

## 協同作業支援のためのヒトの行動測定

Measurement of Human Behavior for Collaborative Work Support

○新 西 誠 人\*                      菅 沼 睦\*  
Makoto SHINNISHI   Mutsumi SUGANUMA  
彩 藤 ひろみ\*  
Hiromi T.SAITO  
(○は研究代表者)

**キーワード**：生体情報、呼吸、心拍、協同作業、同期

**Keywords**：biological information, Breath, Heart rate, Collaborative work, synchronization

### 1. はじめに

複数の人が協力して仕事を行う作業である協同作業、特にリアルタイムで行われる作業では、作業仲間での動作の同期が求められる。協同作業で作業仲間との調子が合い、連携が取れている様子は「いきが合う」と表現され、効率的に作業できるだけでなく、一体感の醸成にも役立つ。また、チームスポーツや合唱、餅つきなど、作業仲間がリズムを合わせる必要性が高い共同作業では、呼吸を同調させることで、タイミングを合わせたり、一体感を醸成したりして作業目的を達成する事実が認められる。

呼吸は、不随意に行われる一方で、随意的に自ら制御することが可能であり、この特性は他の多くの生理的プロセスと比較して際立っている。つまり、多くの身体機能が無意識に行われるのに対し、呼吸は意識的に調整することができる。この制御性は、精神的および身体的な状態の調節において重要な役割を果たすと考えられる。例えば、深呼吸や瞑想などの呼吸法は、ストレス軽減や心拍数の調整に寄与するという研究もおこなわれている [1]。

日本の芸道では、「歌い手、踊り手、囃し方」の3者が一糸乱れず芸を演じているときに「いきが合う」といわれ、「いき」は「息」だけでなく、「意気」や「生き」をも表す [2]。

本研究では、協同作業を行い、その時の呼吸などの生体情報を取得し、協同作業を行っているヒト同士で呼吸や心拍の同調傾向を分析する。特に、リズムを伴わない協同作業においても同調傾向がみられるかどうかを実験により確かめる。これにより、知的共同作業における作業仲間間の呼吸の同調傾向を明らかにし、作業仲間間の信頼や作業の知的生産性との関係を明らかにするための第一歩とする。

\* 多摩大学経営情報学部 School of Management and Information Sciences, Tama University

## 2. 先行研究

### 2.1 協同作業に関する先行研究

榎本らは、祭りの準備作業を通して、共同体＜心体知＞、すなわち価値観、技術、知識を獲得していくという研究を発表している [3]。特に「体」は共同体成員間で力や身体配置の配分が必要な協働活動技法を指しており、縄を結ぶ、などの作業時に、二人が息を合わせて行わなければならないという事例を挙げている。このように、「何かを成し遂げる」には、「息を合わせる」必要があることを示す事例はいくつか見つかる。2.2 では、特に「呼吸」に注目し、呼吸と同期に関する先行研究をまとめる。

### 2.2 呼吸と同期に関する先行研究

呼吸は精神状態に影響を受けることが知られている [4] [5]。

協同作業を行う際の生体情報の同期について、いくつかの先行研究がある。ここでは、「リズムを伴う協同作業」「対話」「作品の鑑賞」「身体接触による同期」に分けて先行研究を探る。

#### 2.2.1 リズムを伴う協同作業

Müller らは、指揮者と歌手 11 人に対して呼吸と心拍の計測を行い、休憩中よりも合唱時に同期しやすいことなどを報告している [6]。渡辺は、リズムと身体動作の同期について研究を行っており、打楽器の演奏において同期が見られたことを報告している [7]。協同作業時の呼吸の同調傾向については、楽器の演奏について先行研究がみられる [8] [9] [10]。リズムを伴う協同作業の呼吸の同調について、高瀬らは逆振り子運動を用いた個体間の体肢運動と呼吸運動間の協調について言及している [11]。また、リズムが伴わない知的作業において、生産性と心拍に関係があることを堀田らは提案している [12]。

