

# 意思決定と覚醒度を媒介する内部状態の検討 Comparing The Influence of Arousal on Decision-Making in Different Internal States

米田 凌<sup>†</sup>, 森田 純哉<sup>†</sup>  
Ryo Yoneda, Junya Morita

<sup>†</sup> 静岡大学  
Shizuoka University  
yoneda.ryo.17@shizuoka.ac.jp

## 概要

本研究では内的要因を考慮した上で、外的要因による覚醒度と意思決定への影響を調べた。被験者の内的要因は、二重過程理論に基づいてシステム1とシステム2に設定した。また、覚醒度を操作するための外的要因として視覚刺激、聴覚刺激、社会的刺激を提示した。その結果、システム1ではシステム2よりも覚醒度による意思決定への影響が大きかった。また、覚醒度に影響を与える外的要因の種類や、意思決定の変動も2つのシステムでは異なっていた。

**キーワード**：感情、覚醒度、意思決定、二重過程理論、WCST

## 1. はじめに

意思決定は感情の影響を受けることが多い。例えば、重要な試験や面接などストレスのかかる場面において、普段とは異なる意思決定を行ってしまうことがある。そのため、合理的な意思決定を行うために、適切に感情をコントロールする必要がある。しかし、感情を自身で認識しコントロールすることは困難であることが分かっている [1]。こうした困難を解決するために、マインドフルネスなどの自己制御技術が提案されている [2]。しかし、人間の注意には容量の限界があるため、他の作業をしながらマインドフルネスに取り組むことはできない。そのため、感情に影響される意思決定をコントロールすることは依然として困難な問題である。

本研究ではこのような自己制御技術の限界を考慮し、意思決定に影響を与える感情を調整する方法として周囲の環境に注目した。周囲の光や音、人の表情などは感情に影響を与える要因として知られている。このような環境の外的要因を操作する暗示的バイオフィードバックの研究がある [3, 4, 5, 6]。しかし、このような研究では意思決定の背後にある基本的な認知プロセスを歪める内的要因を扱っていない。意思決定

に関連する内的要因は多く研究されており、慎重に検討する必要がある。本研究では、多くの研究が行われてい意思決定の理論の1つである二重過程理論を内的要因として想定した [7]。この理論では、人間は意思決定に対する関与の程度（処理水準）に応じて、システム1とシステム2という異なるシステムを使っているとされる。システム1は、自動的に高速で働き、印象や直感を生み出し、システム2は、複雑な計算など頭を使わなければならない困難な知的活動を生み出すとされている。この理論をベースとして、現在ではより詳細に意思決定者の処理水準を分割する研究が進展している [8, 9]。ただし、本研究では、単純化のために、それらの理論の詳細には踏み込まず、意思決定における処理水準を大きく2つに分割し、内的要因として検討することにする。

いずれにせよ、意思決定を支援する際には、内的要因と外的要因のいずれか一方だけではなく、2つの視点を考慮する必要がある。意思決定者の保持する内的要因（処理水準）は、外的要因の受容のされ方に影響するだけでなく、外的要因によって水準そのものが変動することも考えられる。それにもかかわらず、異なる内的状態で外的要因が感情と意思決定がどのように影響するかは十分に研究されていない。本研究では、外部要因を操作するマルチモーダルな刺激が、感情と意思決定に与える影響について、2つの内的要因を考慮した上で検討する。

## 2. 関連研究

感情は、感情価と覚醒度の二次元で表現される [10]。この空間上において、感情の座標は多くの外的要因によって変動することが知られている。Sotosらの研究では、音楽のBPMと音価が覚醒度を喚起することが確認された [11]。具体的には、BPM120からBPM90への変更などにより悲しみが喚起されることや、音価を全音符から8分音符へと変更することなどにより高

覚醒度が喚起されることが分かっている。また、色と覚醒度の関係も研究されている。Walter らの研究によると、色の波長と覚醒度に正の相関があることが分かっている [12]。さらに、Barsade の研究によると、グループワークを行っているメンバーのポジティブ感情とネガティブ感情が他のメンバーに伝染することが分かった。さらに、それにより協調性や個人のパフォーマンスも変化することが分かった [13]。

また、感情や情動が意思決定に及ぼす影響も検討されている。Damasio は、脳内の情動と関連する部位である腹内側前頭前野の損傷患者は知能に問題がないにも関わらず適切な意思決定が行えないという事例を報告している [14]。Damasio は、この事例からソマティック・マーカー仮説を提案した [15]。ソマティック・マーカー仮説とは、身体反応である情動が、合理的な意思決定に影響を与えるという仮説である。この仮説に基づいて、覚醒度と意思決定の関係についてのより詳細な研究も行われている。大平らは、意思決定の探查傾向と覚醒度の関連性を調べる実験を行った [16]。その結果、交感神経の活動により高い覚醒度状態にある場合、意思決定の探查傾向が高まることが分かった。さらに、この研究ではタスクによって覚醒度の役割が異なる可能性も示唆された。

