

博 士 論 文

労働者の生産性に及ぼす心理的および身体的

要因の影響に関する研究

(Research on the effects of psychological and
physical factors on workers' productivity)

2021年3月

立命館大学大学院テクノロジー・マネジメント研究科

テクノロジー・マネジメント専攻博士課程後期課程

橋口 伸樹

立命館大学審査博士論文

労働者の生産性に及ぼす心理的および身体的

要因の影響に関する研究

(Research on the effects of psychological and
physical factors on workers' productivity)

2021年3月

March 2021

立命館大学大学院テクノロジー・マネジメント研究科
テクノロジー・マネジメント専攻博士課程後期課程

Doctoral Program in Technology Management

Graduate School of Technology Management

Ritsumeikan University

橋口 伸樹

HASHIGUCHI Nobuki

研究指導教員：名取 隆 教授

Supervisor: Professor NATORI Takashi

要旨

技術の高度化と複雑化により、労働者が直面する身体的リスクと心理的ストレスが増加している。労働者を雇用する企業にとって、彼らの健康と安全を犠牲にすることなく、生産活動に必要な労働力を確保することは極めて重要である。この研究は、労働集約的な作業環境にある労働者の心理的および身体的な要因を対象にし、生産性に対する労働意識の関係、および身体的要因による労働負荷の関心の定量化を議論している。

本論文の前半では、年齢の異なる建設労働者を対象に労働生産性の意識を調査した。心拍数およびBMI（Body Mass Index: 体格指数）による健康リスク指標と、心理的要因である労働環境における安心感、仕事の満足度、積極的な行動の意識、内発的および外発的な仕事の動機、仕事スキル、および生産性意識について、異なる2つの年齢層によって分析している。日本経済の転換期において働き方の意識が変わった世代を境目にして、労働者を若年層と高齢層に分割して評価を行なった。若年労働者と高齢労働者の両方において、労働環境の安心感、積極的な仕事行動、内発性および外発性の動機付けは、生産性意識に影響を与えた。しかし、健康リスク指標は、年齢層により他の要因への影響が異なり、高齢労働者は健康リスクが高まると、内発的および外発的動機付け、職場の安心感、生産性の意識に悪い影響を及ぼした。この研究で用いた労働者の仕事意識および動機付けモデルは、健康リスク指標を交えて分析した非常に少ない研究報告であり、その結果は、建設プロジェクトの労務管理に役立ち、労働者の年齢層による意識の違いを理解するのに有用である。

本論文の後半では、建設労働者の労働状態をモニタリングし、労働負荷を定量化して健康リスクの判定を行なった。建設労働者の身体情報、活動情報、環境情報などから、労働負荷の実用的な推定方法を検討した。心拍センサと3軸加速度センサを備えたウェアラブルデバイスと、無線IoTデバイスを装着した測定システムを用いてデータを収集し、労働者の年齢、身体活動量、および労働環境の暑さ指数（WBGT）から、労働負荷による健康リスクを簡便に推定できるモデルを考案した。建設労働者の測定結果より健康リスクを判定すると、モデルの正解判別度は89.2%が得られ、被験者の心拍数の事前計測が困難な環境下において、労働者の健康リスクを高い確率で判定できることを示した。この研究結果は、

心拍数を用いず、労働者の年齢、身体活動量、およびWBGTより、労働負荷による健康リスクを判定する最初の報告である。

本研究の総合考察において、労働者の心理的および身体的な要因によって、年齢層の異なる労働者の生産性意識と、労働負荷および健康リスクを定量的に認識することにより、労務管理における労働力の可視化の可能性を述べる。本研究の結果は、建設分野だけでなく労働集約的なプロジェクトにおいて、労働者の健康リスク、仕事の動機付け、および労働意識の理解に貢献でき、労働者の健康状況のモニタリングは労働力の管理に有用であることを示唆している。

キーワード：

健康リスク、心拍数、BMI (Body Mass Index)、労働意識、身体加速度、ウェアラブルデバイス、建設労働者、構造方程式モデリング (SEM)、ロジスティック回帰分析

Abstract

The increasing sophistication and complexity of technology has increased the physical risks and psychological stress faced by workers. This study discusses the psychological and physical factors that affect workers in labor-intensive work environments and quantifies the workload due to work awareness of productivity and physical factors.

In the first half of this paper, labor productivity perceptions were investigated among construction workers of different ages. Relationships between health risk indicators by heart rate and Body Mass Index (BMI), feelings of safety in the work environment, job satisfaction, proactive work behaviors, intrinsic and extrinsic work motivation, work skills, and productivity awareness were analyzed. Workers were assessed in two groups at ages when Japan's economic conditions changed. Older workers had an increased health risk, which negatively affected their motivation at work and their perception of workplace safety and their perception of productivity. The results are useful for labor management in construction projects and to understand the differences in awareness among workers' age groups.

In the latter part of this paper, we devised a model that also measures the workload of construction workers from their age, physical activity, and WBGT of the work environment in order to easily estimate the health risk. The measurement results suggest that the model could judge the health risk of workers with a high correct response rate of 89.2%.

The results of this study quantified the health risks due to productivity awareness and workload of workers of different age groups due to psychological and physical factors of workers, and stated the potential for workforce visualization in workers' management. In labor-intensive projects, monitoring of workers can contribute to the understanding of labor motivation, and work awareness, and is useful in labor force management.