#### 2.2.2 対話

対話における生体情報の同調傾向も研究されている。Włodarczak らは、発話中の呼吸が特に発話の順番の手がかりに影響を与えるという研究を行っている [13]。また、遠隔会議においても手がかりとして呼吸情報を提示する研究もある。木下らは遠隔会議などで呼吸変動情報を用いて心理状態のアウェアネスを伝達することを試みている [14]。コミュニケーション支援として、呼吸ではないが、音響リズムを与えることで会話支援を行うシステムを延谷らが提案している [15]。

#### 2.2.3 作品の鑑賞

何かを鑑賞する時の呼吸以外の生体情報の同調について、野村は演芸鑑賞時にまばたきが同期することを報告している [16]。また、福本らは、音楽刺激時に音楽のテンポと心拍の同調傾向について報告している [17]。角田らは、コンテンツ視聴において心拍と呼吸を計測し、気分の変化の推定について提案しているが、同調については言及していない [18]。

呼吸の同調について、桂は落語の台詞術において、演じる側の息を「吸う」とことと聴衆の息を「吸う」が一致してこそ、「笑い」を生むことができるとしており、息が合うことについて言及している [19]。

### 2.2.4 身体接触による同期

呼吸の同調傾向は、母子間にも見られる。渡辺らは、生後3か月の乳児の寝かしつけの過程で、母子間の呼吸に引き込み現象が起こることを示している。母親が副交感神経活動の指標となる呼吸の周波数帯（0.15～0.4Hz）に入ると、乳児にも同様の呼吸成分が現れたことを報告している [19]。また、Goldstein らは、恋人同士で接触がある場合には、呼吸の同期を強化し、片方に痛みを発生させる条件では心拍の同期も強化されることを報告している [20]。

### 2.2.5 生体情報の同調に関する研究のまとめ

表1に生体情報の同調に関する関連研究の一覧を示す。本研究の対象とする知的協調作業の一つとして「作品の鑑賞」に対する呼吸の同期などについて、関連する先行研究を探索したが、現時点では直接的に一致するものは見つからなかった。

表1. 生体情報の同調に関する関連研究一覧

	リズムを伴う協同作業	対話	作品の鑑賞	身体接触による同期
呼吸の同調	[6] [8] [9] [10] [11]	[13] [14]	－	[19] [20]
上記以外の同調	[7]	[15]	[16] [17]	－

## 3. 実験手法

本研究では、実験対象者にセンサーを内蔵したシャツを着用させ、生体情報を計測する。計測には、Carre Technologies 社の HEXOSKIN PRO を用いる。このシャツは、呼吸や心拍、加速度などを計測するセンサーが内蔵されている。そして、毎秒毎に推定される呼吸や心拍の「回/分」値を算出する。シャツ形状であるので、運動時でもデータ計測可能という特徴を持つ。このシャツを実験対象者が着用し、様々な協同作業を行い、呼吸や心拍の同調傾向について探る。本実験では、以下の2つの作業について検証を行う。

- ① 実験対象者全員が知っている映画の鑑賞による呼吸や心拍の同期
- ② リズムを伴うビデオゲームの同時プレイによる呼吸や心拍の同期

今回は時系列データの相関分析を行う。分析には、Windows11 の搭載された PC を用いた。分析に用いるソフトウェアは、R version4.2.0 である。

## 4. 実験結果

2024年2月27日に実験対象者A（以下A）と実験対象者B（以下B）の2名を対象に実験が行われた。2つの作業についてそれぞれ実験結果を報告する。実験対象者は共に40代男性である。

### 4.1 映画の鑑賞

映画の鑑賞では、日本を舞台にロボットに乗った警察官が活躍する1989年に公開された日本のアニメーション映画を対象作品とした。上映時間は99分である。

上映開始前にセンサーの電源を入れ、上映終了後に電源を切った。AとBで共通して情報

を取得し、分析対象となる時間は、103 分 53 秒（6233 秒）である。

A の平均呼吸数は 18.9 回 / 分、平均心拍は 75.6 回 / 分、最大呼吸数は 31 回 / 分、最小呼吸数は 8 回 / 分、最大心拍数は 105 回 / 分、最小心拍数は 67 回 / 分であった。また B の平均呼吸数は 16.8 回 / 分、平均心拍は 85.7 回 / 分、最大呼吸数は 30 回 / 分、最小呼吸数は 10 回 / 分、最大心拍数は 113 回 / 分、最小心拍数は 70 回 / 分であった。