これらを元に、感情と意思決定に関わる知見を応用するシステムの研究がされている。吉田らはディスプレイに映るユーザの表情を変形させることでユーザの感情操作を試みる実験を行った [3]。この結果、ディスプレイに映る表情が笑顔の場合はポジティブ感情が、悲しい表情の場合はネガティブ感情が喚起された。さらに、着用しているマフラーの選好にも変化があった。しかし、このシステムはユーザがディスプレイを見るといった意識的な動作を要する。こうした課題を解決するため、暗示的なフィードバックによってユーザの感情や意思決定に介入を試みる研究もある。Costa らは、心拍情報を元に変動する触覚フィードバックによって、不安感の減少や認知パフォーマンスを向上させるシステムを開発した [4]。また、心拍情報を元に変動する音楽の揺らぎによってユーザの心拍数を変化させ、ストレスを減少させるシステムも開発されている [5]。しかし、これらの研究はいずれも内的状態を考慮したものではない。

本研究では上記の感情と意思決定の理論に基づいて、意思決定における異なる 2 つのシステムを考慮するために、刺激による覚醒度と意思決定への影響に関する実験を 2 つ行った [7, 14, 15, 16]。実験は 2 回行うことで、異なる内的状態における覚醒度の役割の違い

を調べた。

### 3. タスク

#### 3.1 タスク環境

本研究では、Wisconsin Card Sorting Test (WCST) を採用した [17]。このタスクはワーキングメモリの活動と関連があることがわかっている [18, 19]。システム 1 の状態で行う意思決定では、ワーキングメモリを必要としない一方で、システム 2 の状態で行う意思決定は、ワーキングメモリを必要とすることもわかっている [20]。さらに、覚醒度はワーキングメモリの活動に影響を及ぼす [21, 22, 23]。以上の理由で、この課題を用いて実験を行うことを決めた。

この課題には複数のバージョンがある。本研究では、いくつかの論文をもとにオリジナルの課題を作成した [24, 19, 25]。実験画面は図 1 に示されている。この課題では 4 種類の刺激カードと 64 種類の反応カードを用いる。刺激カードと反応カードの絵柄は色 (赤, 青, 緑, 黄), 形 (円, 四角, 三角, 十字), 数 (1, 2, 3, 4) で構成されている。刺激カードは左から「赤, 円, 1」, 「青, 四角, 2」, 「緑, 三角, 3」, 「黄色, 十字, 4」の順であらかじめ並べられている。参加者は、ランダムに 1 枚ずつ配られる反応カードを同じカテゴリーだと思う刺激カードの下に置く。カテゴリーは色, 形, 数の 3 種類あり, その内の 1 つが正解のカテゴリーとなる。正解のカテゴリーは参加者には知らされないが, 反応カードを分類した後に正解かどうかのフィードバックを受け取る。正解の場合は, コインが積み重なるエフェクトがかかり, スコアに 100 点が加算される。不正解の場合は, コインが消え, 100 点が減点される。さらに, 5 回連続して正解すると, 予告なしに正解のカテゴリーが変更される。この課題では, これを 30 回繰り返した。また, 参加者は画面右上にあるボタンを押すことでいつでも自由にルールの確認をできた。

#### 3.2 仮定

本実験では、覚醒度や意思決定に影響を与えると仮定される外的環境を操作した。以下がそれらのまとめである。

- 仮定 1: 環境要因による覚醒度への影響
  - － 色刺激による覚醒度への影響: 参加者の覚醒度は、赤色の照明では高覚醒度へ、青色の照明では低覚醒度へと誘導される [12, 26]。

- 音刺激による覚醒度への影響: 参加者の覚醒度は、高 BPM で高覚醒度へ、低 BPM で低覚醒度へと誘導される [11].
- 情動伝染による覚醒度への影響: 参加者の覚醒度は、アイコンの表情が笑顔 (以降 Smile と表記) の場合は高覚醒度へ、悲しい表情 (以降 Sad と表記) の場合は低覚醒度へと誘導される [13].
- 仮定 2: 覚醒度による意思決定の変動
  - 意思決定の速度: 高覚醒度に導く環境要因は、低覚醒度に導く環境要因に比べ、参加者の課題に要する時間を短くする.
  - 意思決定における熟慮: 低覚醒度に導く環境要因は、高覚醒度に導く環境要因に比べ、参加者の熟慮した振る舞いを導く.
  - 意思決定のパフォーマンス: 低覚醒度に導く環境要因は、高覚醒度に導く環境要因に比べ、より利得の得られる意思決定を導く.

