



# 複合現実感システムにおける深層学習を用いた 不快感推定の試み

A preliminary study on discomfort estimation using deep learning for mixed reality systems

伴地芳啓<sup>1)</sup>, 河合隆史<sup>1)</sup>

Yoshihiro BANCHI, and Takashi KAWAI

1) 早稲田大学 基幹理工学部 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, y.banchi@aoni.waseda.jp)

**概要**：複合現実感 (MR) システムでは、しばしば映像酔いなどユーザの不快感の生起が報告されている。しかし、その要因を特定・解決することは困難なため、不快感が生起するタイミングで休憩などを促す予防策が期待される。本研究では、MR システム使用中の生理・心理指標を測定・解析し、深層学習を用いた不快感の推定手法について予備的な検討を行なった。結果から、目的変数である心理指標と説明変数である生理指標に、一定の対応を認めることができた。

**キーワード**：複合現実感 (MR)、映像酔い、ヘッドマウントディスプレイ (HMD)

## 1. はじめに

近年、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いた複合現実感 (Mixed Reality : MR) システムが、さまざまな分野で活用されるのに伴い、ユーザへの不快感の生起が懸念されている。これらは、VR における映像酔いと類似したものとの意見もあり、感覚不一致により引き起こされるとも考えられている。

動揺病を含むこのような不快感に対し、そもそも不快感の症状が発生する前に、人間の生理指標を用いて不快感を推定しようとする試みがされている。中川らは VE 技術による動揺病と生理指標の関連を検討しており[1-3]、呼吸と不快感の一定の対応を確認している。また、老沼らは VR 技術による不快感と生理指標の関連を検討しており[4]、呼吸数と心拍変動の対応を確認している。

同時に近年、深層学習を用いた人間の状態推定が盛んに行われるようになってきた[5, 6]。そこで本研究では、深層

学習を用いた MR システムの使用に伴う不快感の推定手法に関する基礎的な検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験タスク

実験タスクとして、継続的にプレイ可能な立体パズル「賢人パズル (エド・インター社)」を設定した。賢人パズルは 7 つの色と形の異なるブロックを、3×3 の立方体に組み合わせるものである。本実験では、観察および組立動作を統制するため、組立手順を 1 ブロックずつ呈示し、参加者は呈示手順通りに立体パズルを組み立てるように指示した。

### 2.2 実験条件・環境

実験条件として、MR 条件と Monitor 条件を設定した。MR 条件は、MREAL Display MD-20 (キヤノン製ビデオシースルー型 HMD) を通じて、組立手順を呈示した。Monitor

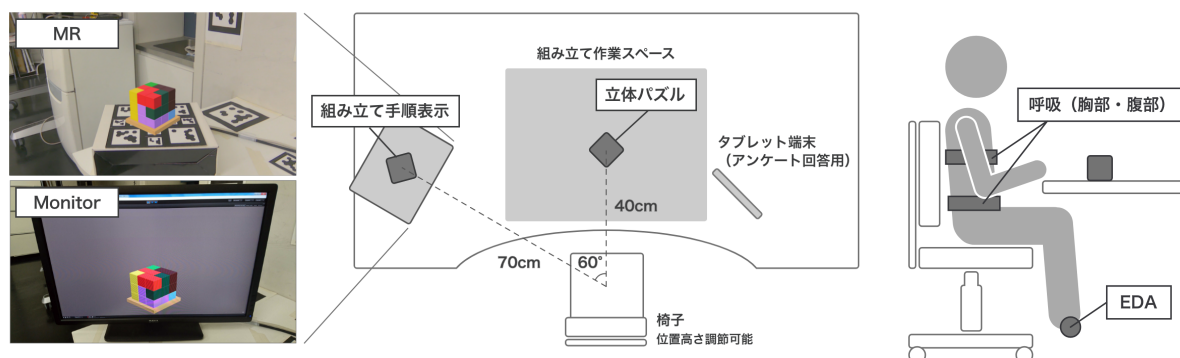


図 1: 実験環境 (左: 呈示刺激, 中央: タスク環境, 右: 参加者とセンサー)

条件では、24 インチモニター (Dell U2412M) に組立手順を呈示した。パズルの組立位置は参加者の前方 40cm とし、組立手順の呈示は左 60 度方向 70cm とした。組立手順の呈示では、パズルを実寸大に設定し、MR・Monitor 条件で表示される立方体の面の対角線の長さが同じになるように調整した。

