「特定の回避行動」は、事前の記憶形成（Familiarization）があった場合にのみ発生する。見知らぬ個体からの攻撃では、すべてを避けるようになってしまう。

記憶はどのルートを通して行動を変えるのか？

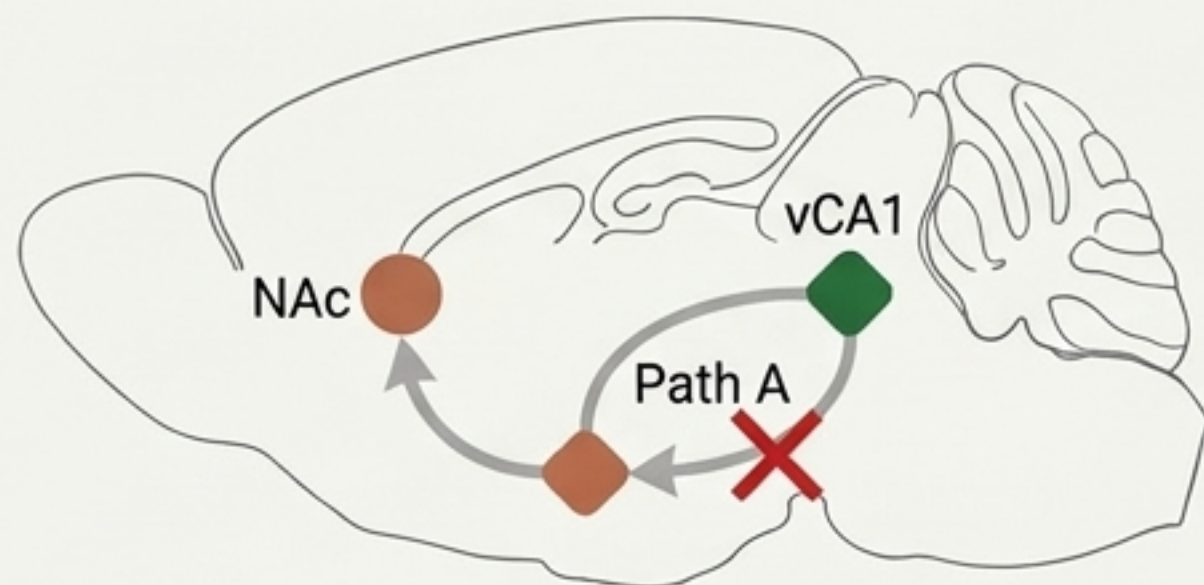
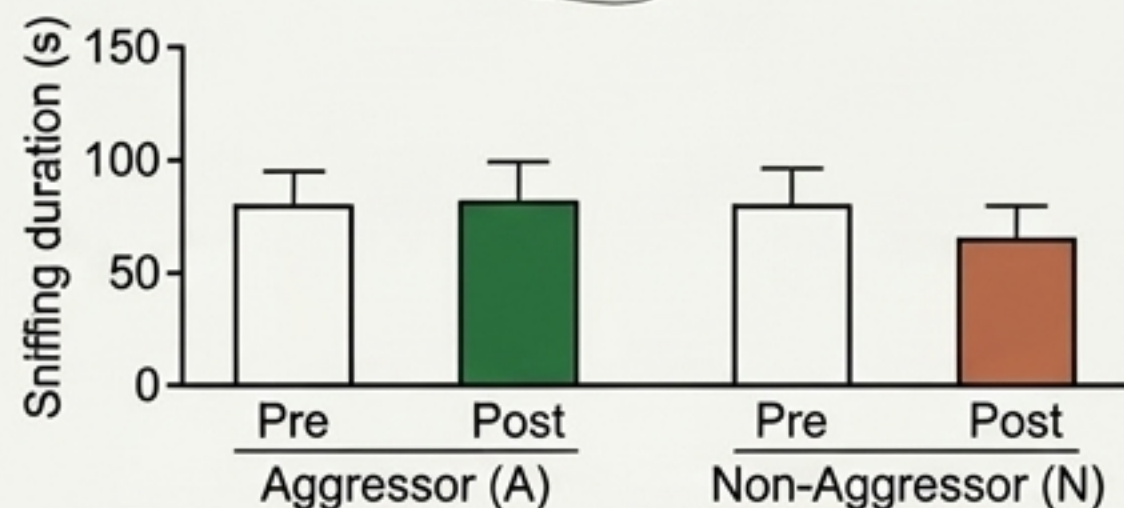
vCA1ニューロンは社会的記憶を保持し、通常は側坐核 (NAc) への直接経路を通じて「親近感」に基づく行動を駆動する。



- ② The Core Question: 感情価が「ネガティブ」に更新された時、脳は直接経路 (vCA1→NAc) を上書きするのか？それとも、扁桃体を経由する間接経路 (vCA1→BLA→NAc) を使用するのか？

