

Regret and its avoidance a neuroimaging study of choice behavior

Giorgio Coricelli, Hugo D Critchley, Mateus Joffily, John P O'Doherty, Angela Sirigu & Raymond J Dolan

Nature Neuroscience 8, 1255 - 1262 (2005)

0. Abstract

- 人間の意思決定は、選択した後の予測する感情によって形成される。実際、予測している後悔は先の選択時の要因。
- 2つのギャンブル課題を選択させ、fMRIの計測を行った。
- 選んでいない課題の結果によって後悔が誘発された。後悔が増すと、眼窩前頭皮質 (OFC)、前帯状皮質 (ACC)、海馬 (hippocampus) の活動が活性化した。
- 同じ神経回路で直接体験の後悔と予想体験の後悔の仲立ちをしているということを提案。

1. Introduction

- 先の結果は不完全なので、毎日の意思決定は難しい。標準的な経済学の理論だと合理的な意思決定者は有効な戦略的選択を行うべきだ。しかし、人間の意思決定は他の要因によって、理想からは逸れることが知られている。例えば、オランダで宝くじは人気だが、これはとても非合理的なことだ。
- 後悔とは自身の不利な立場を比較したときに経験する (Kahneman & Tversky, 1982; Kahneman & Miller, 1986; Mellers, Schwartz, & Ritov, 1999; Zeelenberg, & van Dijk, 2005)。
- 後悔は不愉快な気分であって、新しい意思決定を考える時は過去の経験から最小化するように学ぶ。意思決定と情動過程の相互作用はいくつかの脳の構造が役割を担っている。
- 眼窩前頭皮質 (OFC) は感情発生の基質的な部分である (Elliott, et al. 2000; Kringelbach & Rolls, 2004; Breiter, Ahron, Kahneman, Dale, & Shizgal, 2001; O' Doherty, et al. 2001) 。
- 眼窩前頭皮質 (OFC) に損傷がある患者は後悔を経験できなかった。そして後悔状

況を回避するような行動の調整もできなかった。

- 研究目的
 - 眼窩前頭皮質（OFC）と関連する脳部位が後悔に関与しているのか？
 - 後悔の経験が意思決定にどのように影響するのか？
 - 眼窩前頭皮質（OFC）の活動は後悔のような適応感情の経験の仲立ちをしているのか？

2. Method

- 実験参加者
 - 健全な右利き 15名 平均年齢 23.3歳

- 実験デザイン（図1参照）
 - 全192試行（ダミー抜き）。
 - コンピュータの画面を見ながら選択していく。
 - 獲得額と損失額と確率が異なる2つのギャンブル課題。
 - 選んだほうに緑色の枠が表示され、矢が回転し4秒後に止まる。
 - 止まった場所で金額が決まる。

