

人間・環境系の動的相互作用モデルに基づく環境制御

研究代表者：原 直也

研究分担者：小谷 賢太郎・村中 徳明・倉田 純一・鈴木 哲・
花田 良子・朝尾 隆文

1. はじめに

原直也*¹

情報化社会の進展に伴い近い将来、実空間の居住環境のあらゆる状態が情報空間上に配置され、それら情報に基づいた環境制御が可能となることが予想される。適切な環境制御は、単なる目標とする物理的環境条件の達成を目標にするのではなく、滞在者の生理応答や心理応答、行動に即したものであることが望まれる。その実現には、「人間・環境系の動的相互作用モデルに基づく環境制御」を可能にする必要が生じ、本研究グループはその可能性の追求を目指して学際的に議論・実証していくことにチャレンジしている。本稿は、その一環として各研究者が取り組んだ研究の概要を示し、総括するものである。

2. 生体情報を用いた客観的な認知的作業負荷評価手法の開発

鈴木哲*²

今年度よりペンシルバニア州立大学との共同研究として、認知的作業負荷（コグニティブワークロード）評価手法に関する検討と実験を開始した。

身体的作業負荷（フィジカルワークロード）および精神的作業負荷（メンタルワークロード）の評価手法についてはISOでも規定され、一般化されつつあるが、一方で認知的作業負荷における評価手法は、産業界からの要求や必要性は高いものの未だに確立されておらず、検討自体も少ないのが現状である。生体信号等の客観的な計測データによる評価が要件とされることから、本プロジェクトでは脳波や心電図等の生体信号を取得し、作業中の認知的負荷の程度を推定する方法の構築を目的としている。

モデル作業には、NASAが開発したMATB-II（The Multi-Attribute Task Battery）を利用し、その難易度の変化に対応する生体信号の変化との関係性を検討することにより、認知的負荷の推定を行っている。

現状では、仮説検証のための実験設計と解析の段階であるが、実験レベルであるものの一定の傾向が把握できしており、1年後の発表を目標に検討を続けている。他にも精神的作業負荷の新たな推定手法として、非接触による生体計測に基づく推定手法を独自に検討している¹⁾。この手法も企業との共同研究に適用し、良好な結果を得つつあることから、これらの評価手法を併せて実施することにより、総合的且つ実用性の高い作業負荷評価方法の確立を目指している。

3. 爪色と皮膚変形量を用いたなぞり動作時の指先力推定技術の開発

小谷賢太郎*³

ヒトはなぞり触運動による物体表面の状態や質感の検知や、物体を滑ることなく巧みに把持することができる。このような優れた特性を持つヒトの触覚受容機構を解明することは、生体を模倣した触覚センサや仮想的な触覚生成機構の開発のために重要であると言われている。その中でも、触動作を伴う時の指先力を定量的に推定することができれば、美容分野や医療分野において言葉で伝達することが容易でなかった暗黙的なスキルを明示的に共有することの可能性などが期待されている。また、その他の触覚分野において、個人ごとの癖の矯正や触覚・触感に関する研究や研究開発への応用が期待されている。

先行研究では様々な装置が開発されているが、グローブ式の装置などは触覚部分を装置が覆う形になり、普段とは操作性が異なる、触れている対象の触感が分からないといった課題が挙げられている他、指先に力を加えた際に生じる皮膚の変形量を利用したひずみゲージを用い

*1 環境都市工学部教授 博士（工学）

*2 システム理工学部准教授 博士（工学）

*3 システム理工学部教授 Ph.D.