### 2.3 評価指標

主観指標として、映像酔いの評価質問紙 (Simulator Sickness Questionnaire : SSQ) [7] と不快感の程度について「1.全くなくともない」、「2.少し不快である」、「3.かなり不快である」の 3 段階の不快感アンケートを実施した。客観指標として、胸部と腹部の呼吸と足底の皮膚電気活動のデータ (Biosignals Plux) および HMD のヘッドトラッキングデータを取得した。

### 2.4 手続き

はじめに参加者からインフォームドコンセントを得て、各種センサを装着した。HMD 装着時には眼間距離の測定・調節を行った。実験試行は、安静閉眼状態の安静区間 3 分間、タスク区間 15 分間、回復時間 3 分間で構成され、MR および Monitor 条件の 2 試行をランダムな順序で実施した。試行間には 10 分間程度の休憩を設け、参加者の回復を確認した。また、SSQ は各区間の前後に不快感アンケートはタスク区間 1 分毎に実施した。参加者は正常な視力を有した 20 代の男性 12 例 (平均年齢  $22.63 \pm 0.92$ ) であった。

## 3. 結果

### 3.1 主観指標

SSQ に関して、各区間の前後の差分を変化量として算出した結果を図 2 に示す。各因子の変化量について条件と区間を要因に二元配置分散分析を行った。

Total Score に関して、条件の主効果 ( $F(1, 11)=19.871$ ,  $p<.01$ )、区間の主効果 ( $F(2, 22)=25.056$ ,  $p<.01$ )、交互作用 ( $F(1.37, 22.384)=9.752$ ,  $p<.01$ ) に有意差が認められた。下位検定の結果、タスク区間の条件間 ( $p<.01$ )、回復区間の条件間 ( $p<.05$ )、MR 条件における安静区間と回復区間よりもタスク区間の有意なスコアの上昇 ( $p<.01$ ) と安静区間よりも回復区間の有意なスコアの上昇 ( $p<.01$ )、Monitor 条件における安静区間よりもタスク区間の有意なスコアの上昇 ( $p<.05$ ) が確認された。Nausea, Oculomotor, Disorientation に関しても、Total Score と同様の傾向が確認された。

不快感アンケートに関して、タスク前からの変化量を算出した結果を図 3 に示す。条件と時間を要因に二元配置分散分析を行った結果、条件の主効果 ( $F(1, 11)=22.036$ ,  $p<.01$ )、時間の主効果 ( $F(14, 154)=8.375$ ,  $p<.01$ )、交互作用 ( $F(14, 154)=9.991$ ,  $p<.01$ ) に有意差が認められた。下位検定の結果、4 分後以降の条件間 ( $p<.05$ )、MR 条件における 1・2 分後よりも 14 分後の有意なスコアの上昇 ( $p<.05$ ) が確認された。

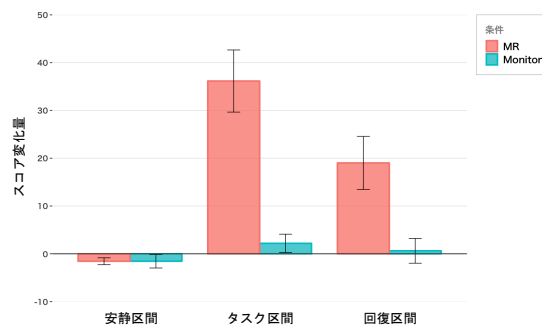


図 2: SSQ 結果 (Total Score)

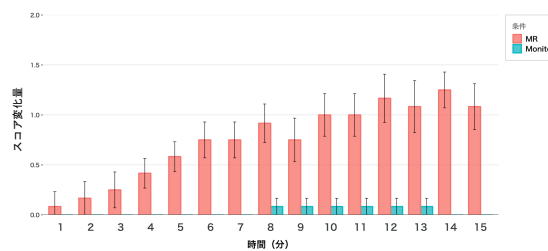


図 3: 不快感アンケート結果

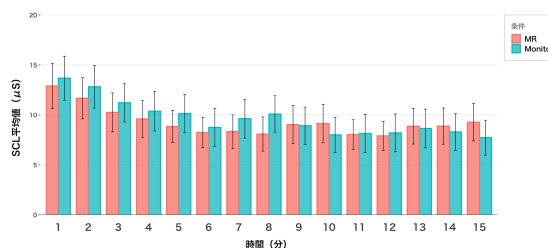


図 4: SCL 結果 (タスク区間)