- Partical Feedback（96試行）

選択した課題の結果しか表示されない。

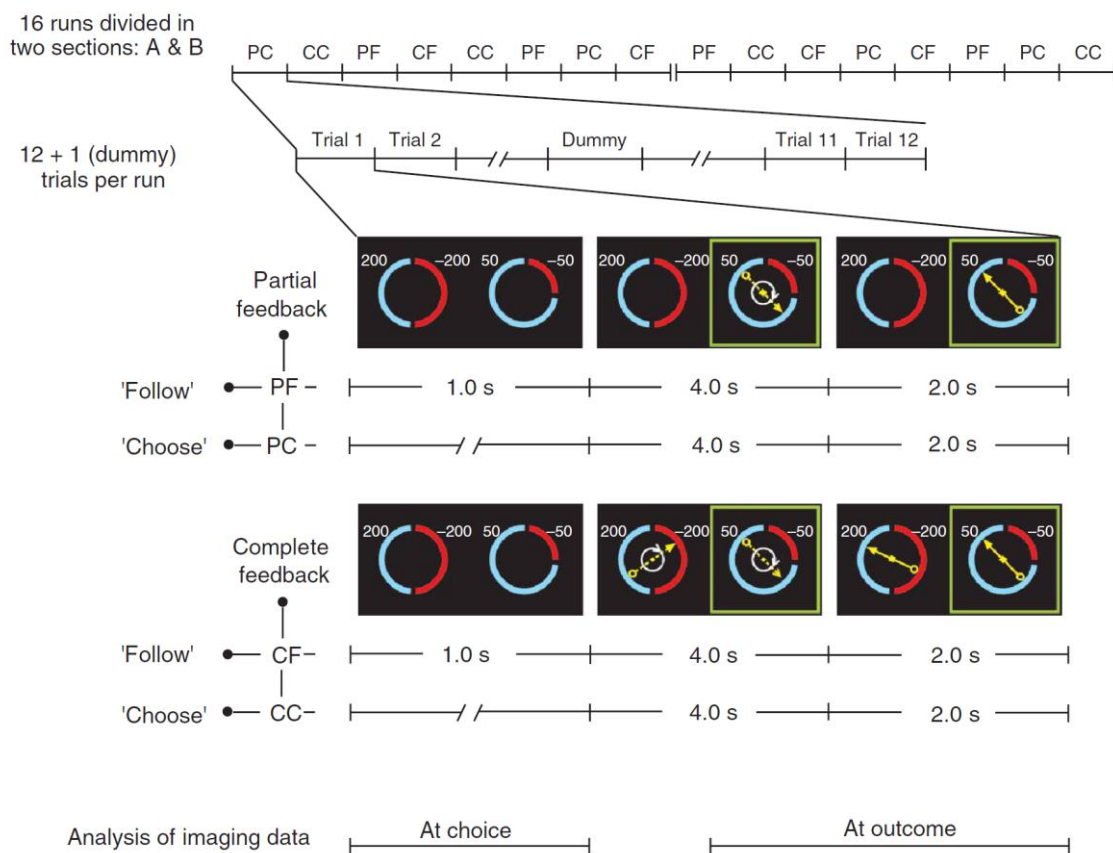
 - Follow（48試行）
 - ◇ コンピュータがランダムに選択。
 - Choose（48試行）
 - ◇ 自分で選択。

- Complete Feedback（96試行）

両方の結果が表示される。

 - Follow（48試行）
 - ◇ コンピュータがランダムに選択。
 - Choose（48試行）
 - ◇ 自分で選択。

Figure 1



● 手順

- 実験参加者は「choose」も「follow」も利益と損失があると言われ、実験が始まる前に 20GBP (Great Britain Pound) 受け取り、実験で稼いだ累積のお金を貰うことができると言われた。
- 金額の幅については言わなかった。

● パラメーター構造

- 200、50、-50、-200 の内からの組み合わせが表示されるギャンブル課題で、確率は 0.2、0.5、0.8 の 3 つだった。
- 実際は 6 個のペアが作れる。(-50、200) (50、200) (-50、-200) (50、-200) (50、-50) (-200、200)
- この確率が表示されるが、実際の確率は等しかった (いつも期待値と実際の結果の金額と異なっている)。順番は疑似乱数で、各条件で異なる。