本研究では、覚醒度と意思決定に関するこれらの仮定を、参加者が異なる内部状態にあると仮定した 2 つの実験で検証する. 意思決定の二重過程理論 [7] より、異なる熟考レベル (システム 1 と 2) では、覚醒度による意思決定への影響が異なるという仮説を立てることができる. 例えば、速く浅慮な意思決定は環境の影響を大きく受けるのに対し、熟慮した意思決定では意思決定が環境の影響を受けにくいことが考えられる. 以下の実験では、この 2 つのシステムが 2 つの仮定にどのように影響するかを調べることでこの仮説を検証する.

#### 4. 実験 1: 環境要因がシステム 1 に与える影響

実験 1 では、参加者がシステム 1 の状態で意思決定を行う状況において、上記の仮定がどのように観察されるかを調べる.

##### 4.1 方法

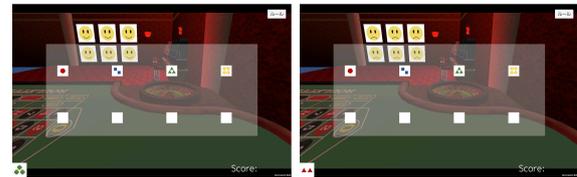
###### 4.1.1 参加者と実験計画

参加者は、クラウドソーシングサービスであるランサーズにて 265 名を募集した. 男性が 166 名、女性が 99 名、平均年齢は 41.9 歳だった. 参加者は、実験協力の謝金として 100 円を得た. クラウドソーシング実験では、対面実験に比べて参加者の実験への注意力

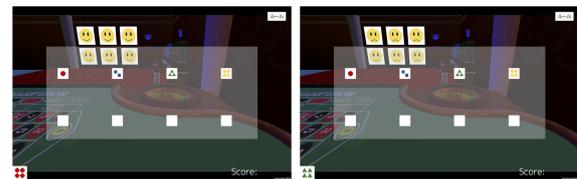
表 1: Conditions of Experiment1

	Red		Blue	
	Smile	Sad	Smile	Sad
High BPM	39	35	35	29
Low BPM	32	30	30	35

\* セル内の数字は参加者数



(a) 赤色照明と Smile アイコン (b) 赤色照明と Sad アイコン



(c) 青色照明と Smile アイコン (d) 青色照明と Sad アイコン

図 1: 照明の色とアイコンの表情の組み合わせ

が低下することが指摘されている [27]. そのため、システム 1 という覚醒度でタスクに取り組んでいると考えられる.

本実験では、各刺激が参加者の覚醒度及び意思決定へ与える影響を調べるために 2 (照明: 赤色条件 vs 青色条件) × 2 (BGM: 高 BPM 条件 vs 低 BPM 条件) × 2 (情動伝染: Smile 条件 vs Sad 条件) の 8 条件下で参加者の行動を比較した (3 要因被験者間計画). 照明の赤色は RGB 表記で (255, 0, 0) に、青色は RGB 表記で (0, 0, 255) に設定した. BPM では高 BPM を 150 に、低 BPM を 80 に設定した. 情動伝染は、ゲーム遂行中の背景に映るアイコンの表情によって操作した. 図 1 に、照明の色とアイコンの表情の組み合わせを示す. 参加者は、実験システムにアクセスした順番に 8 条件に割り当てられた. なお、複数回実験を行なった参加者や、実験を途中で離脱した参加者の処理を行なったため、各条件間の人数は均等にはならなかった.

###### 4.1.2 手続き

ランサーズにて依頼を受けた参加者は依頼画面にて、実験手順についての教示に目を通した. その後、

画面の URL から実験システムへと遷移した。実験システムでは最初にルールの教示画面が表示された。参加者は教示画面でシステムの操作方法と WCST のルールを提示された。ルールの提示に続く画面にて、3 ターン分の練習を行い、本番のタスクを遂行した。本番タスク終了後は、ゲーム内に表示されたボタンのクリックにより、アンケート画面へ遷移した。アンケートには Google の Web アンケートフォーム作成サービスである GoogleForm を使用した。

#### 4.1.3 データ

取得するデータはアンケートによる主観評価とゲームのログの 2 つの観点から集めた。仮定 1 の各刺激による覚醒度の変化を計測するために、参加者にアンケートにて覚醒度の報告をしてもらった。アンケートには、イラストを用いて非言語的に参加者の覚醒度を、5 つのイラストとその中間の 4 項目の合計 9 段階で測定する Self Assessment Manikin (SAM) を利用した [28]。また、アンケートには自由記述欄も設けた。

ゲームログでは、仮定 2 を検証するために以下の 8 つの指標を取得した。

- スピード
  - 1 ターンあたりの時間 (Time per 1 turn): カードを置いてから、次のカードを置くまでの間隔を計測した。
  - 合計時間 (Total time): ゲーム開始時から、最後のターンでカードを置くまでの時間を計測した。
- 熟慮
  - 到達カテゴリー数 (Reached Category): ゲーム終了までに変更したカテゴリーの回数をカウントしたもの。
  - NCRF (The Number of Cards to Reach the First Category Change): 初めて分類カテゴリーが変更するまでに要したカードの枚数をカウントしたもの。
  - 保続性の間違い (Perseveration Error): 分類カテゴリーの変更後にも関わらず、前の分類カテゴリーに置いてしまったカードの数。これは分類カテゴリーが変更した際の意味決定における探索と活用の切り替えを測定する。分類カテゴリーの変更が行われなかった場合は、ターン数の 30 に設定した。
  - ルール確認数 (Number of rule confirmations): ゲーム遂行中に右上に表示される