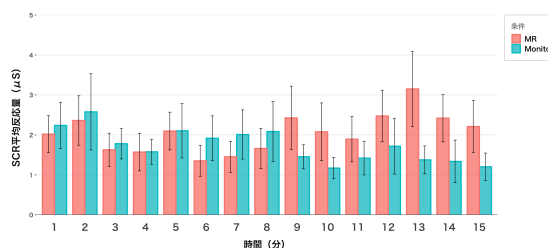


図 5: SCR 結果 (タスク区間)

### 3.2 客観指標

皮膚電気活動に関して、ノイズ除去のための平滑化を行ったのち、皮膚コンダクタンス水準 (SCL) と皮膚コンダクタンス反応 (SCR) を算出した。

SCL に関して、タスク区間について 1 分毎の平均値をスコアとした結果を図 4 に示す。条件と時間を要因に二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果 ( $F(14, 154)=5.114$ ,  $p<.01$ ) に有意差が認められた。

SCR に関して、タスク区間について、1 分毎の平均値をスコアとした結果を図 5 に示す。条件と時間を要因に二元配置分散分析を行った結果、交互作用 ( $F(14, 154)=1.979$ ,  $p<.05$ ) に有意差が認められた。下位検定の結果、14 分後の条件間 ( $p<.05$ ) に有意差が、13 分後と 15 分後の条件間 ( $p<.10$ ) に有意傾向が認められた。

呼吸に関して、ノイズ除去のための平滑化を行ったのち、個人差のばらつきを軽減するための標準化を安静区間のデータを用いて行った。先行研究より[3, 9], 振幅・時間に関する各種指標を算出した。タスク区間に関して、1 分毎の各指標について条件と時間を要因に二元配置分散分析を行った。

胸部のポーズ時間に関して、交互作用 ( $F(14, 154)=2.256$ ,  $p<.01$ ) に有意差が認められた。下位検定の結果、12 分後と 13 分後の条件間 ( $p<.05$ ) に有意差が、8 分後と 15 分後の条件間 ( $p<.10$ ) に有意傾向が認められた。

腹部の呼吸周期変動指数に関して、条件 ( $F(1, 11)=4.168$ ,  $p<.10$ ) と交互作用 ( $F(14, 154)=1.706$ ,  $p<.10$ ) に有意傾向がみられた。下位検定の結果、12 分後以降の条件間 ( $p<.05$ ) に有意差が認められた。

呼吸数に関して (図 6), 胸部および腹部において時間の主効果 (胸部:  $F(14, 140)=2.343$ ,  $p<.01$ , 腹部:  $F(14, 140)=2.062$ ,  $p<.05$ ) に有意差が認められた。

4. 深層学習を用いた不快感の推定

客観指標からタスク区間の不快感を、深層学習を用いて推定した。説明変数は平滑化した皮膚電気活動、腹部および胸部の呼吸データ、ヘッドトラッキングデータ (位置 3 軸・回転 3 軸) の 9 変数とし欠損値および外れ値を多く含む区間は除外した。目的変数は不快感アンケートのスコアとした。それぞれのデータ件数は、「1.全くなんともない」が 69 件、「2.少し不快である」が 74 件、「3.かなり不快である」が 30 件であった。アンケート回答前 1 分間のデータから目的変数を推定した。また、MR 条件のデータのみを対象とした。機械学習のモデルは、1DCNN (C), Average Pooling (P), Dropout が 3 層, Dense (D) が 2 層であった。CNN の kernel window はそれぞれ 10, 5, 3 であり, Average Pooling の pool および strides はそれぞれ 4, 3, 2 で, Dropout の rate はそれぞれ 0.17, 0.47, 0.16 であった。活性化関数には LeakyReLU ( $\alpha=0.2$ ) を用い, 最終層では softmax を用いた。このモデルの簡単な説明は, C(50)—P(50)—C(50)—P(50)—D(100)—D(3)である。最適化アルゴリズムには Adam を用い, 損失関数は categorical crossentropy を用いた。4 分割交差検証の結果の平均値を表 1 に示す。各不快感スコアの F1 値は「1.全くなんともない」が 0.602, 「2.少し不快である」が 0.555, 「3.かなり不快である」が 0.290 であった。