目次

| | | |
|-------|-------------------------|----|
| 第1章. | 導入（労働者の健康指標と計測モニタリング） | 6 |
| 第2章. | 研究背景 | 8 |
| 2. 1. | 労働者を取り巻く建設環境 | 8 |
| 2. 2. | 高齢化による労働力の減少 | 8 |
| 2. 3. | 労働者の動機付けと労働力 | 9 |
| 2. 4. | 労働者の生体情報計測 | 10 |
| 2. 5. | 心拍計測と測定手段 | 11 |
| 第3章. | 先行研究とリサーチギャップ | 16 |
| 3. 1. | 仕事意識および動機付けにおける年齢の影響 | 16 |
| 3. 2. | 身体的な労働負荷による生産性への影響 | 17 |
| 第4章. | 研究目的とリサーチクエスチョン | 20 |
| 第5章. | 研究対象と研究方法論 | 21 |
| 5. 1. | 建設企業および日本国内における建設労働者 | 21 |
| 5. 2. | 労働者アンケート調査における統計分析手法 | 22 |
| 5. 3. | 本研究における用語の定義 | 25 |
| 5. 4. | 開発したIoT計測システム | 27 |
| 5. 5. | 建設現場の計測エリア | 29 |
| 第6章. | 労働者の心理的要因による生産性意識に対する影響 | 32 |
| 6. 1. | 労働者の調査内容 | 32 |
| 6. 2. | 建設労働者の仕事意識と生産性意識 | 34 |
| 6. 3. | 小括（仕事意識と生産性意識） | 44 |
| 6. 4. | 建設労働者の動機付けと生産性意識 | 45 |
| 6. 5. | 小括（モチベーションと生産性意識） | 56 |

| | | |
|--------|-------------------------------|-----|
| 第7章. | 労働者の身体的要因による生産性意識に対する影響 | 58 |
| 7. 1. | 現場実験と被験者の身体的特徴 | 58 |
| 7. 2. | 測定プロトコル | 59 |
| 7. 3. | 被験者の測定データ | 60 |
| 7. 4. | 結果 | 61 |
| 7. 5. | 小括(身体的因子と生産性への影響) | 68 |
| 第8章. | 労働者の健康リスクの実用的な判定 | 71 |
| 8. 1. | 健康リスク判定モデルの独立変数 | 71 |
| 8. 2. | 実用的な判定モデル | 75 |
| 8. 3. | 建設現場の労働者におけるモデル評価 | 76 |
| 8. 4. | 廃棄物処理場の労働者におけるモデル評価 | 78 |
| 8. 5. | 小括(実用的な健康リスク判定モデル) | 79 |
| 第9章. | 総合考察 | 81 |
| 9. 1. | 心理的要因および身体的要因の影響 | 81 |
| 9. 2. | 労働者のモニタリングによる将来見通し | 83 |
| 第10章. | 結果 | 84 |
| 10. 1. | リサーチクエスションに対する結論 | 84 |
| 10. 2. | 理論的貢献と実践的貢献 | 85 |
| 第11章. | 限界と今後の課題 | 86 |
| 11. 1. | 研究の限界 | 86 |
| 11. 2. | 今後の課題 | 87 |
| 謝辞 | | 88 |
| 参考文献 | | 89 |
| 付録資料 | | 107 |

第1章. 導入（労働者の健康と計測モニタリング）

労働集約型産業の労働現場において、労働者がおかれている状況は厳しい労働環境の性質のために、過度な労働要求に直面している。厳しい作業環境のなかで、労働者は身体的な影響を与える労働負荷によって、慢性的な疲労、傷害および事故が発生し、現場の生産性の停滞が懸念される。人手不足と高齢化を向かえている建設業界において、労働にあたる現場作業員の安全と健康を犠牲にすることなく、期待される生産性を維持するためには、労働者の身体への負荷と心理的な意識を可視化し、工程調整を図りながら許容限界内での作業遂行を管理することが重要である。

高温多湿の作業環境、現場作業における長時間の肉体労働は、労働者を慢性的な疲労だけでなく、怪我や健康リスクにもさらすことになり、生産性を低下させる可能性がある。複雑で断片的なスケジュールが多い建設プロジェクトでは、労働力の損失はその進捗を遅らせてしまう可能性がある。今後の数十年の間に、労働人口の高齢化は、ヨーロッパとアジアの先進国が直面している社会経済的な課題の一つになると考えられている。特に日本では、労働者の急速な高齢化と、それに伴うベテラン労働者の定年退職が、建設業の生産性に影響を与える。労働力不足は建設プロジェクトにとって大きなリスクとなるため、労働力を維持するには、労働環境に配慮しつつ、労働者の仕事意識と働き甲斐を高めることは重要である。多くの企業には、これらの労働力の特性変化への適応が強く求められる。

労働者の状態を定量的に把握するにおいて、心拍数、身体活動量、呼吸数、体温、発汗量などの生理指標は、労働者の健康にとって非常に重要な生体情報である。労働者個々の健康管理を行なう上で、身体的な労働負荷やトレーニング効果の評価項目が利用できる。怪我のあとの機能の回復訓練、健康増進を目的として、人々の行動を妨げることなく心電図や筋電図を無意識に計測し、彼らの健康状態や運動効率を高める研究がある[1-3]。近年のウェアラブル健康機器は、埋め込み型のバイオセンサ（例えば、心拍センサ、および皮膚温度センサ）の技術進歩によって、労働者の労働負荷を測定するために十分な性能を備えている[4-8]。ウェアラブル健康機器に見られる形状は、手首バンド型や時計型、下着型などがあり、身体的の活動において軽量で快適な装着感があり、作業の進行に干渉せずに、労働者の生体情報を測定できることから大きな可能性がある。先行研究において、労働者の作業現場の環境において、いくつかの実験が試みられている[10-14]。