表 2: 実験 1 の条件ごとの F 値

	Arousal	Time per 1 turn	Total time	Perseveration error	Reached category	NCRF	Rule confirmation	Score	incorrect answer
Color (C)	3.54 +	2.70	0.99	4.50 *	2.35	1.95	5.45 *	1.78	2.93+
BGM (B)	0.74	0.32	0.09	0.77	1.48	0.26	0.11	1.37	0.30
Expression (E)	0.48	0.25	0.01	6.95 **	1.97	2.17	0.02	0.69	1.41
C * B	0.33	0.46	1.05	0.65	0.25	0.09	0.37	1.47	1.29
B * E	0.04	0.85	0.00	0.79	1.41	0.02	0.47	1.90	2.65
C * E	0.86	0.06	0.02	2.22	0.80	0.23	0.50	0.14	0.12
C * B * E	2.25	0.06	0.32	0.70	0.02	1.11	0.01	1.24	0.12

+ :  $p < 0.10$  \* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$

ルール確認ボタンを押した回数。

- パフォーマンス
  - スコア (Score): 課題の最終成績を取得したもの。
  - 誤答数 (Incorrect Answer): ゲーム内でカードを間違った方法で分類した数をカウントしたもの。

## 4.2 結果

### 4.2.1 平均

各条件において得られた指標の平均値を図 2 に、この値に対して実施された 3 要因分散分析の結果を表 2、表 3 に示す。なお分散分析の結果、要因間の交互作用が得られた指標については単純主効果の結果を図に書き入れている。以下、アンケートとゲームログのそれぞれについて有意となった結果を示していく。

覚醒度の主観評価では色の主効果に有意傾向が見られた ( $p = 0.06$ )。これは照明の色が青よりも赤の場合に覚醒度が高まる結果になった。この結果は、仮定 1 (色刺激による覚醒度への影響) と一致している。また、保続性の間違いは、照明の色の主効果 ( $p = 0.03$ ) とアイコンの表情の主効果 ( $p = 0.01$ ) が有意であった。また、ルール確認数でも照明の色の主効果は有意であった ( $p = 0.02$ )。これらの結果は、仮定 2 (熟慮) と一致する。誤答数は、照明の色の主効果に有意傾向が観察された ( $p = 0.09$ )。この結果から、赤色の照明下では不正解が増加し、青色の照明下では不正解が減少することが示唆された。この結果は仮定 2 (パフォーマンス) と一致する。

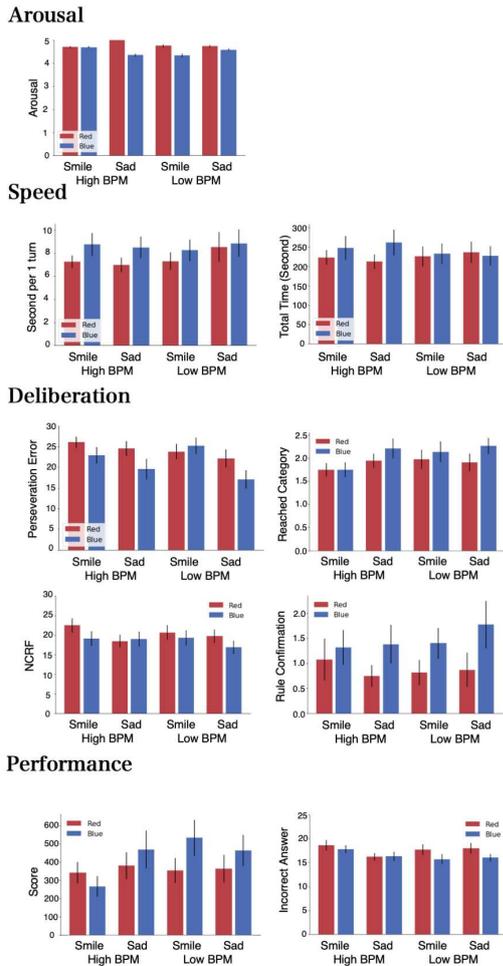
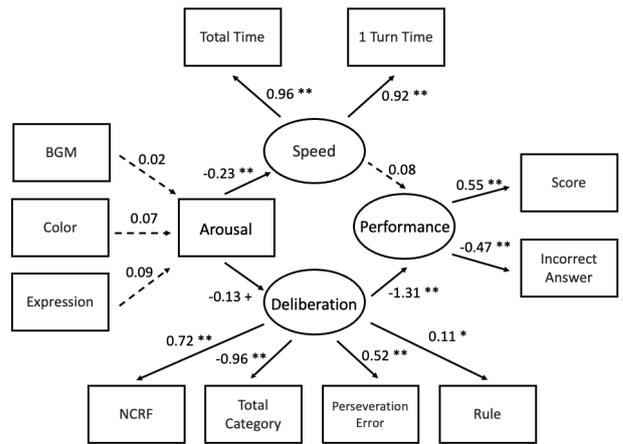