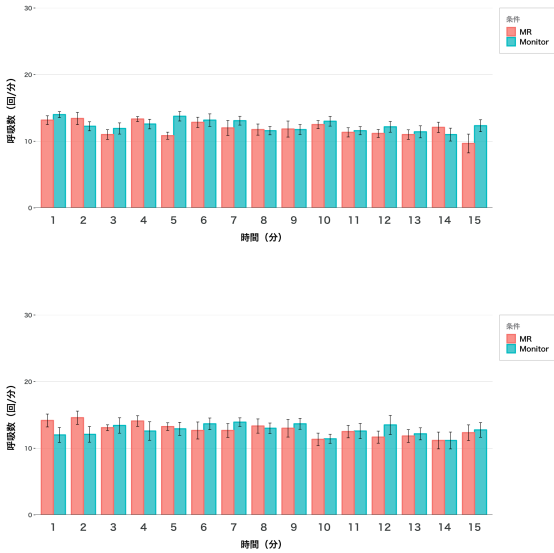


図 6：呼吸数結果（上：胸部，下：腹部）

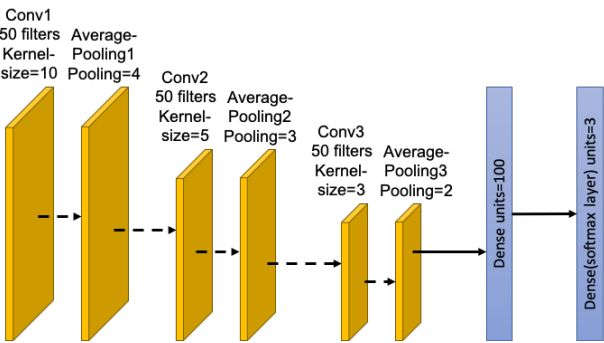


図 7：深層学習で用いたモデルの概要

表 1：交差検証の結果

|      |   | 不快感  | Prediction |    |    |   |
|------|---|------|------------|----|----|---|
|      |   |      | 1          | 2  | 3  |   |
| 交差検証 | 1 | TRUE | 1          | 14 | 7  | 0 |
|      |   |      | 2          | 2  | 10 | 4 |
|      |   |      | 3          | 2  | 4  | 1 |
|      | 2 |      | 1          | 14 | 7  | 0 |
|      |   |      | 2          | 2  | 10 | 4 |
|      |   |      | 3          | 2  | 4  | 1 |
|      | 3 |      | 1          | 18 | 5  | 0 |
|      |   |      | 2          | 4  | 6  | 2 |
|      |   |      | 3          | 1  | 5  | 2 |
|      | 4 |      | 1          | 6  | 3  | 3 |
|      |   |      | 2          | 9  | 12 | 1 |
|      |   |      | 3          | 2  | 4  | 3 |

5. 考察

5.1 主観指標

SSQ の Total Score の結果より、MR 条件と Monitor 条件の両条件で継続作業に伴う不快感の有意な上昇が確認された。また、SSQ の他の 3 因子を含め、タスク区間と回復区間において Monitor 条件に比べ MR 条件の有意なスコアの上昇が確認された。これらのことから、現実環境での

継続作業よりも MR 環境下での継続作業に伴う不快感が大きいたことが示唆された。

不快感アンケートの結果より、MR 条件では 14 分前後で初期段階よりも不快感の有意な上昇が確認された。一方で Monitor 条件ではスコアの上昇は確認されず、SSQ の結果と異なる傾向であった。これは、継続作業中は自覚の無かった疲労が SSQ 回答時に自覚されたと考えられる。

## 5.2 客観指標

SCL に関して、タスク区間で時間の経過に伴い減少する傾向が確認された。不快感に伴い SCL は上昇することが確認されており[8]、本実験の結果とは一致しない。このことは、両条件で同様の傾向がみられたことから継続作業による影響であると考えられるが、詳細な検討が必要である。

SCR に関して、タスク区間で 14 分前後に条件間の差がみられた。この結果は、不快感アンケートの結果と対応し、不快感との関連が示唆された。

胸部ポーズ時間に関して、時間の経過に伴い条件間に差がみられた。また、MR 条件では時間の経過に伴い変動が大きくなる傾向がみられた。先行研究では[9, 10]、ストレスにより胸部・腹部ポーズ時間での減少が確認されており、本実験の結果とは一致しない。このことは、腹部と胸部の関連により複雑に変化したと考えられる。呼吸周期変動指数に関して、腹部において 12 分後以降に有意差がみられた。中程度以上の不快感の関連が確認されており[3]、不快感アンケートとの対応も確認されていることから、不快感との関連が示唆される。