本研究では、生体情報の一つである心拍数に着目し、以下の二つの研究に取り組んだ。

第一の研究では、幅広い年齢層の建設業就業者にアンケート調査を実施し、仕事に関する労働者の心理的な分析を行なった。健康リスク指標と労働者の意識を交えて、職場における生産性意識に影響する因果関係をモデル化し、そのモデルの妥当性および適合性を評価した。安静時の心拍数とBMIによる健康リスクが、仕事の意識およびモチベーションを介して、生産性の意識に与える影響を労働者の年齢層に応じて分析する。労働者の年齢は、日本経済の高度成長期からバブル成長期において就労した中高年齢層と、バブル経済の崩壊以降に就労した比較的若年齢層との2つの労働者グループに分けて分析している。

第二の研究では、心拍数および加速度の計測センサを装備したウェアラブル機器を用い、%HRRによる労働負荷を測定し、心拍数の個人差を正規化することで、作業員の間における身体への負荷を比較した。具体的な測定手段は、スマートウェアと呼ばれる心拍センサを一体化した下着型のシャツに、無線IoTデバイスを装着し、測定環境に設置した無線通信機器と組み合わせることにより被験者の生体情報を収集した。実際の建設現場において労働者の業務遂行を妨げることなく、継続的に心拍数の変動と活動量の変化、身体的な労働負荷を測定した。%HRRは有用な労働負荷の測定手段であるが、実際の労働現場への適用には課題が見受けられた。そのため、労働者の身体活動量および年齢、労働環境のWBGTを用いた実用的な手段を考案し、労働負荷による健康リスクを高い精度で推定した。建設作業員の労働状態をモニタリングして把握することにより、労働生産性の向上にむけた管理手段を検討する。

先行研究において、建設労働者の作業中の生体情報を採取し、その行動効率や作業性を分析した報告はあるが、心拍数およびBMIによる健康リスク指標と、労働者の年齢、心理的および身体的要因と生産性との関係を分析した報告は殆ど見られない。本研究の実践的貢献として、建設工事現場で就業する労働者の労働意識と労働負荷を分析することで、新たな労務管理への利用を提言する。

第2章. 研究背景

2. 1. 労働者を取り巻く建設環境

多くの建設労働者は自身の身体能力を超える作業負荷に直面している[15,16]。労働現場の生産性を維持するにあたり、労働者の安全と健康の確保は不可欠である。とりわけ、建設業界は他の産業に比べて労働集約型の産業であり、現場従業員を雇用する企業は労働者の健康と安全に配慮し、適切な労働環境と労働条件を従業員に提供する必要がある。世界的に見ても建設産業の死亡率は高く、米国労働統計局の報告によると、2003年から2010年までの間に、43,000人以上が建設現場で死亡事故を経験しており[17]、米国の建設労働者のうち37.9%が強い疲労を経験していると報告されている。労働者の安全、健康、生産性への配慮が不足していることにより、労働者が致命的な結果につながる可能性がある[18]。日本においても、厚生労働省の調査によると、2017年に日本の建設業では323人の労働者が労働災害で死亡しており、これは日本の全産業死亡者数の30%以上を占めている[19]。業務上の死亡事故の件数が高いことを考えると、建設業は安全性に配慮すべき産業の1つといえる[20,21]。

建設現場は、足元が悪い作業環境、高所作業、熱中症が生じやすい高温高湿の環境、建設重機の隣接エリアでの作業が伴っている。劣悪な作業環境での労働が特徴であることから、建設労働者の身体への負荷を増大させる原因が多く存在する[22-24]。危険と隣り合わせにある労働現場では、建設現場を全体での総合的な安全管理が重要となる[25]。過酷な作業環境における労働は、慢性的な疲労や負傷や疾病に繋がり、労働者は健康リスクに晒されている。労働者の健康被害、負傷、疾病による休業が発生することにより現場の生産性は低下する[26,27]。近年の国内建設工事の請負額は、労働環境の安全対策にかけるコストが増大している。国土交通省が挙げる建設業界の課題において、IoT技術などを利用することで、建設現場の安全管理と効率的な作業を如何に両立させるかが注目されている[28]。

2. 2. 高齢化による労働力の減少

労働力の高齢化は、ヨーロッパやアジアの先進国が直面する重要な社会経済的な課題の1つになっている。多くの企業において、労働力の変化への適応は喫緊の課題となっている[29]。とりわけ日本においては、労働者の急激な高齢化、厳しい労働環境を避けることに

よる離職率の増加、定年退職によるベテラン労働者の減少は、労働生産性に大きな影響を与えている[30,31]。多くの産業分野において、高齢労働者が増加し、労働現場の労働力不足が深刻となっており、日本経済を根底から揺るがす大きな問題となっている[32-34]。多くの労働者を必要とする大型プロジェクトほど、工程計画は複雑で断片化されており、安定した労働力が確保できないことにより、スケジュールの進捗を遅らせる問題が生じる可能性がある。労働力不足はプロジェクトの進捗において重大なリスクとなっている。

建設および土木業界に限らず、日本国内の労働集約型の産業における担い手不足は今後も続くことが予想される。離職率を下げるためにも、労働環境の安全性向上と労働環境の改善により、労働者のやる気を刺激することは、従業員を雇用する企業にとって重要な課題である。