● 生体反応計測

- 血圧と fMRI の計測を行う。血圧から心拍のデータも見積もる。

- 感情評価

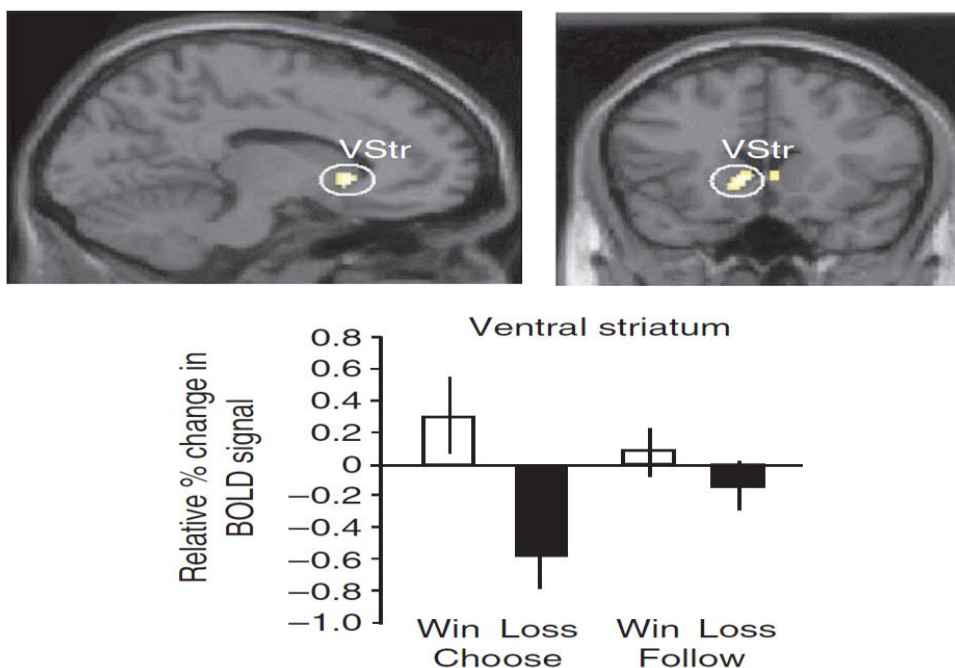
- 実験前に、タスクの説明を読み、コンピュータでのタスクに慣れ親しませ、練習セッション（4 試行 CC PC CF PF）を行う。そして、結果に対してどう感じたのかを9段階評価（1:very bad 9:very good）させた。

3. Results

- 腹側線条体 (Ventral striatum) の反応

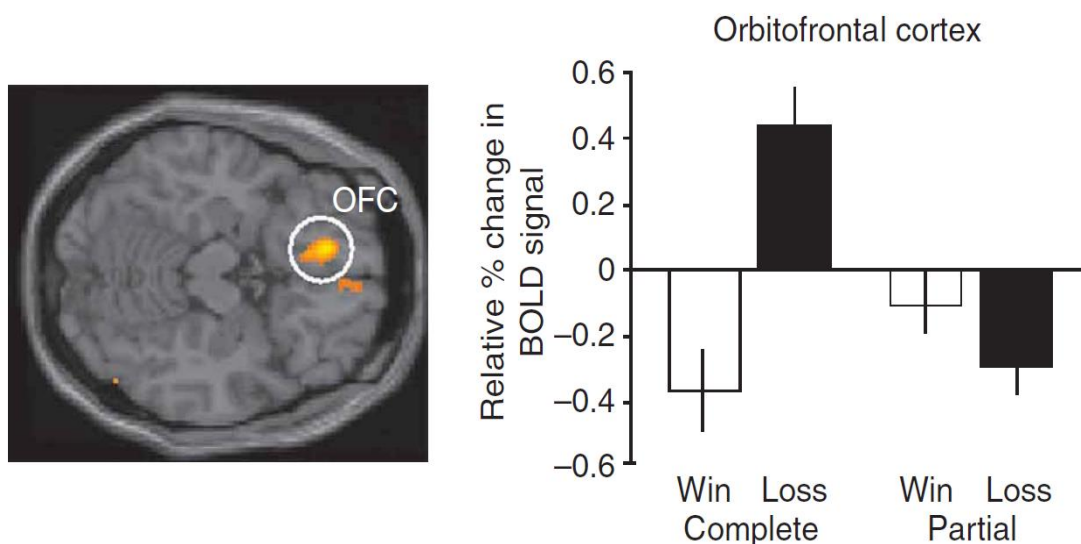
- 課題実行の間では、心拍が「follow」より「choose」の方が優位に高かった ($P = 0.001$)。
- 前腹側線条体が「choose」で、勝った時に活性化し、負けた時には非活性化（失活）した。
- 「choose」条件での腹側線条体のこのパターンの活動は「報酬予測誤差（報酬に対する予測と現実に得られた報酬の差）」の反応と一貫している。
- この領域では実際の結果が予想より良かった時、活性化され、逆に予想より悪かった場合は、非活性化する。