図 2: 実験 1 の平均と標準誤差

表 3: 実験 1 の条件ごとの効果量 (偏 $\eta^2$ )

	Arousal	Time per 1 turn	Total time	Perseveration error	Reached category	NCRF	Rule confirmation	Score	incorrect answer
Color (C)	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
BGM (B)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Expression (E)	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
C * B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
B * E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
C * E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C * B * E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



数値はパス係数。

実線: 有意差あり, 点線: 有意差なし。

+ :  $p < 0.10$  \* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$

図 3: SEM の結果

#### 4.2.2 構造方程式モデリング

前節の仮定との適合度を検討するために、構造方程式モデリング (SEM) を実施した。結果を図 3 に示す。このモデルは、環境要因 (左) が覚醒度 (感情)、速度 (システム 1)、熟慮 (システム 2) からなる内部状態を媒介して、パフォーマンス (右) に及ぼす影響を表すように構築されている。このモデルの適合度は、CFI (comparative fit index) が 0.921, RMSEA (root mean square error of approximation) が 0.075, AGFI (adjusted goodness of fit index) が 0.999 であった。このことから、データとモデルは十分に適合していると言える。SEM の結果から、覚醒度が速度と意思決定に与える影響が仮定 2 と一致していることがわかる。

#### 4.3 考察

分散分析の結果から、照明の色が覚醒度に影響を与えていることがわかる。これは、仮説 1 と一致してい

る。照明の色によって意思決定をシステム 1 で行う参加者の覚醒度が誘導されたと言える。一方、BGM には有意差が観察されなかった。自由記述欄には、BGM に関する記述が散見された。具体的には、「音楽が鳴っていると落ち着かなくてイライラしていました」や「音が大きすぎる」等の音の大きさについてのコメントがあった。これは、実験においてこの要因が参加者の意識的な認知プロセスに関与していたことを示唆する。本来、環境による情動の誘導は意識下の刺激によって成り立つと考えられる [29]。そのことから、音量の大きさによる刺激への意識が BGM の効果を弱めた可能性が考えられる。また、今回の実験では、BGM が聞こえる状況で実験を行なってもらうように指示したのみで、具体的な音量やヘッドフォン等の使用は統制していなかった。このように、参加者ごとに BGM の聞こえ方が異なっていたことも、BGM が覚醒度に影響を与えなかった原因の 1 つだと考えられる。

分散分析では、照明の色によって保続性の間違い、

表 4: Conditions of Experiment2

	Red		Blue	
	Smile	Sad	Smile	Sad
High BPM	29	25	28	29
Low BPM	32	34	29	33

\* セル内の数字は参加者数

ルール確認数、誤答数が変化した。照明の色によって覚醒度も変化していることから、これらの指標の変化は覚醒度の影響を受けたものだと考えられる。さらに、SEMの結果は、覚醒度と意思決定のスピード・熟慮との関連を示した。これらは仮定2と整合する結果である。この結果は照明の色により、覚醒度が変化することで、意思決定が変化したため生じたと考えられる。

## 5. 実験2: 環境要因がシステム2に与える影響

実験2では、参加者に教示確認のためのクイズを課した。さらに、タスクへの注意を高めるために、高スコアを得た参加者には追加の報酬を与えた。それによって、参加者はより課題に集中した状態で取り組むと予想した。この操作によって実験1よりもスコアが上がり、誤答数が現象すると予想した。この条件の下、環境要因による覚醒度と意思決定への影響を仮定に基づいて検討する。

### 5.1 方法

#### 5.1.1 参加者と実験計画

参加者は、実験1と同様にランサーズにて239名を募集した。男性が123名、女性が116名、平均年齢は41.3歳だった。参加者には、実験協力の謝金として100円の報酬が支払われた。さらに、実験1で得られたスコアの上位10%である1200点を超えた場合は追加の報酬として500円を得た。

実験デザインは実験1と同様に、2(照明: 赤色条件 vs 青色条件) × 2(BGM: 高BPM条件 vs 低BPM条件) × 2(情動伝染: Smile条件 vs Sad条件)の8条件にした。各要因の水準も実験1と同様の設定にした。