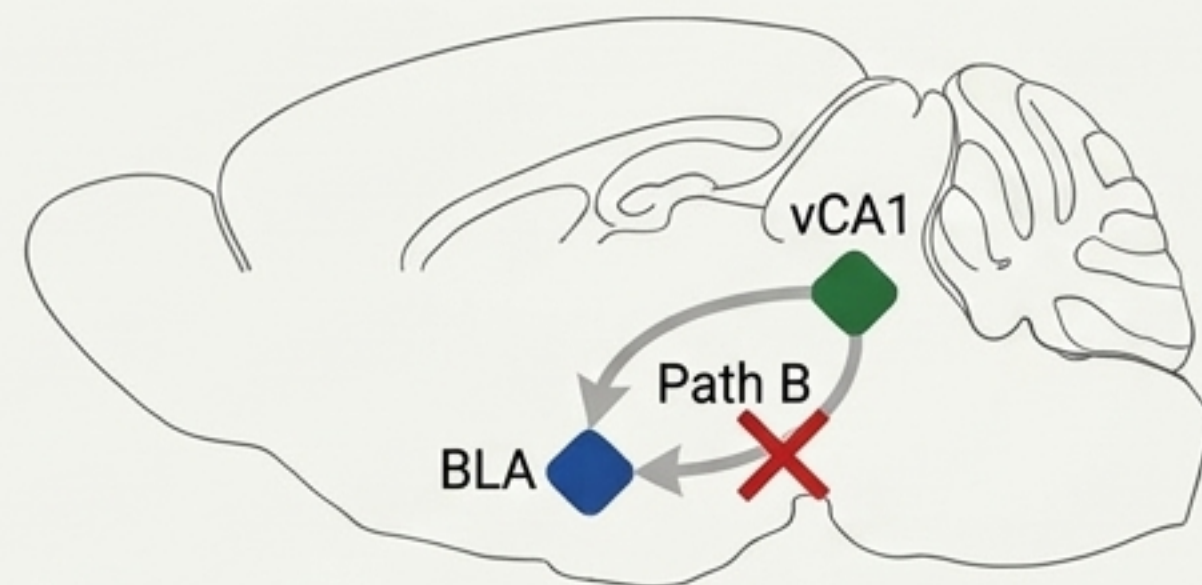
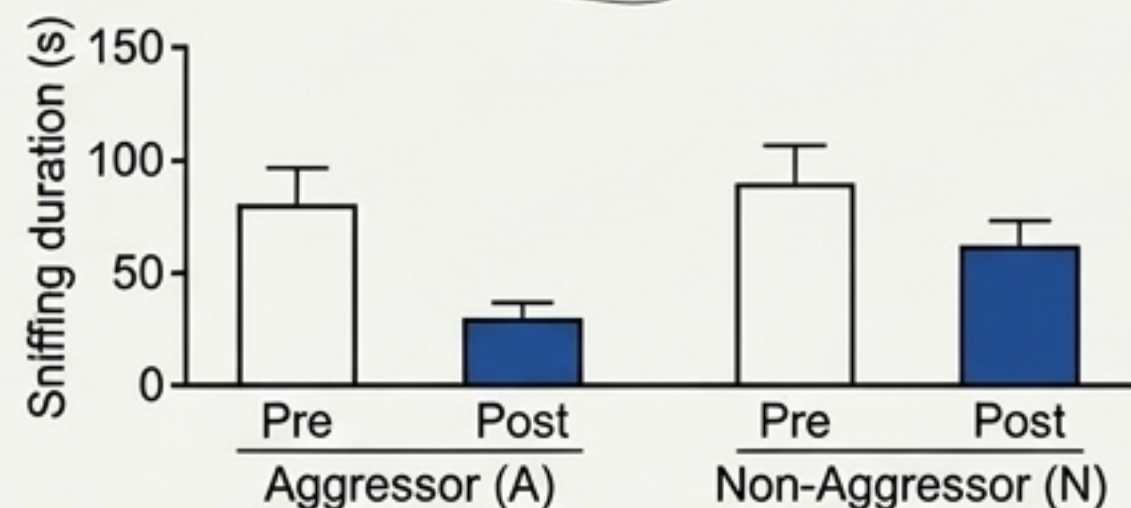
直接経路の除外：シグナルは扁桃体（BLA）を経由する

