

個人ごとのウェルビーイング空間実現のための アンカリングバイアスを含む 温熱感覚の時間変化のモデル化と検証

大阪大学 基礎工学部 情報科学科 ソフトウェア科学コース
村田研究室
伊藤 碧
2025 / 2 / 13

1

研究背景

2

- **ライフワークバランスを重視した労働環境の変化^[1]**
 - 生産効率を重視した働き方の普及
 - 働き方改革による労働時間の短縮
 - テレワークやフレックスタイム制の導入
- **労働環境の変化によるストレスの増加**
 - 労働時間の短縮により、単位時間当たりのストレスが増加
- **ウェルビーイング空間実現によるストレスの軽減**
 - 人の感覚に合わせた空間制御が重要
 - 人の感覚には個人差や認知における系統的な偏りである認知バイアスが存在
 - 感覚の個人差や認知バイアスを考慮した温熱感覚の推定が必要
 - 温熱感覚の個人差や認知バイアスに着目した先行研究が複数存在
 - 個人の特性を考慮したモデル化までは行われていない

^[1]厚生労働省, "雇用・労働 仕事と生活の調和"
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsite/bunya/kyoyu_roudou/roudoukijun/shigoto/index.html (Accessed: 2025-02-05).

2

研究目的・アプローチ

3

- **本研究の目的**
 - 各個人に適したウェルビーイング空間の実現に向けたアンカリングバイアスを含む温熱感覚の推定モデルの確立
- **アプローチ**
 1. ベイジアンアトラクターモデル^[2]をベースとした推定モデルを構築する
 2. 気温、心拍数、手首温度のセンシング情報とアンカリングバイアスを反映したアンカー情報を統合し、温熱感覚を推定する
 3. 個人ごとの温熱感覚の特性を考慮してモデルのフィッティングを行う

^[2] S. Bittner, J. Bruineberg, and S. J. Kiebel, "A bayesian attractor model for perceptual decision making," *PLOS Computational Biology*, vol. 11, no. 8, pp. 1–35, Aug. 2015.

3

アンカリングバイアス

4

- **過去の情報に影響を受け、その後の感覚が変化する認知バイアス**
 - 過去の情報を基準値として設定し、その後の認知に影響を与える^[3]
 - 例：「5分間運動を続けた今の温熱感覚は、5分前よりも高いに感じない」
 - 自身の回答を運動の進行に一貫させようとする
- **温熱感覚の推定において、アンカリングバイアスの存在が問題**
 - 環境条件と人の感覚認知に乖離が生じる
 - センシング情報のみでは正確な推定が困難となる

^[3] M. Raccuglia, C. Heyde, A. Lloyd, D. Ruiz, S. Hodder, and G. Havenith, "Anchoring biases affect repeated scores of thermal, moisture, tactile and comfort sensations in transient conditions," *International Journal of Biometeorology*, vol. 62, pp. 1945–1954, Aug. 2018.

4

ベイジアンアトラクターモデル (BAM)

5

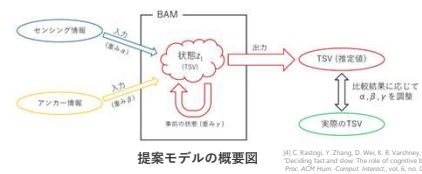
- **生物が外界からの観測をもとに意思決定を行う仕組みのモデル化**
 - 意思決定の状態 z_t と観測値 x_t は以下の式に従う
 - $z_t = f(z_{t-1}) + w_t$
 - $f(z_{t-1})$: アトラクターダイナミクス
 - w_t : ダイナミクスの不確かさを表すノイズ項
 - $x_t = M\sigma(z_t) + v_t$
 - M : 代表値の行列
 - v_t : 観測値の不確かさを表すノイズ項
 - $w_t \sim N(0, \sigma^2)$
 - $v_t \sim N\left(0, \begin{bmatrix} S_1^2 & 0 \\ 0 & S_2^2 \end{bmatrix}\right)$
 - 意思決定の選択肢の数 N に応じて N 個のアトラクターを持つ
 - アトラクターに対し、それぞれ観測値の代表値を設定
 - 観測値と事前の状態をもとに z_t を更新
 - z_t が特定のアトラクターに近い時、それに対応する意思決定を行う

5

提案モデルの概要

6

- **センシング情報とアンカー情報を入力とし、TSVを推定**
 - TSV (温熱感覚投票) : 温熱感覚の評価においてよく利用される、温熱感覚の主観評価を-3 (非常に寒い) ~ 3 (非常に暑い) で表す指標
 - 2つの入力からの推定値と事前の状態を統合し、TSVの推定値を出力
- **人の意思決定状態を以下の式で表現^[4]**
 - $P(z_t|D, D_f) \propto P(D|z_t)^\alpha P(D_f|z_t)^\beta P(z_t|z_{t-1})^\gamma$
 - 意思決定状態 $P(z_t|D, D_f)$ をセンシング情報 D 、アンカー情報 D_f 、事前の状態に依存するとしてモデルを設計し、三者の推定における重みを α, β, γ により調整



提案モデルの概要図

^[4] C. Rastogi, Y. Zhang, D. Wu, K. S. Vardhney, A. Dhurandhar, and R. Tomsett, "Deciding fast and slow: The role of cognitive biases in AI-assisted decision-making," *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, vol. 6, no. CSCW1, Apr. 2022.