#### 5.1.2 手続き

実験1との相違点は、教示の確認の有無である。実験2では、参加者が教示画面で課題のルールとシステムの操作方法を読んだ後に、確認のクイズを出した。

クイズに正解するまで課題は開始できなかった。この手続きと追加の報酬で、参加者が課題をより注意深く行うことを促した。

## 5.2 結果

### 5.2.1 実験1 vs 実験2

実験1と実験2で比較した際に有意となったデータについて示す。スコア、誤答数、到達カテゴリー数、NCRFの4項目に実験操作による違いが見られた。スコアは、実験1の平均が358.82、実験2の平均が520.83となり、実験2の方が高くなった( $t(503) = 3.99, p = 0.00$ )。誤答数は、実験1の平均が17.63、実験2の平均が15.19となり、実験2で減少した( $t(503) = 5.11, p = 0.00$ )。到達カテゴリー数は、実験1の平均が1.88、実験2の平均が2.06となり、実験2で増加した( $t(503) = 2.06, p = 0.03$ )。最初のカテゴリー到達までに要したカードの枚数は、実験1の平均が1.88、実験2の平均が2.06となり、実験2で増加した( $t(503) = 2.11, p = 0.09$ )。これらことから、実験1よりも実験2の方が参加者は慎重な行動をしていたことが分かる。これによって、実験2で行った操作が成功していたと考えられる。

### 5.2.2 平均

各条件で得られた平均値を図4に、分散分析の結果を表5、表6に示す。分散分析の結果、要因間の交互作用が得られた指標については単純主効果の結果を図に書き入れている。以下、アンケートとゲームログのそれぞれについて有意となった結果を示していく。

まず、覚醒度の主観評価では、アイコンの表情に有意傾向が観察された( $p = 0.07$ )。Smileが提示された参加者は、Sadが提示された参加者よりも高い覚醒度を示した。これは、仮定1(情動伝染による覚醒度への影響)と一致する。

1ターンあたりの時間では、BGMと表情の交互作用に有意差が見られた( $F(1, 231) = 3.98, p = 0.05, \eta p^2 = 0.02$ )。この交互作用の単純主効果を分析した結果、遅いBGMの条件ではSmileを提示された参加者は、Sadを提示された参加者よりも多くの時間を費やしていることがわかった。この結果は、仮定2(速度)にも反するものだった。

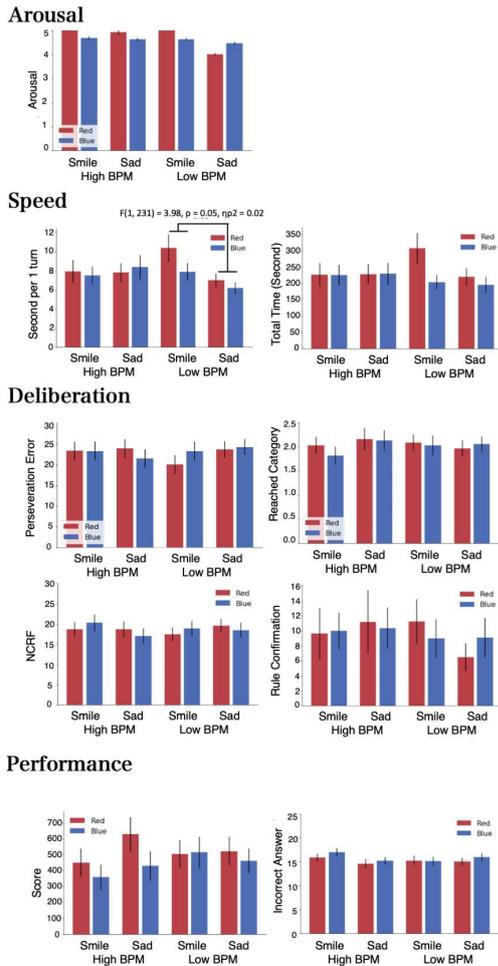


図 4: 実験 2 の平均と標準誤差

### 5.2.3 構造方程式モデリング

実験 1 と同様の目的で SEM を実施した (図 5) . これを実験 1 で行った SEM と比較することで、環境要因、覚醒度、意思決定の係数に内的状態がどのように影響しているかを理解することができると考える。このモデルの適合度は、CFI が 0.988, RMSEA が 0.034, AGFI が 1.000 となり、十分にモデルとデータが適合していたと言える。このモデルでは、実験 1 のモデルとは異なり、覚醒度の効果は意思決定の速度や熟慮に対して有意ではなかった。

### 5.3 考察

分散分析では、アイコンの表情による覚醒度への影響が観察された。これは仮定 1 と一致していた。システム 2 の状態で意思決定を行う状況では周囲の人間の表情によって覚醒度が喚起されると考えられる。