呼吸数に関して、時間の主効果に有意差がみられた。呼吸数はストレスにより変化することが確認されているが、刺激により増減が変化する[4, 11]。本研究では、減少傾向がみられたため、不快感との関連が示唆される。

## 5.3 不快感推定

F1 値の結果より、「1.全くなんともない」、「2.少し不快である」で人間の状態推定という意味で一定の精度が確認された。一方で、「3.かなり不快である」の精度は低かった。これは、「3.かなり不快である」のデータ件数が少なかったことが一因であると考えられる。なお、不快感の推定では初期段階での検出が重要であることから、「1.全くなんともない」と「2.少し不快である」の識別が重要であると考えられる。そのため、今回の実験で生理指標として選択した皮膚電気活動・呼吸・頭部運動を用いることに、一定の有効性を認めることができたといえる。

## 6. むすび

本研究では、MR システム使用中の生理・心理指標を測定・解析し、深層学習を用いた不快感の推定手法について検討を行なった。結果から、MR システムを用いた継続作業において時間の経過に伴う不快感と皮膚コンダクタンス反応に対応関係がみられた。また、皮膚電気活動・呼吸・頭部運動から不快感の生起を推定する可能性が示唆された。今後は、他の生理指標の検討や深層学習のモデルの最

適化などに取り組むことで、不快感の推定精度の向上を目指す。

**謝辞** 本研究の推進にあたり、当時本学 基幹理工学研究科の西奏人さん、並びにキヤノン株式会社さまに多大なご助力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 中川千鶴, 大須賀美恵子, 竹田仰: VE 酔い評価手法の開発に向けての基礎的検討, 人間工学, Vol. 36, No. 3, pp. 131-138, 2000.
- [2] 中川千鶴, 大須賀美恵子, 竹田仰: 映像と動きに誘発された「酔い」における生理反応の基礎的検討: 大型 4 面立体映像提示装置と 6 軸モーションを用いて (<特集>VR 空間における心理学), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 6, No. 1, pp. 27-35, 2001.
- [3] 中川千鶴, 大須賀美恵子: 呼吸波形解析プログラムとその応用, 人間工学, Vol. 43, No. 1, pp. 33-40, 2007.
- [4] 老沼みゆ紀, 平柳要, 岩崎賢一, 山口喜久, 塩澤友規, 金慧徳, 谷島一嘉, 荒川泰行: VR を用いた視覚刺激による動揺病様症状発症時の自律神経機能, 日本人間工学会第 43 回大会講演集, Vol. 38spl, pp. 300-301, 2002.
- [5] Francisco Javier Ordóñez, Daniel Roggen: Deep Convolutional and LSTM Recurrent Neural Networks for Multimodal Wearable Activity Recognition, Sensors, Vol. 16, 2019.
- [6] Carlos Avilés-Cruz, Andrés Ferreyra-Ramírez, Arturo Zúñiga-López, Juan Villegas-Cortez: Coarse-Fine Convolutional Deep-Learning Strategy for Human Activity Recognition, Sensors, Vol. 19, 2019.
- [7] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, Michael G. Lilienthal: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology, Vol. 3, No. 3, pp. 203-220, 1993.
- [8] 島田多佳子: 快・不快感情と皮膚深部温, 皮膚電気伝導水準の関連, 日本看護技術学会誌, Vol. 3, No. 2, pp. 5-12, 2004.
- [9] 梅沢章男: ストレス刺激に対する呼吸活動の変容, 生理心理学と精神生理学, Vol. 9, No. 1, pp. 43-55, 1991.
- [10] Harvey D. Cohen, Donald R. Goodenough, Herman A. Witkin, Philip Oltman, Harry Gould, Ernest Shulman: The Effects of Stress on Components of the Respiration Cycle, Psychophysiology, Vol. 12, No. 4, pp. 377-380, 1975.
- [11] 井野秀一: VR 刺激の生体への影響 (<特集>バーチャルリアリティの新しい潮流), バイオメカニズム学会誌, Vol. 25, No. 2, pp. 75-80, 2001.