vCA1 → NAc Inhibition



vCA1-NAc経路を光遺伝学的に阻害しても、攻撃者に対する特定の回避行動は無傷のままだった。

vCA1 → BLA Inhibition

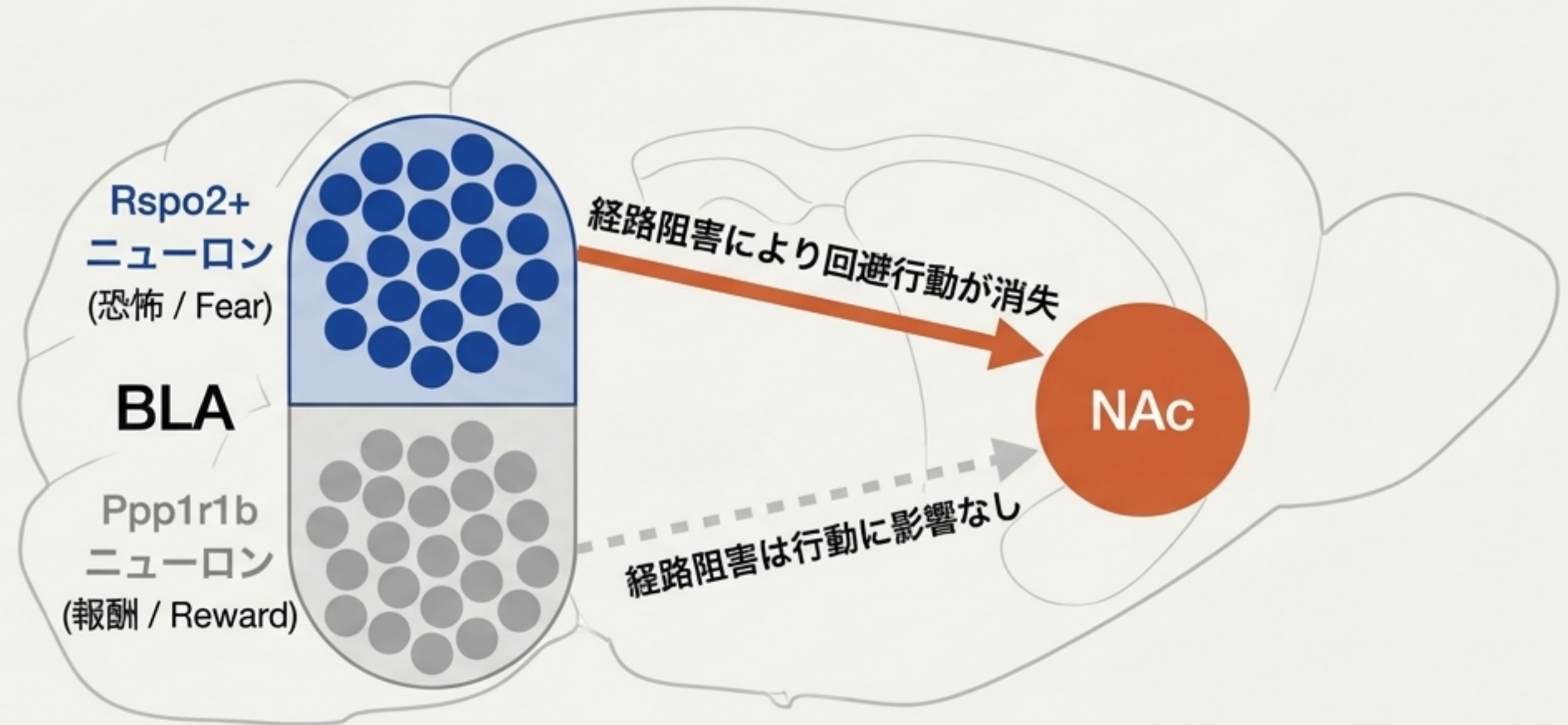


vCA1-BLA経路を阻害すると、更新されたネガティブな記憶を呼び出せず、回避行動が完全に消失した。

結論：直接的な「親近感」回路は感情価の更新には関与しない。
記憶のシグナルは、必ず扁桃体（BLA）を経由しなければならない。

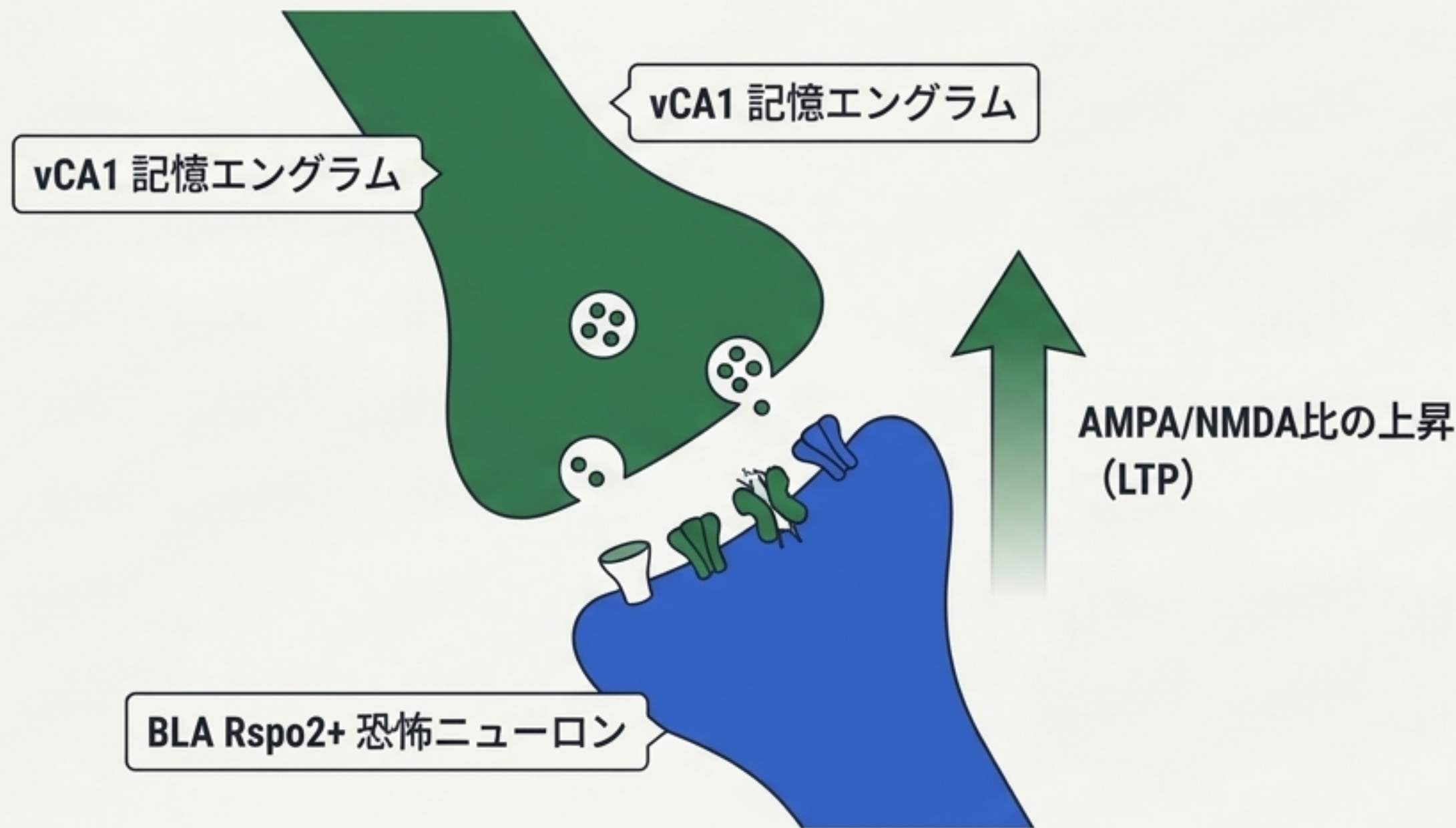
扁桃体から側坐核へ：恐怖ニューロンの特異的役割

- BLA内のRspo2陽性(恐怖)ニューロンからNAcへの経路を阻害すると、回避行動が消失する。
- 一方、報酬を司るPpp1r1b経路の阻害は行動に影響を与えない。