た装置や、光センサを応用して爪床部の血流量変化を測定することで指先力を推定する装置は指への装着の必要性から拘束感やコスト面での課題点が挙げられている。そして、これらを考慮したカメラを利用した指先非接触下における指先力を推定する装置は、装置位置の制限からなぞり動作時などの触動作を行うような場合の指先力の推定を行うに至っていない。そこで、なぞり動作時の指画像を取得する装置を製作した。本研究は、なぞり動作時の皮膚変形量と爪色変化傾向を評価することで、製作した装置の精度評価を目的として行った。

先行研究の知見から、なぞり動作を伴わない単純指先押下時での評価可能と言われている指先力 0~10 N の範囲内で被験者 4 名を対象に実験を行ったが、なぞり動作を伴う場合は、上記の範囲では力が強すぎてなぞり動作を行い難いという被検者からの意見や、実際に取得した指先画像から 2N 時ですでに爪色変化が飽和しているように見られた。そこで、「ヒトがなぞり動作を行う時は、材質が何であるかを探る時」という見解のもと、なぞり動作を行う上での指先力調査を被検者 5 名を対象に行い、指先力範囲の見直しを行った。その結果、指先力範囲設定を 0~2 N に再設定を行い、被検者 5 名を対象に再度実験を行い、指先力ごとの指先画像を取得した。得られた指先画像から爪-皮膚間距離の触動作前後の差分と爪画像をグレースケール変換し、さらに領域別に分割を行い、各爪領域の各指先力に対する爪色明度値データを作成した。

結果として、爪-皮膚間距離の触動作前後の差分データから、指先力との相関は見られなかったものの、値の正負によってなぞり動作時のなぞり方向を推定するための評価指標としての可能性が示唆された。爪色明度値に関しては、なぞり動作ごとに爪の領域を切り分けて解析を行うことによって領域ごとに相関の正負・強弱に差が見られた。このことにより、爪領域別に爪色明度値を用いることで製作した装置から指先力を推定する有効性を見出すことができた。この装置を用いた具体的な指先力推定に向けて、今後はデータの蓄積と RGB 情報を用いた解析や、手動で行っている解析箇所（爪画像の切り取りや爪-皮膚間距離の触動作前後の差分の解析の一部）や爪領域の切り分けの厳密化を行う必要があると考えている。

4. スマートフォンの片手操作時における手指の MSDs 発症に関連する要因の調査と実験的検討

小谷賢太郎

スマートフォンをはじめとする携帯端末の過度な使用により、肩や首、手指に筋骨格系の痛み (musculoskeletal

disorders : MSDs) の発症リスクの増加を招くことが懸念されている。スマートフォンの市場では、大型スマートフォンの投入が盛んに行われており、スマートフォンの片手での使用が好まれている背景を踏まえると、片手使用時におけるスマートフォンの大型化と MSDs の関係を議論することが重要であると考えられる。スマートフォンや携帯端末の大型化について、これまで様々な研究がなされてきたが、MSDs に関して議論した研究は少ない。先行研究では、携帯端末の大型化により MSDs の発症リスクはさらに増加に繋がる危険性が示唆されている。しかしながら、大型スマートフォンを片手で操作した際の MSDs の発症リスクについては検討できていない。

そこで本研究では、スマートフォンの片手操作時における手指の MSDs 発症に繋がる要因を明らかにすることを目的とし、スマートフォンの端末サイズと操作領域を独立に変化させ、これらの設計要素が手指の筋活動や母指の関節角度、および主観評価とどのように関連しているのかを調べた。また、ユーザの手の大きさの違いは、手指の MSDs とどの程度関連しているのかについても調査した。

本年度は、被験者 9 名を対象に端末サイズと操作領域の 2 要因を変化させた機体で実験を行った結果、端末サイズの大型化が把持の困難度や浅指屈筋の疲労レベルといった把持に関連する主観評価に悪影響を及ぼすことが分かり、端末サイズはスマートフォンの把持に関連していることが示唆された。また、操作領域の拡大が内転/外転軸の姿勢悪化を招き、短母指外転筋の peak 時の筋活動を増加させることが分かり、操作領域はスマートフォンの操作に関連していることが示唆された。さらに、手の短いユーザは内転/外転軸で非中立な姿勢をとり、浅指屈筋と短母指外転筋の筋活動が大きくなることが分かり、手の大きさはスマートフォンの持ち方を変化させ、操作中の手指の力や母指の姿勢に影響を及ぼしていることが示唆された。