2. 3. 労働者の動機付けと労働力

Shashankらは、建設分野の専門家にインタビュー調査を行ない、建設プロジェクトの生産性に影響を与える8つの要因を特定した[35]。これら要因は、労働力、環境、材料、設備、動機、安全性、管理、および品質であり、動機付けが生産性に最も強い影響を与えると結論付けた。Kazazらはトルコの建設会社を中心に82社を調査し、労働生産性に影響を与える要因を特定した[36]。彼らの研究では、労働生産性にとって、組織的な要因が最も効果的であると考えられ、生産性を高めるために動機付けが果たす役割を強調している。労働者の仕事スキル、チームの社会心理的な風土、労働効率、労働の質は、経営判断にとって有効であり、最終的に経営結果に影響することを報告している。

動機付けは、労働者の生産性にとって極めて重要であり、企業の戦略的目標を達成する可能性を高める[37]。労働者の動機付けは、過去数十年にわたり多くの研究者や事業主が大きな関心を寄せてきたが、経済学、心理学、組織開発、人的資源管理、社会学を含む多くの学問の境界を越える複雑な課題である[38,39]。

動機付けを説明する先行研究におけるアプローチは、人間の欲求に基づく理論が一般的である。欲求に関する理論において、Maslowの欲求階層[40]が最も知られており、この他にも、Herzbergの動機付け－衛生理論[41]、および自己決定理論[42]が知られ、それらは生理的欲求、自尊心の欲求、適切な補償、他者との良好な関係、自律性、達成感や能力を表現している。Herzbergの理論によれば、労働者の満足度には、動機付け（内発性の欲求）

と衛生要因（持続に必要な外発性の要因）が存在し、これら2つの要因グループが互いに関係しあっている[43]。内発的な動機付けは、労働者自身が持つ本質的な働く動機付けを表わしており、労働者が楽しく、面白く、満足感を得るための行動を指す[44]。

内発的な動機付けは、人の本質的な欲求と関連し、個人の成長、および能力の向上、他者の支援、他者との関係性の深耕など、社会における基本的な心理的欲求を満たすことが含まれる[45]。内発的な動機付けは、パフォーマンスやコミットメントといった、企業が労働者に求める望ましい結果と正の相関があり、逆に離職率、燃え尽き症候群、仕事と家庭の対立などの好ましくない結果と負の相関がある[46]。一方で、外発的な動機付けは、労働対価としての報酬、経済的な成功、業績ベースのインセンティブ、社会的な認知および評価が含まれる。周囲の環境が関連して影響する労働者の欲求を示す。

内発的な動機付けと外発的な動機付けの関係は、多くの先行研究の主題となっている。外発性の動機付けが、内発的動機付けに悪い影響を与えると主張する人もいれば、それらが共存し、互いに独立または依存している可能性を示唆する人もいる[47]。企業経営者および管理者は、効果的な人事システムを構築するために、生産性に影響を与える要因を明確に理解する必要があるが、そのなかでも、動機付けが最も重要であることが報告されている[48]。現代の企業において、従業員の動機付けは最優先事項であり、労働者が仕事をする意欲は企業の成功の鍵となる[49]。労働者を雇用する企業は、労働人口の高齢化や人手不足が続く社会状況を考慮し、労働者の仕事における意識を十分に理解し、やる気を向上させることにより、互いの雇用関係を維持、発展させることが必要である。

2. 4. 労働者の生体情報計測

ウェアラブルデバイスの小型化・軽量化により、生理指標の1つである、心拍数をモニタリングしながら、人体反応である労働負荷を測定することは十分な技術環境をむかえている。スマートフォンなどの情報端末の発展により、人の動きを検知・解析し、その情報を使用者本人へフィードバックすることが可能になってきている。これらはスマートデバイスとも呼ばれ、スマートウォッチなどを用いて、転倒検出機能ⁱや心拍数の異常を検知する機能（インシデントアラート機能）が登場している[50]。スマートデバイスでは、使用者の身体活動量を反映する加速度センサをはじめ、生体情報として電気的信号を捉えたECG（Electrocardiogram：心電図[51]）やPPG（Photo Plethysmography：光電脈波[52]）

のセンサが組み込まれた構造が多い。測定精度は一般の医療機器には劣るが、心拍数、心電図、動脈血酸素飽和（SpO₂）がリアルタイムに測定可能となってきた。

身体にとって不快でタイトな形状である心拍センサ付き胸部ストラップと比較し、ウェアラブルな心拍センサは、労働者に不快感を与えずに連続した心拍数の変動を採取できる。したがって、著者は、時間経過と共に建設労働者の身体に加わる負荷の変化を捕捉することにより、労働者におけるウェアラブルデバイスの可能性を検討するためのケーススタディを実施した。具体的には、スマートウェアを用いて心拍数を測定し、身体への負荷による影響要因を研究するために、%HRRベースによる労働負荷の変化を調査し、個々の労働者の労働負荷を連続してモニタリングする。この分析には、個人の身体情報（年齢、身長、体重、およびBMI）、活動パターン（直接作業、準備や清掃などの間接作業、3軸の移動加速度）も含まれる。終日の連続的な測定は、個々のスキルと担当タスクが異なる複数の労働者の違いを明らかにする上で重要な意味がある。