6

アンカー情報の設定

7

- どの経験が印象に残り、アンカーとして働くかは個人ごとに異なる
 - 印象的な経験である可能性の高いピーク時のTSVをアンカー情報に設定
 - 後の推定でアンカー情報を参照
 - アンカー情報の重みを β により調整
 - バイアスの個人差を推定に反映
- 正と負のそれぞれに関し、直近のピーク時のTSVを保持
 - 図の赤点で正の、青点で負のアンカー情報を更新
 - アンカー情報とセンシング情報を組み合わせ、アンカリングバイアスを反映した推定を行う

アンカー情報の更新例

7

各個人へのモデルのフィッティング

8

- パラメータ α 、 β 、 γ を個人ごとにフィッティング
 - センシング情報、アンカー情報、事前の状態への依存度を調整
 - 推定値と実際のTSVを比較し、調整を繰り返す
- 推定精度を価値関数により定量化
 - Value = $\frac{r}{1 + \frac{\sum_{n=1}^N |T_n - P_n|}{N}}$
 - rはTSVとその推定値の相関係数
 - 分母はTSVとその推定値の平均誤差
 - 元データと相関が強く、誤差が小さいほど価値関数の値が増加
- 価値関数を最大化する方向にパラメータをフィッティング
 - Optuna^[6]を用いたベイズ最適化によりパラメータを探索
 - α 、 β 、 γ の初期値をランダムに設定
 - 価値関数の値を算出
 - それまでに得られた結果をもとに、 α 、 β 、 γ を変化させる

パラメータ探索の概要図

[6] T. Akiba, S. Sano, T. Yanase, T. Ohno, and M. Koyama, "Optuna: A next-generation hyperparameter optimization framework," arXiv preprint arXiv:1907.09300, Jul. 2019.

8

評価方法

9

- 文献^[6]のデータセットを使用して推定・評価を行う
 - 実世界で収集された個人の複数時点におけるデータセット
 - 14人の被験者（女性6人、男性8人）から収集された
 - 温熱感覚の主観評価とウェアラブルセンサーにより取得した生体情報を含む
 - 被験者13人分のデータを使用
 - 欠損が多く推定が困難であった1人分のデータを除いた
 - 気温、心拍数、手首温度を取得し、センシング情報として入力
 - 推定精度を評価
 - 価値関数の値
 - TSVとその推定値の平均二乗誤差・相関係数
- 条件を切り替えて推定精度を比較
 - BAMのアトラクターに対する代表値の設定方法
 - 個人ごとのデータをもとに設定
 - 平均のデータをもとに設定
 - アンカー情報の使用の有無

	代表値の設定方法	アンカー情報の使用
条件1	個別	○
条件2	個別	×
条件3	平均	○

[6] S. Liu, S. Schiavon, H. P. Das, M. Jin, and C. J. Spanos, "Personal thermal comfort models with wearable sensors," Buildings and Environment, vol. 162, p. 102981, Sep. 2019.

9

評価結果 (アンカー情報の有無による比較)

10

- TSV変化時の推定精度が向上
 - センシング情報とTSVの乖離をアンカー情報により補正する効果
 - 平均二乗誤差が大きく減少

	Value	平均二乗誤差	相関係数
条件1	0.37	1.15	0.69
条件2	0.30	1.45	0.58

センシング情報とTSVの乖離を補正

条件1 (個別の代表値設定、アンカー情報あり) 条件2 (個別の代表値設定、アンカー情報なし)

10

評価結果 (代表値の設定方法による比較)

11

- TSVの変化の傾向の再現度合いが向上
 - 個別の代表値の設定により、センシング情報からの推定精度が向上
 - 相関係数が大きく向上

	Value	平均二乗誤差	相関係数
条件1	0.37	1.15	0.69
条件3	0.24	1.27	0.45

条件1 (個別の代表値設定、アンカー情報あり) 条件3 (平均の代表値設定、アンカー情報あり)

11

結果と考察

12

- 被験者13人分のデータで条件別に価値関数の値を比較
 - 個別の代表値の設定により、価値関数の値が平均で51.6%向上
 - 平均二乗誤差が平均で36.6%減少
 - 相関係数が平均で30.7%増加
 - アンカー情報の使用により、価値関数の値が平均で18.3%向上
 - 平均二乗誤差が平均で17.5%減少
 - 相関係数が平均で8.9%増加
 - 個別の代表値の設定、アンカー情報の使用の効果は個人ごとに異なる
 - 各個人に適した手法の選択やモデルの構築が重要
- 代表値の設定方法が推定精度に与える影響が大きい
 - 多くの被験者で温熱感覚がセンシング情報に依存しやすいため
- 平均二乗誤差の向上率が高い
 - アンカー情報が相関係数に与える影響が小さい
 - 相関係数を向上できる指標の導入により、更なる精度向上が可能

12

まとめと今後の課題

13

- **まとめ**
 - 温熱感覚の個人差とアンカリングバイアスを考慮した推定モデルを確立
 - 各個人のデータを用いたフィッティングにより、推定精度が平均で51.6%向上
 - アンカリングバイアスの組み込みにより、推定精度が平均で18.3%向上
- **今後の課題**
 - 被験者実験による推定モデルの有用性の確認
 - 幅広い人に対し安定した推定精度を発揮できるモデルを目指す
 - アンカー情報の設定の見直し
 - アンカリングバイアスをより正確に定量化できるよう検討
 - アンカリングバイアス以外の認知バイアスへの対応
 - 実際の人の感覚では複数の認知バイアスが同時に作用するケースが考えられる
 - 学習と推定に異なる時系列のデータを使用した場合の推定精度向上
 - 今回は同じ時系列のデータを使用した