5. ゲームプレイ時間と精神的疲労について

村中徳明^{*4}

近年、スマートフォンやタブレットなどの電子機器の普及、通信環境の向上により人々にとってゲームがより手軽に、身近なものとなってきた。また、ゲーム人口は年々増加傾向にあり、2018 年には、IOC (国際オリンピック委員会) が e スポーツ (electronic sports の省略: ゲームをスポーツとして扱い、ゲーム内のスコアやクリアタイム、対戦での勝敗を競う) をオリンピック競技の種目にするかどうかの検討がなされたこともあり、世間の

^{*4} システム理工学部教授 工学博士

ゲームに対する関心の高まりがうかがえる。

一方、ゲームに対する関心の高まりとともに、ゲームプレイ時間の増加が懸念され、生活に支障をきたす等、ゲームは良くないものという意見も数多くある。しかし、オックスフォード大学のAndrew Przybylski氏が小児科学の専門誌Pediatrics誌内で、10代の男女5000人にアンケート調査を行ったところ、1時間未満のゲームプレイ時間において、ゲームを全くしない人と比べ生活満足度や向社会行動が向上していたという記事がある。このことから、1時間前後のゲームプレイ時間は、何かしらの好影響があると考えられる。そこで、精神的疲労の観点からゲームプレイ時間が脳に与える影響について調べた。

実験に適したゲームを選定するにあたって、ゲームタイトルの知名度が高く、被験者の思考、動作が常にアクティブな状態であることが望ましい。そのため、eスポーツの競技種目の中から、知名度が高く、未経験者でも直感的に操作ができるアクションゲーム「大乱闘スマッシュブラザーズfor wiiU」を選択した。

ここで用いるNIRS (Near infrared spectroscopy: 近赤外分光法) (本研究では光トポグラフィ装置使用) は、酸素化ヘモグロビン、脱酸素化(還元)ヘモグロビンの近赤外光領域での吸収率が、波長に依存して大きく変化することに着目した脳機能を計測する装置である。被験者は20歳代の健常男性7名(A~G)であり、初期状態を計測後、ゲームをプレイする。ゲーム開始30分経過後から、15分刻みで75分まで疲労状態を計測する。

表1および図1に示すNIRSによる脳血流量計測結果

表1. タスク時における脳血流量の変化

	0 min	30 min	45 min	60 min	75 min
A	0.025815	0.061877	0.057925	0.004481	0.000222
B	0.008535	0.044894	0.017071	-0.00294	0.002889
C	-0.00588	0.042154	0.052002	0.023444	0.058757
D	-0.02528	0.062676	0.06262	0.015028	0.036077
E	-0.03142	0.029243	0.026357	0.027292	0.174443
F	0.004808	0.005141	0.047166	0.039495	0.029531
G	0.000874	-0.04397	-0.00223	-0.07361	0.000718

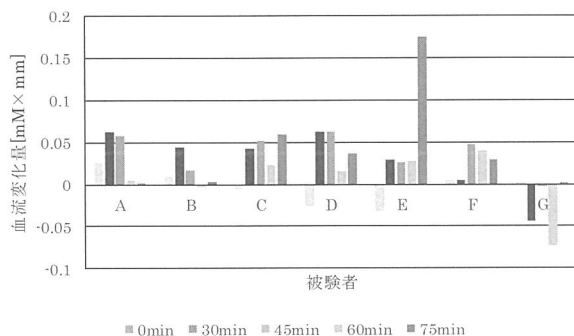


図1. NIRSによる脳血流量計測結果

からゲーム開始30分時点において、ゲームプレイ前より脳が活性化されている被験者は85.7% (6/7名)、45分時点においては85.7%(6/7名)、60分時点では57.1%(4/7名)、75分時点では57.1% (4/7名)であった。このことから、30~45分程度のゲームプレイは精神的疲労の改善に良い結果をもたらすと判断することができる。