2. 5. 心拍計測と測定手段

心拍数の測定手段には多くの計測機器が存在し、被測定者の身体活動の激しさと計測期間に応じて、図 2.1 に示すような分類が行える。

12誘導心電図は、身体表面の2点間の電位差を記録したもので、電極を付ける位置（電気の流れを観察する方向）が四肢誘導において6通り、胸部誘導において6通りの合計12通りあることから12誘導といわれる。心筋細胞が興奮し、収縮するときに微細な電流が発生するが、この電気現象を心電計で記録したものが心電図である。患者に苦痛を与えず、簡便に実施できることから、循環器系の診療行為で用いられる医療機器である。電氣的な活動は刺激伝導系と呼ばれ、①洞結節→②房室結節→③ヒス束→④左右脚→⑤プルキンエ線維→⑥心室筋の順で伝導され、1つの心電波形として計測される。心電図を正しく記録するためには、電極を正しい位置に装着することが重要であり、体に装着した電極位置が誤っていれば、記録した標準12誘導心電図の結果は役には立たない。正確な心拍計測の手法として期待できるが、激しい労働環境における心拍計測への適用は困難である。

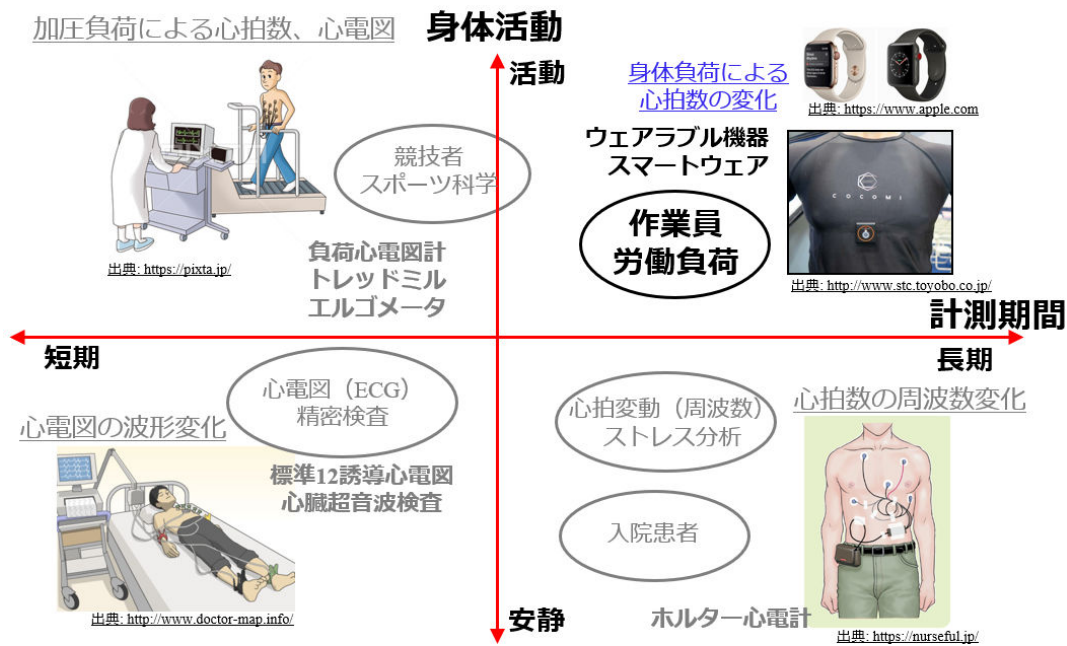


図2.1 心拍情報の計測手段と計測ツール

ホルター心電計は胸部に数ヶ所の電極を貼り付けることで、心臓の動きを心電計に記録させる。携帯型心電計にて長時間（睡眠も含めた24時間程度）の心電図波形を記録する事により、動悸や胸痛の原因となる不整脈や狭心症（不安定狭心症・労作性狭心症）の有無を調べる。日常生活における心臓の動き（心拍数の変動）を調べることが使用目的であり、これも発汗を伴う激しい身体活動の計測には向かない。

負荷心電図計やトレッドミルは、競技者やリハビリ段階における心拍計測に利用される。被測定者に対して、階段の昇降や電動式のベルトコンベアーの上を歩く運動を行ってもらい、心臓に負荷を掛けて心電図変化を調べる検査である。外部から負荷を加えることにより、安静時では分からない虚血性心疾患や心疾患回復期のリハビリテーションの適否判定に有用な検査である。心拍計測では専用の12誘導心電計が利用されることが多く、運動による振動に比較的強く、高精度な心電図が記録できる。最近では、ワイヤレス通信により付帯ケーブルが伴わないタイプも発売されている。

ウェアラブル機器は、健康管理として利用される心拍計測ツールである。医療機器でないタイプが大半で、時計型としてはApple Watchに代表されるように腕の脈波を光学式にてモニターする方式が多い。このタイプにはEPSON社のPULSENSEや、Fitbit社のCharge、や2016年に発売された、Polar社のA360などがある。2016年に発売された

Fitbit 社の中では心拍以外に、活動と睡眠の時刻を記録できる。心拍変動である、心臓の鼓動の時間間隔（心拍間隔）の変化が記録できる。Fitbit 社が発表した Charge3 は SpO2 センサ (relative SpO2 sensor) を備えており、睡眠時の無呼吸症を知ることが可能である。

ウェアラブルデバイスのなかでもスマートウェアと呼ばれる、心拍センサが埋め込まれた下着型をした衣服型センサを図2.2に示す。立命館大学スポーツ健康科学部と東洋紡社において共同開発され、製品名：COCOMI®として販売されている。身体的な生体情報を簡単に計測できるため、心拍数、呼吸数、心電図が計測可能とされている。