まずは、実験対象者内の生体情報の相関について求めた。A の呼吸と心拍の相関は  $r=0.37(p<0.001)$  であり、B の呼吸と心拍の相関は  $r=0.21(p<0.001)$  であり、弱い相関がみられた。

A と B の呼吸の相関は  $r=0.08(p<0.001)$  とほとんど相関はみられなかった。一方、A と B の心拍の相関は、 $r=0.63(p<0.001)$  とやや強い相関がみられた。

## 4.2 ビデオゲーム

家庭用の携帯もできるビデオゲーム機を用い、ゲームとしては和太鼓リズムゲームを用いた。なお、操作に使用するコントローラーは本体に標準搭載されているものを A と B がそれぞれ保持して利用した。ゲームスタート時にセンサーの電源を入れ、ゲーム終了直後に電源を切った。A と B で共通して情報を取得し、分析対象とする時間は 34 分 22 秒（2062 秒）である。

A の平均呼吸数は 22.9 回 / 分、平均心拍数は 75.6 回 / 分、最大呼吸数は 42 回 / 分、最小呼吸数は 6 回 / 分、最大心拍数は 89 回 / 分、最小心拍数は 64 回 / 分であった。また B の平均呼吸数は 21.0 回 / 分、平均心拍数は 81.2 回 / 分、最大呼吸数は 34 回 / 分、最小呼吸数は 10 回 / 分、最大心拍数は 104 回 / 分、最小心拍数は 70 回 / 分であった。

まずは、実験対象者内の生体情報の相関について求めた。A の呼吸と心拍の相関は  $r=0.43(p<0.001)$  であり、B の呼吸と心拍の相関は  $r=0.35(p<0.001)$  であり、弱い相関がみられた。

A と B の呼吸の相関は  $r=0.21(p<0.001)$  と弱い相関がみられた。A と B の心拍の相関は、 $r=0.61(p<0.001)$  とやや強い相関がみられた。

## 5. 考察

本研究は、センサーを内蔵したシャツを用いて協同作業時における呼吸および心拍の同調傾向を探索するものであり、映画鑑賞およびビデオゲームプレイの 2 つの作業について時系列データを基に相関分析を行った。結果として、対象者同士の心拍には両方の作業においてやや強い相関が確認されたが、呼吸の相関は弱いかほとんど認められなかった。

まず、映画鑑賞中のデータでは、対象者 A と B の心拍の相関は  $r=0.63$  とやや強い関係が確認されたが、呼吸の相関は  $r=0.08$  とほぼ無関係であった。この結果は、静的な作業である映画鑑賞において、心拍は感情や興奮度に基づく生理的反応を示す一方で、呼吸は個々のリズムに大きく依存することを示唆している。これに対し、ビデオゲームプレイ中のデータでは、心拍の相関が  $r=0.61$  でやや強い相関を示し、呼吸の相関も  $r=0.21$  と弱いながらも一定の関連が確認された。リズムゲームという作業の性質が、呼吸や心拍の同調を促進した可能性が考えられる。

このような結果から、協同作業における呼吸や心拍の同調性は、作業の種類やそれに伴う感情的・身体的な負荷の違いに依存して変動するといえる。映画の鑑賞では、視覚や聴覚による刺激が中心であり、生理的な反応の個人差が大きく表れたと考えられる。一方、ビデオゲーム



のプレイは、リズムに基づく動作や協調性が要求されるため、より一貫した生理的反応が引き起こされたと考えられる。ただし、シャツを着用した姿勢から、呼吸情報が十分に取得できなかった可能性についても考慮が必要である。