しかし、まだ被験者数が充分とはいえないので、さらなる実験データが必要である。

6. 複数照明の好ましい協調変化過程に関する研究

濱本将稔^{*5}、原直也

LEDの容易な調光・調色性能は、一度の動作で複数の照明を変化する協調変化を可能にする。協調変化は、照明のIOT化等により将来的に普及すると考え、本研究では、どのような協調変化過程が好まれるのかを明らかにすることを目的とし、本稿では研究の端緒とした、単純な協調変化であるタスク(T)・アンビエント(A)照明における視作業を目的に、T照明を点灯させた際のT・A照明の照度と光色を共に協調変化させる種々の条件間の好ましさを評価の差異について報告する。

作業面(W)照度とA照度はその対数を、A照明の光色はその色度がu'v'色度図上を等速変化する制御を行った。条件は、一般的な変化としてA照度・光色が一定の変化を設定し、その他は照明の出力を下げ、省エネに寄与するためA照度を低下させると共に、T・A照明の同時変化による相互の強調・隠蔽効果による好ましさを評価の差異の確認のため、W照度にオーバーシュート(目標照度以上に増光後に目標照度に減光する)、A照度にアンダーシュート(目標照度以下に減光後に目標照度まで増光する)の付与や、A光色変化の有無やタイミングを組み合わせた変化を設定した。図2に時間と照度の対数との関係の模式図を示す。模式図の黒色の線はW照度(E_w)の変化を示し、点線にてオーバーシュートする変化を表し、灰色の線はA照度変化(E_A)を示し、点線にてアンダーシュートする変化を表す。実験は、大学生男女各4名づつに評定尺度法、一対比較法にて変化の好ましさを評価させた。

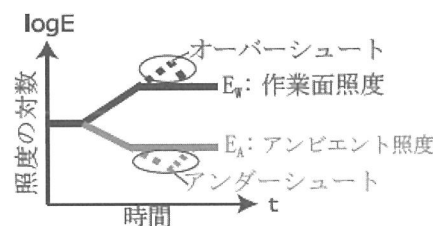
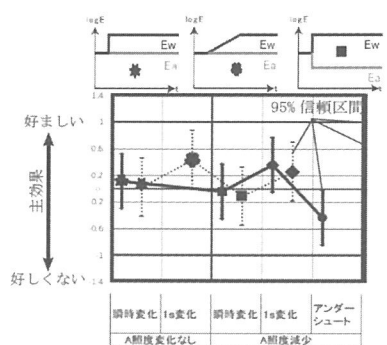
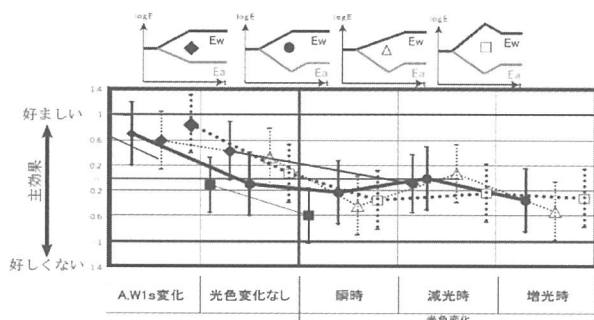


図2. 照度変化模式図

*5 理工学研究科



(a) 照度変化のみ変化



(b) 光色変化のみ変化

図3. 一対比較法の主効果

評定尺度では、「非常に好ましい」～「非常に嫌い」の6段階で評価させた。結果は、条件毎の評価の差があまり見られず、その評価は過半数が「やや好しい」以上だったために、全条件が好まれていると言える。