vCA1 → BLA(恐怖) → NAc という完全な間接回路が、特定の社会的回避行動の実行に不可欠である。

感情価の書き換えメカニズム：シナプス可塑性



🔗 結合の強化

敗北ストレス後、特定の記憶エンGRAMから恐怖ニューロンへのシナプス結合が物理的に強化される。

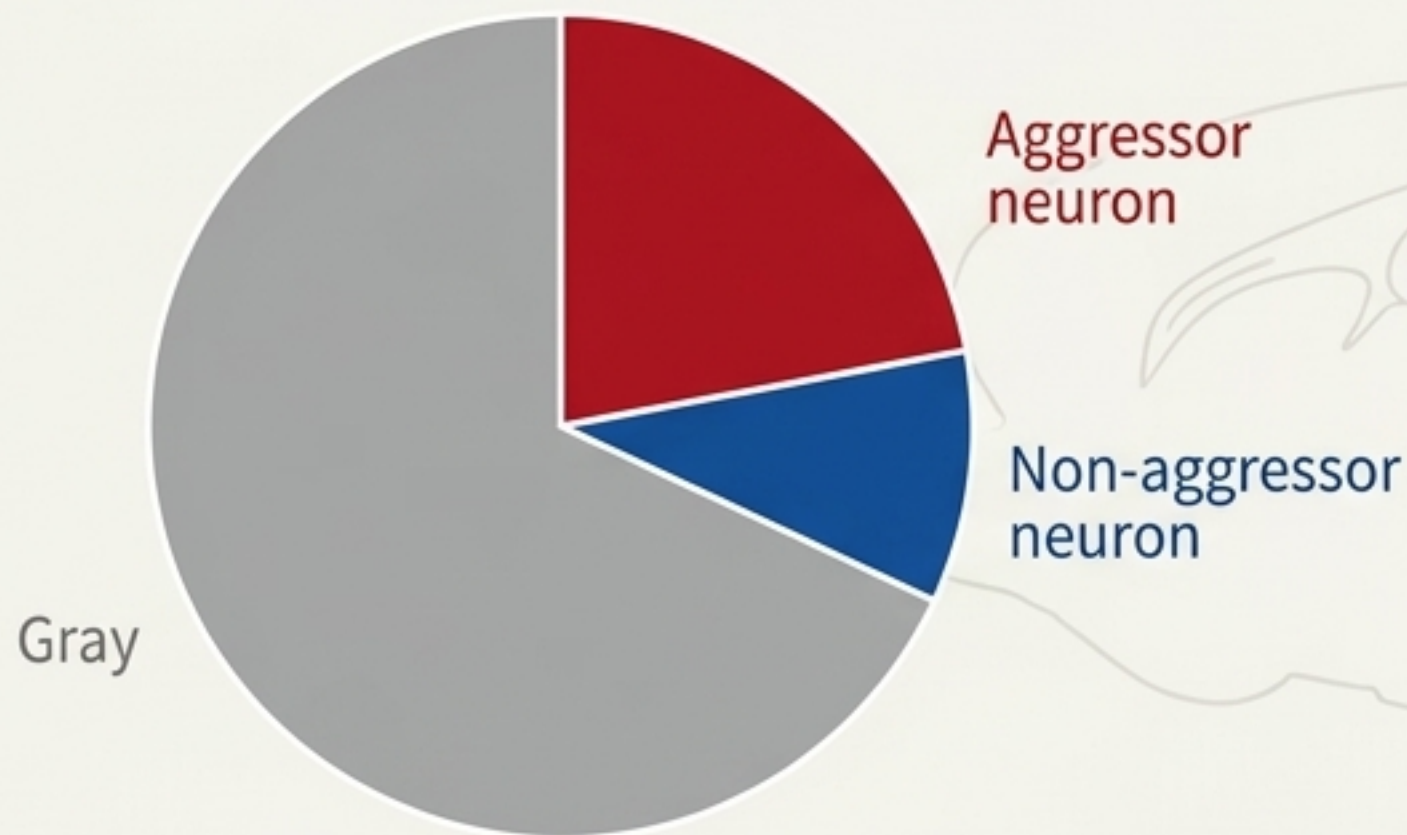
🔍 消去の証明 (Optical-LTD)