表 5: 実験 2 の分散分析の結果

	Arousal	Time per 1 turn	Total time	Perseveration error	Reached category	NCRF	Rule confirmation	Score	incorrect answer
Color (C)	1.05	1.21	1.95	0.04	0.15	0.00	0.00	1.78	1.05
BGM (B)	0.65	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.45	0.29	0.30
Expression (E)	3.29 +	2.18	0.98	0.32	0.42	0.09	0.12	0.70	1.05
C * B	0.11	1.46	1.94	1.03	0.25	0.00	0.01	0.90	0.14
B * E	2.12	3.98 *	1.23	0.93	1.02	0.93	0.66	1.25	2.10
C * E	1.82	0.81	0.75	0.67	0.41	1.27	0.21	0.49	0.05
C * B * E	1.52	0.06	0.71	0.00	0.01	0.02	0.58	0.02	0.39

+ :  $p < 0.10$  \* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$

表 6: 実験 2 の条件ごとの効果量 (偏 $\eta^2$ )

	Arousal	Time per 1 turn	Total time	Perseveration error	Reached category	NCRF	Rule confirmation	Score	incorrect answer
Color (C)	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
BGM (B)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Expression (E)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C * B	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B * E	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
C * E	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
C * B * E	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

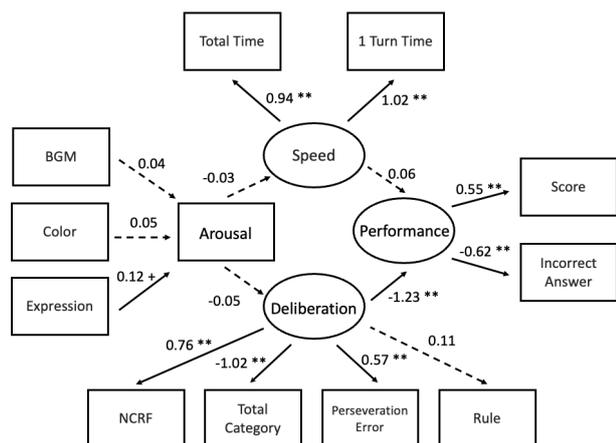
分散分析の結果より、各条件間の意思決定の指標の違いは、実験 1 よりも少ないことがわかる。また、SEM では覚醒度の効果が意思決定の指標に対して有意でなかった。この結果から、参加者の意思決定がシステム 2 で行われる場合、覚醒度が意思決定に影響を与えないと考えられる。

また、1 ターンに費やす時間が Sad のアイコンを提示した条件で減少した。これは仮定 2 と矛盾する結果である。表情の効果は、文脈によって異なることが知られている [30]。この結果は、システム 2 の状態で意思決定を行う場合は、心を落ち着かせる刺激が間違いを増加させると解釈できる。

### 6. 総合考察とまとめ

本研究では、外的要因を操作することで異なる内的状態での覚醒度の意思決定に対する役割の違いを調べた。

参加者がシステム 1 の状態で意思決定を行う実験 1 の結果、照明の色が覚醒度に影響を与えることがわかった。さらに、覚醒度による意思決定への影響も確認された。具体的には、ルール確認数、誤答数、保続



数値はパス係数。  
 実線: 有意差あり, 点線: 有意差なし。  
 +:  $p < 0.10$  \* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$

図 5: SEM の結果

性の間違いに変動が観察された。これらの結果は、仮定 1 と仮定 2 と一致している。一方、参加者がシステム 2 の状態で意思決定を行う実験 2 では、アイコンの表情による覚醒度への影響が示唆された。この結果は、仮定 1 と一致している。しかし、1 ターン当たりの時間は、仮定 2 とは逆の結果が得られた。

また、実験 2 よりも実験 1 の方が覚醒度による意思決定への影響が大きかった。さらに、実験 1 の SEM では覚醒度が意思決定に与える影響が有意であったのに対し、実験 2 の SEM では有意ではなかった。このように、外部環境が情動や意思決定に与える影響は、参加者の内部状態によって異なることが確認された。しかし、今回の研究で覚醒度は主観評価によって計測されたため、参加者の状態を反映しきれていない可能性がある。そのため、今後は生体信号を用いた実験を行う必要があると考えている。本研究の知見が、合理的な意思決定を支援するシステムの開発に繋がると考える。

## 文献

- [1] Stefan G Hofmann, Sanna Heering, Alice T Sawyer, and Anu Asnaani. How to handle anxiety: The effects of reappraisal, acceptance, and suppression strategies on anxious arousal. *Behaviour research and therapy*, 47(5):389–394, 2009.
- [2] Jon Kabat-Zinn and Thich Nhat Hanh. *Full catastrophe living: Using the wisdom of your body and mind to face stress, pain, and illness*. Delta, 2009.
- [3] Shigeo Yoshida, Tomohiro Tanikawa, Sho Sakurai, Michitaka Hirose, and Takuji Narumi. Manipulation of an emotional experience by real-time deformed facial feedback. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*, pages 35–42, 2013.