Figure 2



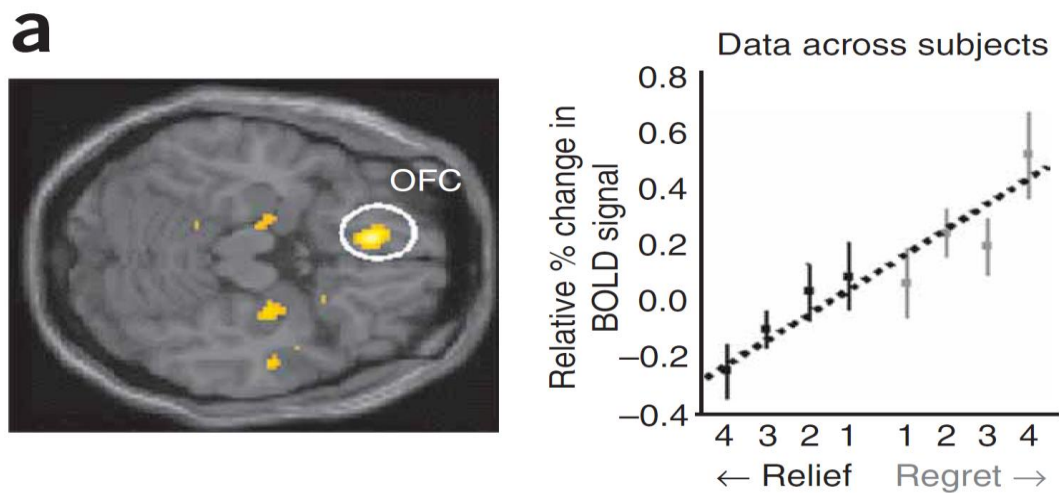
- 失望
 - 選んだギャンブル課題で、実際の結果よりも、もう一方の結果の方が良かった時に失望が上昇する。失望の強度（手に入れた結果と手に入れることができなかった結果の食い違い）は中側頭回と脳幹背面の活性化増強と関係がある。この領域は痛みのような嫌悪信号処理を示している。
- 後悔
 - 後悔は反事実的処理に基づいた感情である。しかし、失望とは異なる。後悔は実際の選択と選ばなかったもう一方のふさわしい選択肢との食い違いから生じる。強度は前帯状皮質（anterior cingulate）、被殻（putamen）、下頭頂小葉（inferior parietal lobule）などの活性化増強と関係がある。
- 選ばなかった結果の効果
 - 「Complete Choose」で負けた場合に後悔感情（実験参加者が-50 で-200 でなくてよかったと安心する場合は例外）が結果として出た（図3参照）。ある一方で、勝った時は安著を感じていた（実験参加者が50 で200 ではなかったという後悔は例外）。

Figure 3



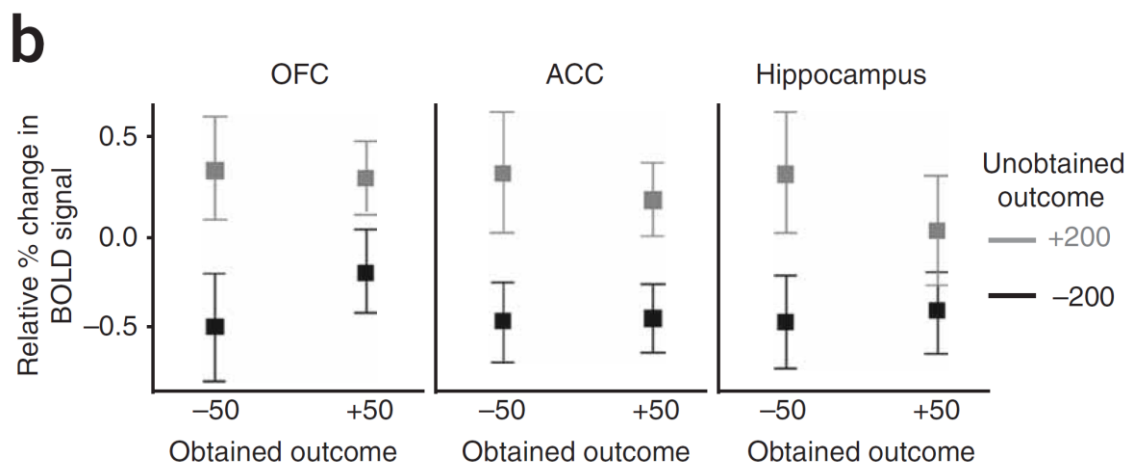
- 図4aには眼窩前頭皮質（OFC）に関連している後悔や安心の反応強度の変化を表している。さらに、海馬の活動も後悔の程度に関係している。