今後の研究では、より多様な作業や協同環境における呼吸や心拍の同調傾向を検証し、その背景要因を明らかにする。また、対象者数を増やすことで、同調性の強度や変動要因についての一般化が可能になると考えられる。加えて、より高精度なデータ解析手法や、呼吸や心拍以外の生理的指標を組み合わせることで、協同作業時の生理的同調現象の全体像を捉える。

## 6. おわりに

本研究は、初期実験として計測環境を整え、生体情報の取得および分析を行ったものである。本研究の目的は、協同作業中の個々の参加者の呼吸や心拍のデータを取得し、これらの生体情報に同調傾向が見られるかを検証することであった。今後の展開としては、来年度において実験対象者数や実験回数を増加させ、より多くのデータを収集することで、呼吸や心拍の同調傾向に関するより明確な知見を得る予定である。

### 参考文献

- [1] L. Su-Ha, L. Hee-Ji, P. Dae-Sung, "Effects of deep and slow breathing on stress stimulation caused by high-intensity exercise in healthy adults," *Psychol Health Med*, 2021.
- [2] 古浦一郎, 心理学的考察 [いきが合う], 北大路書房, 1990.
- [3] 榎本美香, 伝康晴, "共同体の成員となるための祭り～共同体〈心体知〉を得る," 第38回人工知能学会全国大会論文集, 2024.
- [4] E. B. Skaggs, "Studies in attention and emotion," *Journal of Comparative Psychology*, 1930.
- [5] 有田秀穂, 呼吸の事典, 朝倉書店, 2006.
- [6] V. Müller, U. Lindenberger, "Cardiac and Respiratory Patterns Synchronize between Persons during Choir Singing," *PLoS ONE*, 2011.
- [7] 渡辺富夫, リズムと動作の同期に関する研究, 日本機械学会論文集 C 編, 1984.
- [8] 中村敏枝, 「間」における演奏者と伴奏者の呼吸の同期, 日本心理学会第59回大会発表論文集, 1995.
- [9] 長岡千賀, 小森政嗣, 中村敏枝, "練習が演奏者間の呼吸の一致に及ぼす効果," 日本心理学会第64回大会発表論文集, 2000.
- [10] 福井亜理, 稲森義雄, "ハンドベル演奏時の呼吸の同期現象," バイオフィードバック研究, 2003.
- [11] 高瀬弘樹, 古山宣洋, 三嶋博之, 春木豊, "二者間の呼吸と体肢運動の協調," 心理研究, 2003.
- [12] 堀田竜士, 小村晃雅, 千葉祥子, "知的生産性と心拍数との関係の分析," ワークショップ2019 (GN Workshop 2019) 論文集, 2019.
- [13] M. Włodarczak, M. Heldner, J. Edlund, "Breathing in Conversation: An Unwritten History," *Proceedings of the 2nd European and the 5th Nordic Symposium on Multimodal Communication*, 2015.
- [14] 木下雅斗, 西本一志, "呼吸変動情報を用いた心理状態ウェアネス伝達の試み," インタラクション, 2010.
- [15] 延谷直哉, 仲谷善雄, "パーソナルテンポを基とした音響リズム支援による会話支援システム," 情報処理学会第71回全国大会, 2009.

- [16] 野村亮太, 岡田猛, “話芸鑑賞時の自発的なまばたきの同期,” 認知科学, 2014.
- [17] 福本誠, 楠芳之, 長島知正, “音楽のテンポと心拍の同期現象,” 感性工学研究論文集, 2004.
- [18] 角田啓介, 江口佳那, 吉田和広, 渡部智樹, 水野理, “心拍と呼吸を用いたコンテンツ視聴による気分変化の推定: コメディ視聴における検討,” 情報処理学会 研究報告コンシューマ・デバイス&システム, 2016.
- [19] 渡辺富夫, 大久保雅史, “コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価,” 情報処理学会論文誌, 1998.
- [20] P. Goldstein, I. Weissman-Fogel, S. G. Shamay-Tsoory, “The role of touch in regulating inter-partner physiological coupling during empathy for pain,” Scientific Reports, 2017.