一対比較法では、その結果から主効果と95%信頼区間を算出し、図3にて(a)照度のみ変化、(b)光色変化を伴う変化にて示す。グラフ上の模式図内の記号とグラフの記号は対応している。直接一対比較した条件は直線か点線で結び、結ばれていない条件間の主効果や信頼区

間は比較できない。照度変化のみの場合は、A照明の変化の有無に依らず、1s変化させたものが好まれたが、アンダーシュートした変化は評価が低い結果が得られた。光色変化を伴う場合は、光色変化のタイミングによる評価の差異は見られない。一対比較法の結果から、光色変化のタイミングより、照度変化過程の違いがより好ましき評価に影響を及ぼすと思われる。

7. 総括

原直也

以上、紹介した通り、これまで人間・環境系の動的相互作用モデルに基づく環境制御研究グループにおいて、各研究者は環境が人間へ及ぼす影響を検討し、環境→人間系のモデリングに対して研究を展開し、それらの複雑な因果関係の元で影響に対するデータ解析を行う手法など、一定の成果を上げることができた。今後は、研究者間の連携を強めた上で、各メンバーが研究を推進することが必要である。

謝辞

本研究の一部は、「関西大学先端科学技術推進機構研究グループ予算(2018年度)」によって実施されたものである。

参考文献

- 1) S. Suzuki, Y. Terazawa, K. Kotani, T. Asao, Estimation of Mental Workload from Information about Peripheral Vessels by Non-contact Measurement using Microwave Radar, 2019 Inter. Conf. on IHSI, 6 (2019).

人間・環境系の動的相互作用モデルに基づく環境制御

2018年度 研究成果一覧表

論文

- (1) K. Yokota, Y. Hayashi, J. Kurata, A. Fujita, Effectiveness of a Self-Foot-Care Educational Program for Prevention of Diabetic Foot Disease, Health, 11(1), 9-19 (2019).

国際学会

- (1) N. Hara, The influence of the distance between the light source and the gazing point on the discomfort glare in the central vision, The 16th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, 5.2.1, United Kingdom (2018).
- (2) S. Suzuki, Y. Terazawa, K. Kotani, T. Asao, Estimation of Mental Workload from Information About Peripheral Vessels by Non-contact Measurement Using Microwave Radar, 2nd International Conference on Intelligent Human Systems Integration, USA (2019).
- (3) R. Tsuruno, K. Kotani, S. Suzuki, T. Asao, Use of Presentation of Thermal Stimulus for Enhancing Excitement During Video Viewing, 20th Congress of International Ergonomics Association, 2214, Italia (2018).
- (4) Y. Oga, K. Kotani, S. Suzuki, T. Asao, Effectiveness of Stability Evaluation by Acceleration and Angular Velocity While Operating Smartphones, 20th Congress of International Ergonomics Association, 2218, Italia (2018).
- (5) I. Ohashi, K. Kotani, S. Suzuki, T. Asao, T. Harada, Comparison of Electromyogram During Ball Catching Task in Haptic VR and Real Environment, The 20th International Conference on Human-Computer Interaction, S134(4), USA (2018).
- (6) S. Murakami, K. Kotani, S. Suzuki, T. Asao, Evaluation of Discomfort Degree Estimation System with Pupil Variation in Partial 3D Images, The 20th International Conference on Human-Computer Interaction, S134(6), USA (2018).
- (7) T. Shibata, K. Fujiwara, T. Asao, K. Kotani, S. Suzuki, Relationship between Subjective Speed for CG Images and Optical Flow by Means of Image Processing, Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea and 20th Korea-Japan Joint Symposium, Korea (2018).
- (8) R. Kuwahara, T. Asao, T. Wada, K. Kotani, S. Suzuki, Control over Machine Operations Influences the Vestibulo-Ocular Reflex, Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea and 20th Korea-Japan Joint Symposium, Korea (2018).