光遺伝学的手法（1Hzの光刺激）を用いてこのシナプス結合を人為的に弱める（LTD）と、学習された回避行動は完全に消去される。

「親しい仲間」が「敵」になる現象は、海馬の特定の記憶細胞と、扁桃体の恐怖細胞間のシナプス強度の変化として物理的に脳内に書き込まれる。

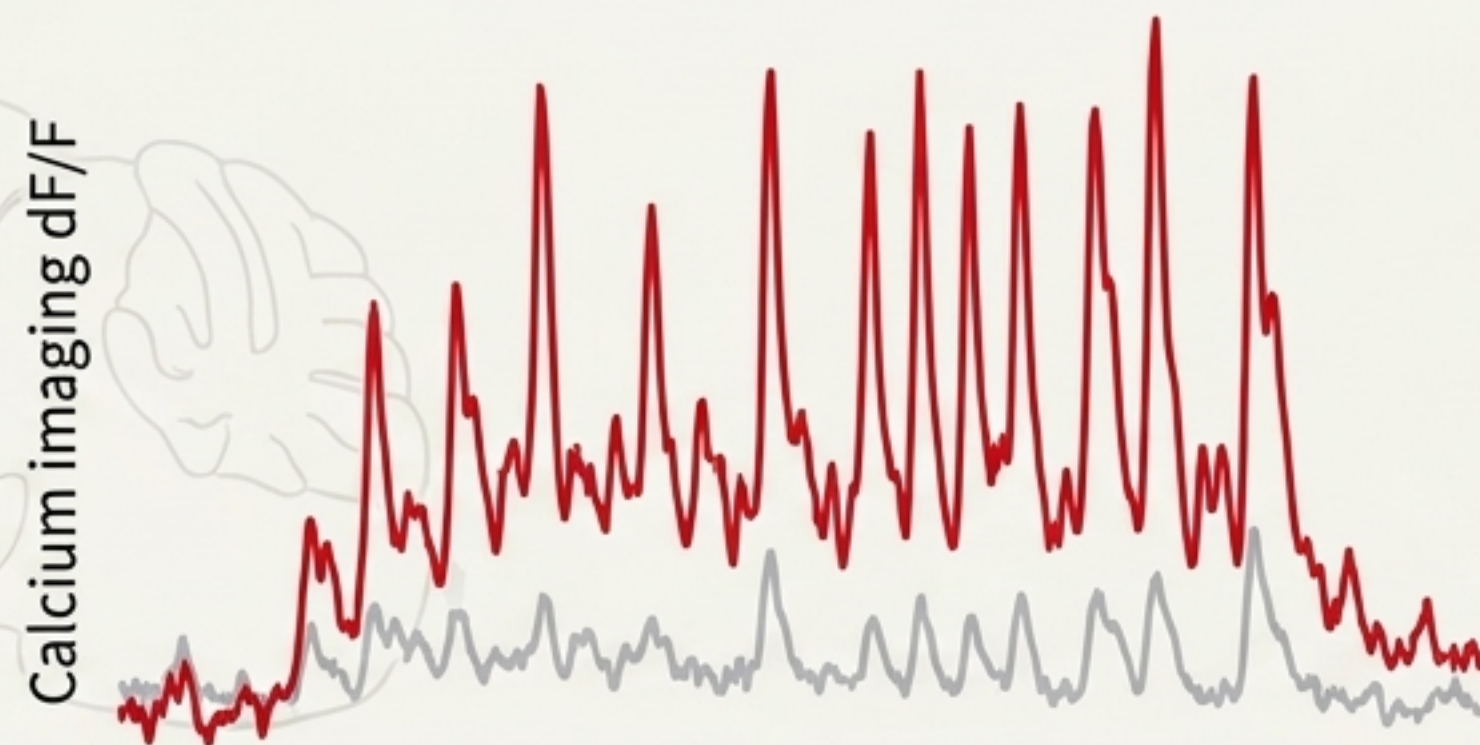
扁桃体 (BLA) のコード変換：発火頻度による表現

応答する細胞の割合は変化しない



動的なレート・コーディング (Rate Coding) :
BLAのRspo2+ニューロンは、応答する細胞の「数」や「割合」を変えるわけではない。

個々の細胞の発火強度が激増する



敗北後、同じ細胞集団が、攻撃者に対してのみ特異的に強い発火（活動の強度の増加）を示すようになる。

ここでは「誰であるか」のアイデンティティは保たれたまま、そのシグナルが増幅されている。