図 2.2 立命館大学スポーツ健康科学部で開発されているスマートウェア
(出典) <http://www.ritsumei.ac.jp/tanq/302140/> 2020年9月1日検索

本研究の計測では、このスマートウェアを使用し、被験者の心拍数の変動を計測した。下着型ウェアは生地に伸縮性があり、心拍数を計測するための電極がウェア自体に印刷されている。長時間の心電図検査で多く用いられるホルター心電計の電極は、図2-3のように導電性ジェルと心拍センサの電極が一体化した粘着性シール等を皮膚に貼ることから、侵襲性のために被験者の皮膚に痒みや赤みを帯びることがある。



図 2.3 検査用ホルター心電図電極の例（出典：株式会社アイ・メデックス社）

2020年9月1日検索 <https://www.imedex.co.jp/products.html>

しかし、スマートウェアの生地に印刷された心拍計測センサ用の電極は、被験者の皮膚に接触させるものの、粘着性ジェルなどを用いて皮膚に接着はしないため、装着時の違和感が少なく、発赤やかゆみも生じにくい。身体活動時の拘束性や装着時の不快感も軽減できることが期待できる。スマートウェアは洗濯が可能で清潔な状態で使用できることから、清潔な状態が保つことが可能となる。

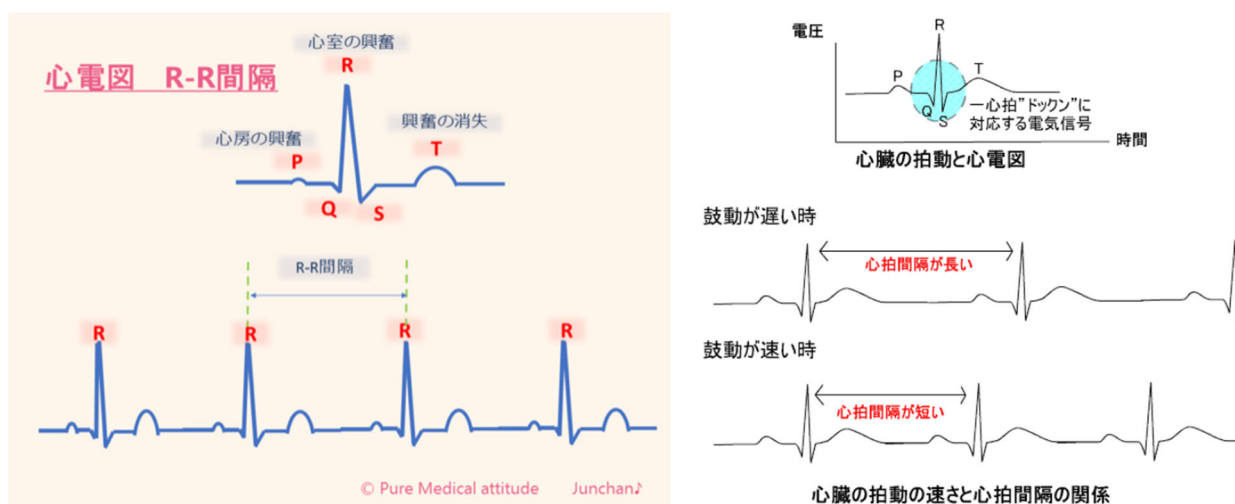


図 2.4 心電図 R 波と R-R 間隔

（出典）左図:Pure-medical attitude Home Page / 右図:ストレスと自律神経 より抜粋

スマートウェアを用いた心電図検査においては、体動による計測時のノイズ（アーチファクト）が報告されており、臨床医学的な診断や、医療用器具に使用するには解決すべき

課題もある。しかし、心拍数の変動や突発的な変化を捉えることは可能であり、安静時の心拍数だけでなく、歩行や走行時においても安定して R 波および R-R 波間隔（図 2-4）が検出できることが報告されている[1,3]。

第3章. 先行研究とリサーチギャップ

3. 1. 仕事意識および動機付けにおける年齢の影響

本研究は、労働者の身体的な健康状態、仕事の意識、および動機付けの要因に関連して、職場の生産性の意識を明らかにする研究である。心理的要因の研究において、筆者は安静時の心拍数やBMIなどの健康リスク指標と、幅広い年齢における労働者の仕事意識とモチベーションを通じて、職場の生産性に対する意識の関係を調査した。先行研究のレビューに基づき、労働者の健康指標、仕事の意識、モチベーション、および生産性意識に関するモデルと調査アンケートを開発した。

アンケートを実施した2018年時点において、労働者の45歳前後は日本の経済成長の転換期を経験した世代であり、仕事に関する意識と動機付けを労働者に問う上で大きな意味を持つ。アンケートに参加した労働者の45歳以下は、日本経済の高度成長からバブル成長期が終焉した後に企業就職を経験した労働者である。厳しい雇用状況を経験して世代のため大企業への就職数が減り、雇用形態において生涯一企業の時代に終焉を迎え、働くことの意識や価値観が大きく変化した年代といえる[53]。

図2.5の左図に、国内労働者に関する各世代の登場の流れと、生年と大卒入社年次の関係を示す。45歳より後の若い世代では、ゆとりやミレニウムと呼ばれる新たな世代が登場する。企業における労働意識において、最近の若手従業員は自身の出世より自己成長や挑戦の機会を重視する考え方が増えている[53,54]。また、企業では終身雇用制度が崩壊し、大企業への就職希望も減少していった世代でもある。こういった観点より、本研究においては、労働者の仕事意識と動機付けに関して問うために、労働者の46歳以上を高年齢労働者グループ、45歳以下を若年労働者グループに分割して分析を行なう。