Figure 4



- 分析結果から、「Complete Choose」の選ばなかったギャンブルの結果（-200 and +200）と手に入れた結果（-50 and +50）に応じた脳活動データを引き出した（図 4 b）。眼窩前頭皮質（OFC）、前帯状皮質（ACC）、海馬（Hippocampus）の3つの活動を分析。より良い結果（+200）を実際の結果と比較をした時、これらの領域は活性化される。そして後悔を導く。同じ実際の結果がもう一方の-200 という有利でない結果と比較したとき失活する。そして安心を導く。

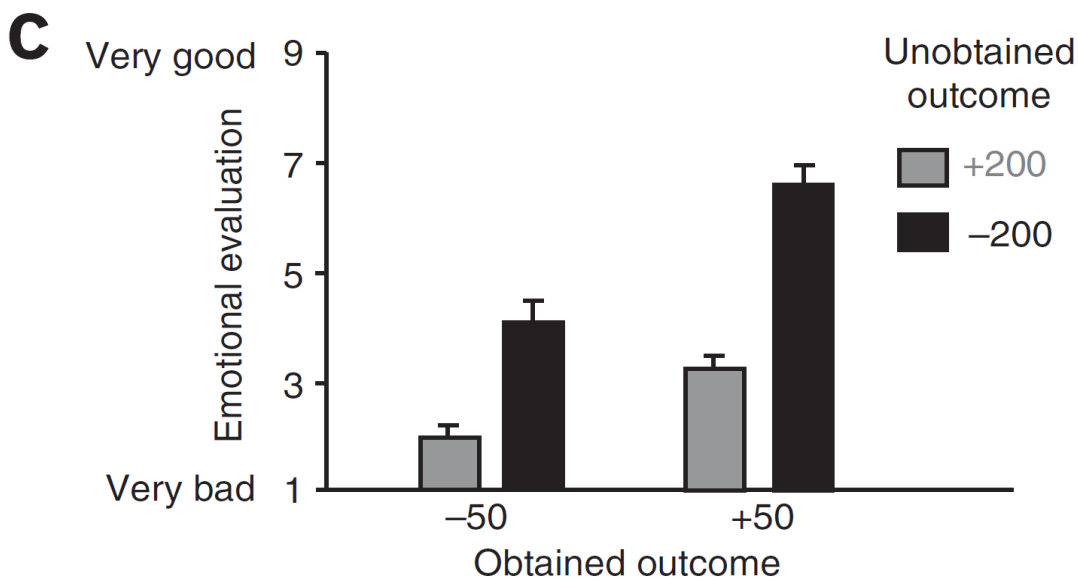
Figure 4



- 感情の自己報告（練習フェイズ）では感情評価は選んだギャンブルの単なる勝ち負けの反応結果ではなく、むしろ選ばなかったもう一方のギャンブルの結果に関しての情報提供によって強く影響されるという結論と一致した（図 4 c）。これらの結果は後悔の認識の一因となる3つのメイン領域（眼窩前