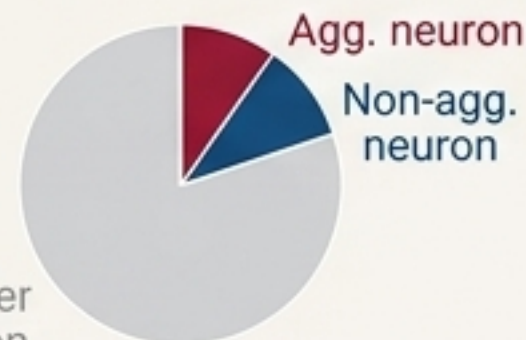
側坐核 (NAc) のコード変換：集団の再編成と同期発火

NAc D1R ニューロン

Calcium



Neither
neuron

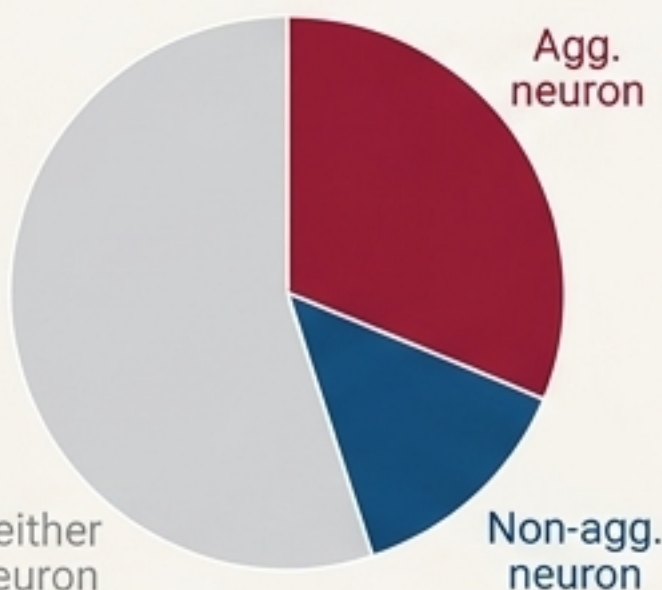


敗北前後で応答に変化なし。
感情価の更新には関与しない。



NAc D2R ニューロン

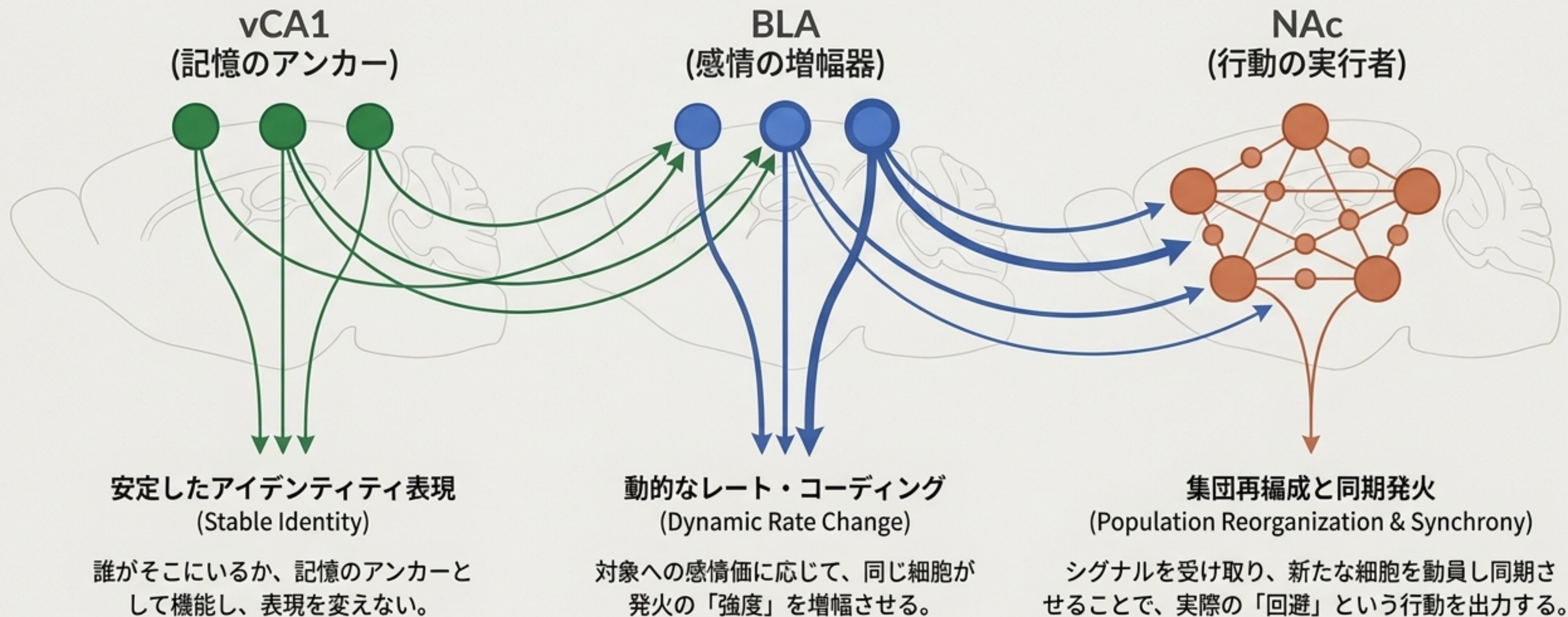
Neither
neuron



1. 細胞の動員 (Recruitment):
攻撃者に応答する細胞の「割合」
自体が増加する。
2. 同期発火 (Population Synchrony):
個々の細胞の活動だけでなく、細
胞集団全体が一斉に同期して発火
するようになる。