- [4] Jean Costa, François Guimbretière, Malte F Jung, and Tanzeem Choudhury. Boostmeup: Improving cognitive performance in the moment by unobtrusively regulating emotions with a smartwatch. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 3(2):1–23, 2019.
- [5] Grace Leslie, Asma Ghandeharioun, Diane Zhou, and Rosalind W Picard. Engineering music to slow breathing and invite relaxed physiology. In *2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, pages 1–7. IEEE, 2019.
- [6] Jaime Snyder, Mark Matthews, Jacqueline Chien, Pamara F Chang, Emily Sun, Saeed Abdullah, and Geri Gay. Moodlight: Exploring personal and social implications of ambient display of biosensor data. In *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, pages 143–153, 2015.
- [7] Daniel Kahneman. *Thinking, fast and slow*. Macmillan, 2011.
- [8] Wim De Neys. *Dual process theory 2.0*. Routledge, 2017.
- [9] Gordon Pennycook, Jonathan A Fugelsang, and Derek J Koehler. What makes us think? a three-stage dual-process model of analytic engagement. *Cognitive psychology*, 80:34–72, 2015.
- [10] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6):1161, 1980.
- [11] Alicia Fernández-Sotos, Antonio Fernández-Caballero, and José M Latorre. Influence of tempo and rhythmic unit in musical emotion regulation. *Frontiers in computational neuroscience*, 10:80, 2016.
- [12] Jean Walters, Michael J Apter, and Sven Svebak. Color preference, arousal, and the theory of psychological reversals. *Motivation and emotion*, 6(3):193–215, 1982.
- [13] Sigal G Barsade. The ripple effect: Emotional contagion and its influence on group behavior. *Administrative science quarterly*, 47(4):644–675, 2002.
- [14] Antonio Damasio. *The feeling of what happens: Body and emotion in the making of consciousness*. 1999.
- [15] Antonio R Damasio. The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1346):1413–1420, 1996.
- [16] Hideki Ohira, Masahiro Matsunaga, Hiroki Murakami, Takahiro Osumi, Seisuke Fukuyama, Jun Shinoda, and Jitsuhiro Yamada. Neural mechanisms mediating association of sympathetic activity and exploration in decision-making. *Neuroscience*, 246:362–374, 2013.
- [17] Paul Eling, Kristianne Derckx, and Roald Maes. On the historical and conceptual background of the wisconsin card sorting test. *Brain and cognition*, 67(3):247–253, 2008.
- [18] James M Gold, Constance Carpenter, Christopher Randolph, Terry E Goldberg, and Daniel R Weinberger. Auditory working memory and wisconsin card sorting test performance in schizophrenia. *Archives of general psychiatry*, 54(2):159–165, 1997.

- [19] S. Konishi, M. Kawazu, I. Uchida, H. Kikyo, I. Asakura, and Y. Miyashita. Contribution of working memory to transient activation in human inferior prefrontal cortex during performance of the wisconsin card sorting test. *Cerebral cortex*, 9 7:745–53, 1999.
- [20] Wim De Neys. Dual processing in reasoning: Two systems but one reasoner. *Psychological science*, 17(5):428–433, 2006.
- [21] Daniela Schoofs, Oliver T Wolf, and Tom Smeets. Cold pressor stress impairs performance on working memory tasks requiring executive functions in healthy young men. *Behavioral neuroscience*, 123(5):1066, 2009.
- [22] Sonia J Lupien, Christian J Gillin, and Richard L Hauger. Working memory is more sensitive than declarative memory to the acute effects of corticosteroids: A dose–response study in humans. *Behavioral neuroscience*, 113(3):420, 1999.
- [23] Adam R Aron, Stephen Monsell, Barbara J Sahakian, and Trevor W Robbins. A componential analysis of task-switching deficits associated with lesions of left and right frontal cortex. *Brain*, 127(7):1561–1573, 2004.
- [24] Chuh-Hyoun Lie, Karsten Specht, John C Marshall, and Gereon R Fink. Using fmri to decompose the neural processes underlying the wisconsin card sorting test. *Neuroimage*, 30(3):1038–1049, 2006.
- [25] M Laiacona, MG Inzaghi, A De Tanti, and E Capitani. Wisconsin card sorting test: a new global score, with italian norms, and its relationship with the weigl sorting test. *Neurological Sciences*, 21(5):279–291, 2000.
- [26] Rikard Küller, Byron Mikellides, and Jan Janssens. Color, arousal, and performance—a comparison of three experiments. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 34(2):141–152, 2009.
- [27] Joseph K Goodman, Cynthia E Cryder, and Amar Cheema. Data collection in a flat world: The strengths and weaknesses of mechanical turk samples. *Journal of Behavioral Decision Making*, 26(3):213–224, 2013.
- [28] Margaret M Bradley and Peter J Lang. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 25(1):49–59, 1994.
- [29] Kent Berridge and Piotr Winkielman. What is an unconscious emotion?(the case for unconscious” liking”). *Cognition and emotion*, 17(2):181–211, 2003.
- [30] Paul Ekman and Wallace V Friesen. Felt, false, and miserable smiles. *Journal of nonverbal behavior*, 6(4):238–252, 1982.