頭皮質 (OFC) 、前帯状皮質 (ACC) 、海馬 (Hippocampus)) があると提案する。

Figure 4



- 選択行動と脳活動

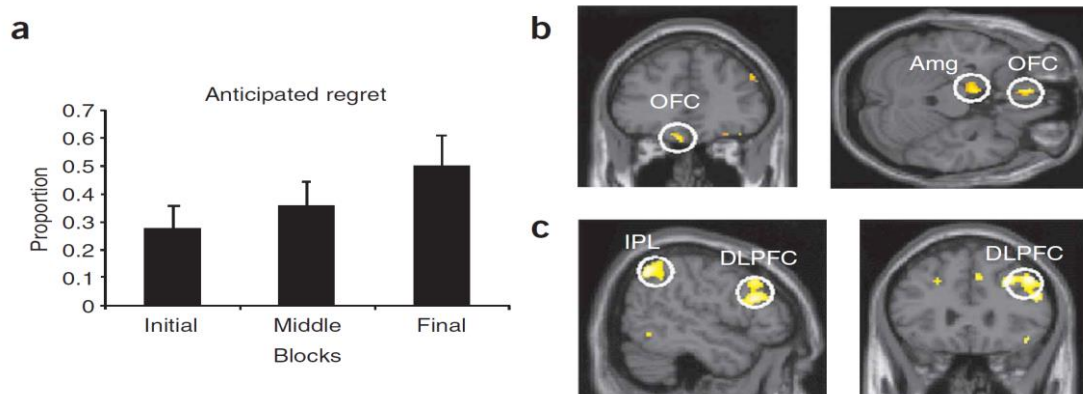
- 後悔感情は2つのギャンブルを通しての、得た結果と得られなかった結果との間の比較によって決まる。比較は「Complete Feedback」のみで可能。2つの結果の差が大きければ大きいほど、より激しい後悔感情が生まれる。
- 回帰分析を行った結果、実験参加者は予想価値を最大化する選択を行い ($P < 0.001$)、未来の後悔を最小化する選択を行うことが分かった ($P < 0.001$)。特に、運動皮質や運動前野、前帯状皮質 (ACC) や上頭頂皮質の脳活動は予想する最大の価値の選択に関連している。
- 「Complete Choose」での行動の欠如はリスクと後悔との間の階層的な関係を示している。実際、参加者は自主的に選択のリスク要素に関係なく、後悔を最小化する選択を行っている。

- 後悔経験は意思決定にどのように影響を与えるか

- 後悔経験は先の選択行動に強い影響を与える。
- 後悔嫌悪は以前にネガティブな結果に導いた選択肢から離れていく明確なバ

イアスだった。参加者自身の累積した後悔経験をベースに後悔回避選択の割合は徐々に増えていく（図 5 a）。

Figure 5



- 後悔の直接経験は選択関連の活動に影響を与える。前頭前皮質の背面 (DLPFC: dorsolateral prefrontal cortex) の反応を高める (図 5 c)。
- 扁桃体 (Amg: amygdala) の活動に関連した選択の調節を観察した (図 5 b)。
- 右下頭頂小葉 (IPL: inferior parietal lobule) では選択を行う間に高められた活動も分かった。そして、眼窩前頭皮質 (OFC) は前に経験した後悔の強さと相互関係があることが分かった (図 5 c)。

4. Discussion

- 後悔は反実処理に基づいた複雑な感情である。この活動は単に結果評価から見られる活動から区別されることを示した。結果評価は選択処理（自分で選ぶか選ばないか）のレベルともう一方の結果 (Complete or Partical Feedback) に関しての利用できる情報によって影響された。後悔のレベルはOFCの活動と強く関係があった。
- いくつかの眼窩前頭皮質 (OFC) の活動の研究は達成報酬を示していた。これは、眼窩前頭皮質 (OFC) はポジティブ感情を支持するかもしれないという主張として解釈されてきた。それにも関わらず、他のニューロンイメージング研究は、もっと複雑なことを強調している。
- 後悔は宣言的認知プロセスに基づく感情。

2014/11/4

輪講 担当：遠山

- 海馬 (hippocampus) や前帯状皮質 (anterior cingulate) のような宣言的記憶などに重要な脳領域が関連することは驚くところではない (Bush, Phan, & Posner, 2000; Critchley, 2004)。
- 前帯状皮質 (anterior cingulate cortex) の活動は後悔経験と選択時の後悔嫌悪意思決定に関連している。前帯状皮質 (anterior cingulate cortex) は将来の行動調整を含む意思決定での対立の評価 (価値最大化、後悔最小化) の間である。
- 重要な発見はOFCの役割である。結果、眼窩前頭皮質 (OFC) と扁桃体 (Amg:amygdala) は適応感情の増幅率を調節している。ある意味、意思決定でのハイレベルな感情の影響のために基盤を提供しているのかもしれない。