重要な点として、このNAc D2Rにおける集団再編成は、
上流のBLAからの入力がないと発生しない。

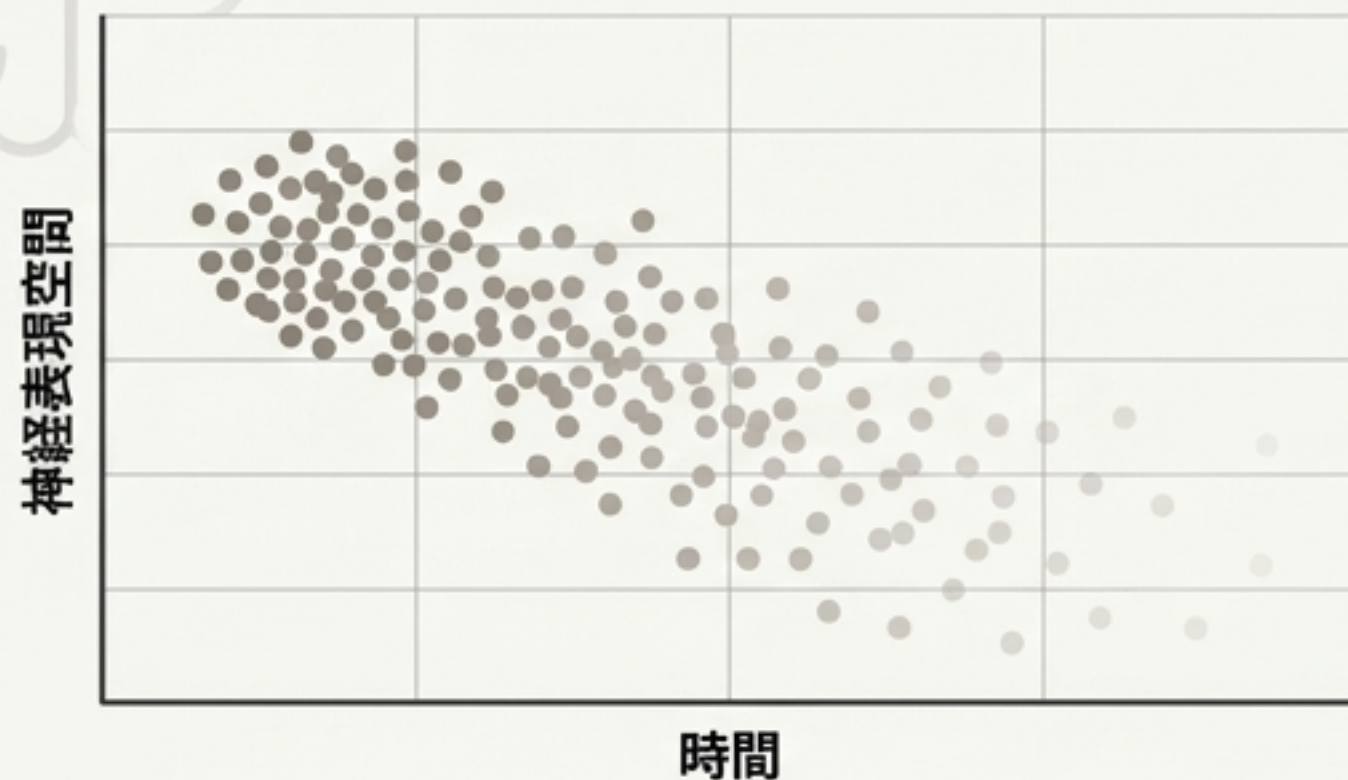
段階的なニューラルコードの変換 (Stepwise Transformation of Neural Coding)



この段階的な役割分担により、脳は「相手が誰であるか」を忘れることなく、「その相手にどう感じるか」だけを柔軟に更新できる。

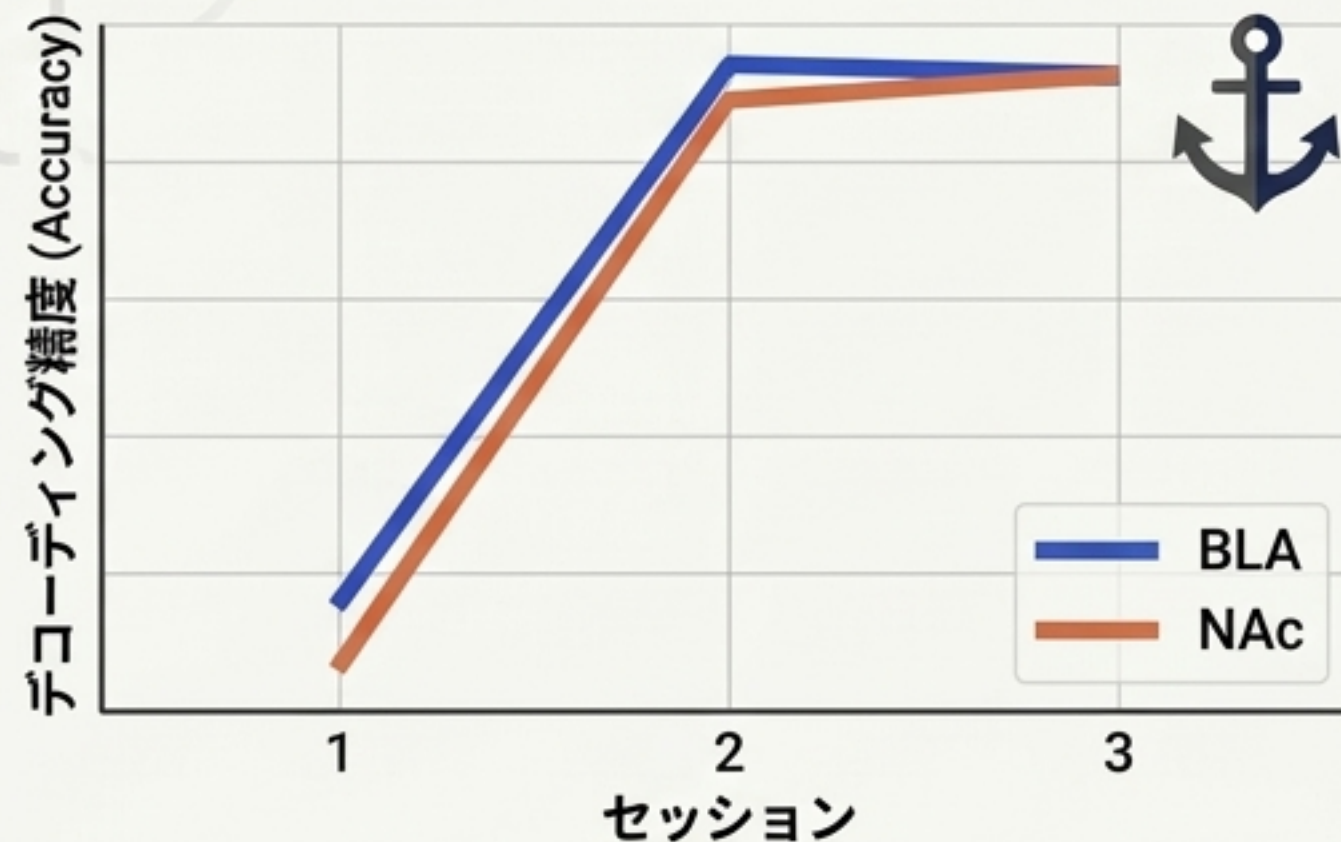
感情価の付与がもたらす「記憶の安定化」

表現のドリフト
(Representational Drift)