国内学会

- (1) 原直也, 空間の明るさが等価となる照明光の分光分布の条件, 2018年度照明学会第51回全国大会, 6-O-13, 兵庫 (2018).
- (2) 濱本将稔, 原直也, 複数照明の好ましい協調変化過程に関する研究, 2018年度照明学会第51回全国大会, 6-P-04, 兵庫 (2018).
- (3) 高瀬雄土, 原直也, 不快グレアに対する視野内視覚特性分布に関する研究—BCD輝度測定による受容野立体角の特定法の検討—, 2018年度照明学会第51回全国大会, 6-P-09, 兵庫 (2018).
- (4) 濱本将稔, 原直也, 照度・光色を共に経時変化させる複数照明の好ましい協調変化について, 2018年日本建築学会大会〔東北〕学術講演会, 40265, 宮城 (2018).
- (5) 高瀬雄土, 原直也, 不快グレアに対する視野内視覚特性分布に関する研究—BCD輝度測定による受容野立体角の特定法の検討—, 2018年日本建築学会大会〔東北〕学術講演会, 40268, 宮城 (2018).
- (6) 原直也, 光源距離と注視距離の差異が中心視の不快グレアに及ぼす影響, 2018年日本建築学会大会〔東北〕学術講演会, 40269, 宮城 (2018).
- (7) 高瀬雄土, 原直也, 不快グレアに対する視野内視覚特性分布に関する研究—BCD輝度測定による受容野立体角の特定

法の検討一, 平成30年度日本建築学会近畿支部研究発表会, 4076, 大阪 (2018).

- (8) 濱本将稔, 原直也, 照度・光色を共に経時変化させる複数照明の好ましい協調変化について, 平成30年度日本建築学会近畿支部研究発表会, 4081, 大阪 (2018).
- (9) 泉谷祐治, 小谷賢太郎, 鈴木哲, 朝尾隆文, 触情報の視覚化特性を用いた刺激呈示方法の検討, 平成30年度日本人間工学会関西支部大会, B2-3, 滋賀 (2018).
- (10) 朝尾隆文, 柴田智規, 藤原健斗, 小谷賢太郎, 鈴木哲, CG映像観察時の主観的速度とオプティカルフローの関係, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018, SS03-11, 富山 (2018).
- (11) 中野創策, 朝尾隆文, 小谷賢太郎, 鈴木哲, ハンドル軸回りに等価な機械インピーダンスの動的同定, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018, SS09-20, 富山 (2018).
- (12) 安居龍太郎, 山口晃平, 朝尾隆文, 小谷賢太郎, 鈴木哲, レーンチェンジ時のドライバの運動インピーダンスの予備的検討, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018, SS09-25, 富山 (2018).
- (13) 白石貴勇, 朝尾隆文, 小谷賢太郎, 鈴木哲, 運動インピーダンスによる急操舵時の意図推定, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会2018, SS09-26, 富山 (2018).
- (14) 田中優作, 松谷秀一郎, 村中徳明, 筆順判定を加味した小学生対象漢字学習支援システム, 第41回多値論理フォーラム, 19, 広島 (2018).

その他

- (1) 熊谷佳祐, 小谷賢太郎, 鈴木哲, 朝尾隆文, 接触対象の色情報の変化が表面温度知覚へ与える効果の実験的検討, 第23回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2019).
- (2) 金鹿智央, 小谷賢太郎, 鈴木哲, 朝尾隆文, 爪色を利用したなぞり動作時の指先力推定, 第23回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2019).
- (3) 佐野洋介, 小谷賢太郎, 鈴木哲, 朝尾隆文, スマートフォンサイズが筋骨格痛に及ぼす影響, 第23回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2019).
- (4) 雲山大地, 花田良子, 過去の探索を利用した遺伝的プログラミング, 第23回関西大学先端科学技術シンポジウム, 大阪 (2019).