日本のある建設会社(株式会社熊谷組)の38箇所の作業現場における労働者を対象とし、国内の建設労働者の平均年齢でもある45歳で2グループに分け、職場における安心感、積極的な仕事行動、仕事の満足感、内発的動機付け、外発的動機付け、作業スキルの意識と健康リスクを関連させ、職場の生産性意識との関係性を考察する。

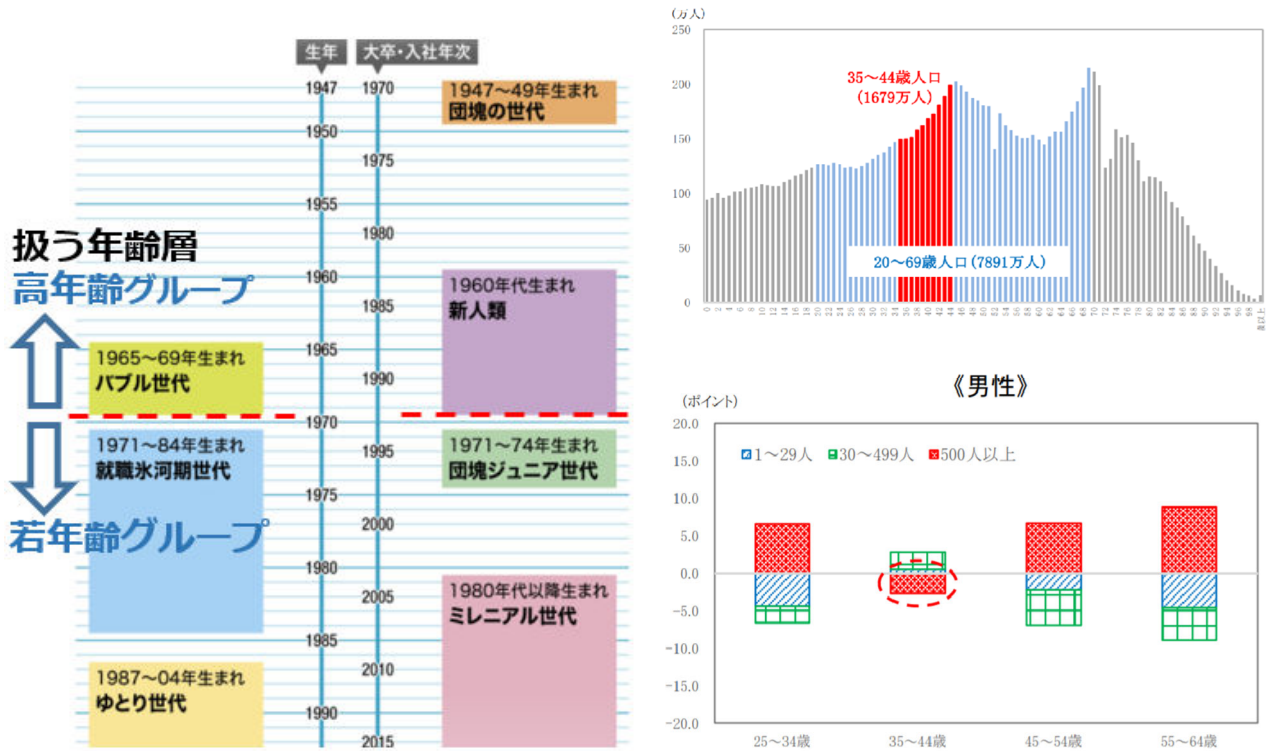


図2.5 日本の経済状況変化と労働者世代の影響

左図：各労働者世代と生年と大卒入社年次の関係（出典：Nippon.com オピニオンサイトより抜粋 <https://www.nippon.com/ja/japan-data/h00535/>）

右上図：年代別の労働人口、右下図：大企業就職の減少年代（出典：総務省統計局 労働力調査ミニトピックスより抜粋 <https://www.stat.go.jp/data/roudou/tsushin/pdf/no21.pdf>）

これまでの先行研究では、建設業界における労働者のモチベーションと生産性に対する意識の関係が報告されている[36,48,55,56]。しかし、労働者の心理的要因と健康リスク指標を組み合わせ、職場の生産性の意識に対する影響を評価した報告は殆ど見られない。また、対象とする労働者層は、経済転換期において労働意識が大きく変わった可能性がある年代を境目にして、若年齢および高年齢グループの労働者について、いくつかの心理的要因と生産性意識との関係について分析を行なう。

3. 2. 身体的な労働負荷による生産性への影響

身体的に高い負荷の労働活動は、体力が消耗し疲労の原因となる。米国では、労働者の安全性や健康は労働生産性に影響し、致命的な結果につながるとの報告がある[57]。身体的な疲労は、職場における生産性とモチベーション、判断力の低下が生じ、労働品質およ

び仕事の満足度の低下により事故や怪我が発生する[58]。また、労働力の高齢化は、労働現場に悪い影響を与える可能性がある[59]。身体の負荷は与えられた作業に対する身体的反応を指し、これまでの研究では、姿勢（背屈曲、捻じれ）、活動（歩行、持ち上げ、持ち運び）、身体特徴（身長、体重、体力など）を測定し、労働活動の期間と頻度が報告されている[60-62]。