通常、脳内の社会的刺激の表現は時間の経過とともに自然に「ドリフト（変化・減衰）」していく。

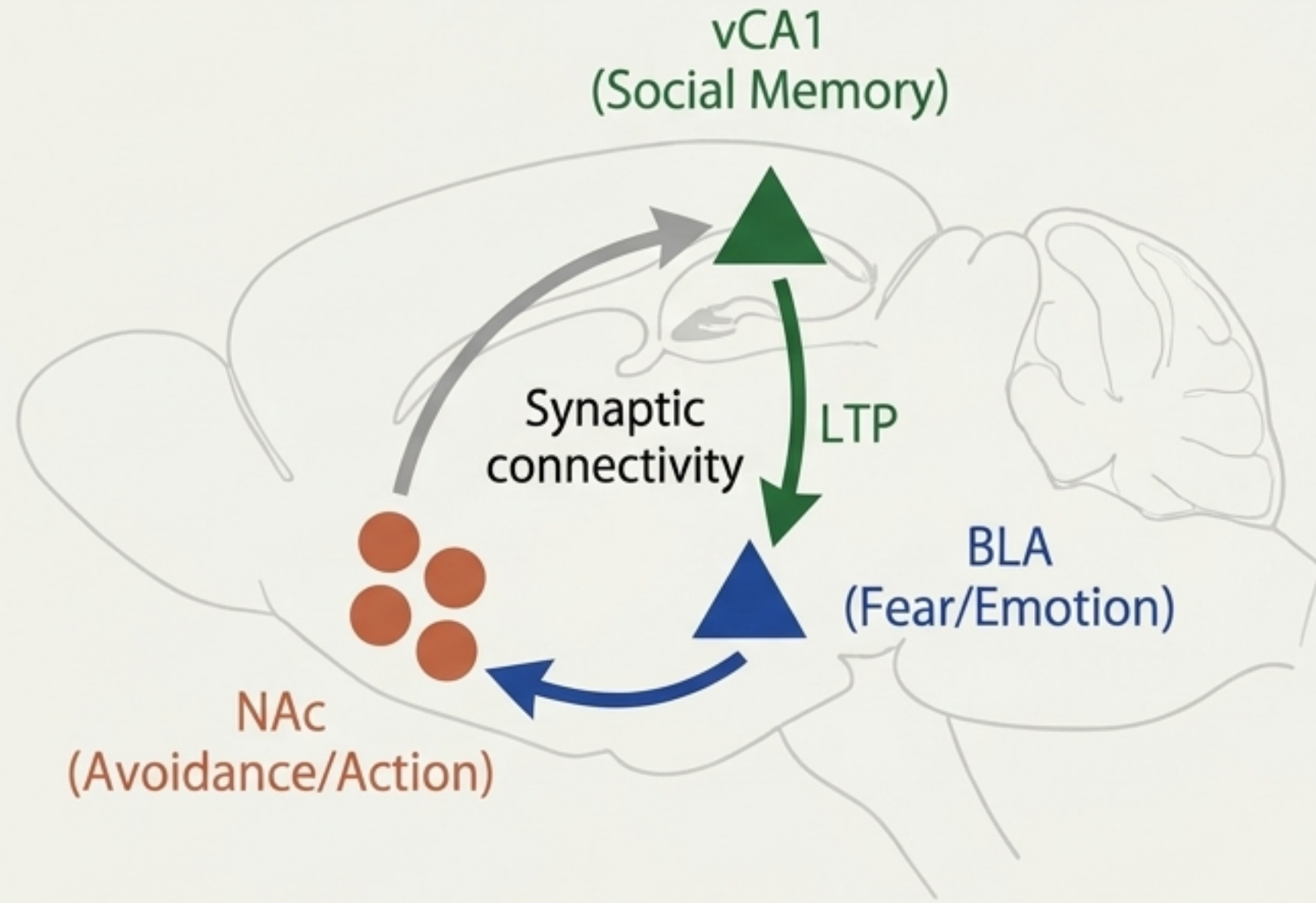
安定したネガティブ記憶
(Stabilized Negative Memory)



しかし、敗北ストレスによって強力なネガティブ感情価（恐怖）が結び付けられると、SVMによるデコーディング精度が跳ね上がる。

強い感情（恐怖）は、特定の個体に対する神経表現を脳内に強く「固定」し、時間の経過や他の文脈によるドリフトを防ぐアンカーとして機能する。

まとめ：社会的トラウマと感情価更新の普遍的フレームワーク



1. 記憶と感情は分離可能である：

脳は「親近感」の直接ルートと「恐怖」の間接ルートを持ち、これらを使い分けることで柔軟な社会関係を構築する。

2. 物理的なネットワークの書き換え：

感情の変化は、記憶エンGRAM (vCA1) と恐怖ニューロン (BLA) 間のシナプス可塑性 (LTP) によって物理的に刻み込まれる。

3. コードの段階的変換：

記憶のアイデンティティ (vCA1) は、感情の増幅 (BLA) を経て、最終的に行動を駆動する集団同期 (NAc) へと動的に変換される。

本研究は、過去の社会的トラウマが、いかにして将来の特定の他者との関わり方を形作するのか、その精緻な神経メカニズムを解き明かしたものである。