労働負荷は、労働者個々の身体的要因（例えば、年齢、トレーニング、栄養）や環境要因（例えば、温度、湿度、騒音）に見られる様々な要因によって左右され、直接的な労働状態だけでなく、これらのすべての要因が関与することが知られている[60,63]。しかし、身体的な個人差、および環境的要因の差について、それらすべてを考慮に入れて判断することは非常に困難である。また同じ労働条件で同じ仕事をしている労働者であっても、異なる職場で同じ仕事をしている労働者の間では、労働者の身体負荷に及ぼす影響は異なるとの研究もある[65,66]。心理的な要因が心拍数を急激に変化させることもあるが、長期的な心拍数の変化に対し、身体的な影響は他の影響よりも支配的である。

作業現場で身体に影響を与える負荷要因を完全に特定し、把握することは困難であるが、労働者の生理的反応（例えば、心拍数ベースの測定[66,67]）に基づく測定は、労働者の労働負荷を理解するための代替手段となり得る。%HRRベースによる労働負荷の測定は、様々な作業条件において作業員が時間経過を伴う身体的反応の理解に有用である。

%HRRの測定精度に関する先行研究では、主に身体負荷の正確な代謝測定（すなわちエネルギー消費：EE）が、実験室環境において試験されている[68,69]。これらの試験では、被験者は顔面マスクを着用し、人体の内部で必要となるVO₂（酸素摂取量）を測定することにより間接熱量を測定している。VO₂とEE（VO₂の1L /分あたり4.83kcal /分のEE）を計測することにより[70,71]、%HRRは個人差を考慮して身体への負荷を表現できることが示された[72]。%HRRが60%を超える作業の出現は通常の作業において稀であり、%HRRが40%を超える作業は、8時間の作業中において高い労働負荷とみなされる[73,74]。労働者の健康へのリスクを考えると、高い労働負荷は長期間続けるべきではない[75,76]。

%HRRによる労働負荷の測定は有用な方法であるが、ウォーキング、ジョギング、トレッドミルといった特定の活動に基づいて%HRRが測定されている[73-76]。労働者の流入と流出が頻繁な建設現場において、特定の活動を使用して労働者の%HRRを正確に測定する

ことは困難である。したがって、労働者の健康リスクを測定するために簡便で実用的、かつ正確な手段を開発する必要がある。労働者の活動データのモニタリングを通じ、現在はインタビューや定性的サーベイに留まっている労務管理の分野において、労働力を定量的に管理することによって、生産性の管理に大きな革新となる可能性がある。

第4章. 研究目的とリサーチクエスチョン

本研究における研究目的は以下の三つである。

第一の目的として、本研究では、日本の大手建設会社である熊谷組社の建設労働者を対象とし、アンケート調査による仕事意識の分析を行なう。幅広い年齢層（19歳から82歳）の労働者を2つにグループに分け、安静時の心拍数およびBMIから推察される健康リスク指標、労働者の幾つかの仕事意識と動機付けを通じて、職場の生産性意識への影響を調査する。労働者の健康リスクと、仕事意識および動機付けといった心理的な要因が、生産性意識への影響の定量的な調査を第一の目的とする。労働者を若年層（ ≤ 45 歳）と高齢層（ ≥ 46 歳）に分類し、仮説モデルにおける、労働者の健康リスク指標および心理的要因が、生産性意識に対する影響について統計分析を行なった。

第二の目的として、労働時の心拍数と労働負荷の関係を明らかにするため、開発したウェアラブル機器とIoTシステムを用い、労働者の心拍数および身体活動に関するデータを採取して分析した。この研究では、事前準備の負担がない実用的な計測手法の検討が第二の研究目的であり、ロジスティック回帰分析によって労働負荷を高い正解率で推定する手法を開発し、その妥当性を評価した。

第一および第二の研究目的において、労働者の生産性に関連する心理的要因、および身体的な要因を合わせて分析し、労働負荷のモニタリングによる労務管理の提案を第三の目的とする。

本研究におけるリサーチクエスチョンとして、

1. 安静時の心拍数による健康リスクの変化は、労働者の心理的要因を通じて、職場における生産性の意識にどのような影響を与えているか？
2. 労働者の年齢、身体情報、労働時の活動情報、および労働環境の情報から、どれくらい労働負荷の実用的な計測ができるか？

を設定する。

第5章. 研究対象と研究方法論

5.1. 建設企業および日本国内の建設労働者

本研究の被験者が所属する建設企業が置かれている労働環境を考える。日本の建設労働者数は1997年にピークを迎え、685万人に達し、2018年には530万人に減少している。管理者や専門技術者を除く建設現場の作業員数は1997年に455万人、2018年には297万人に減少している[77]。その後、建設労働者は高齢化が進み、2018年は34.1%が55歳、11.0%が29歳以下であることが分かっており、明らかに若年層の建設労働者が減少している。このことから、建設分野では、次世代に技術を伝えるとともに長期的に活躍できるリーダを確保することが求められている[77,78]。図5.1と表5.1は、日本国内の建設労働者と研究対象である建設企業のアンケート参加者に関する両グループの年齢構成を示す。これらの年齢層サンプルに対し、コルモゴロフ-スミルノフ試験(両側 $p=0.8928$)を実施し、2グループの年齢層による関係について統計的判断を行なった。その結果、5%の有意水準で統計的に有意とならず、2グループのサンプルに間に差はあるとはいえなかった。よって、アンケート参加者は、年齢構成および平均年齢について国内の建設労働者と同様のサンプルであることが示唆された。

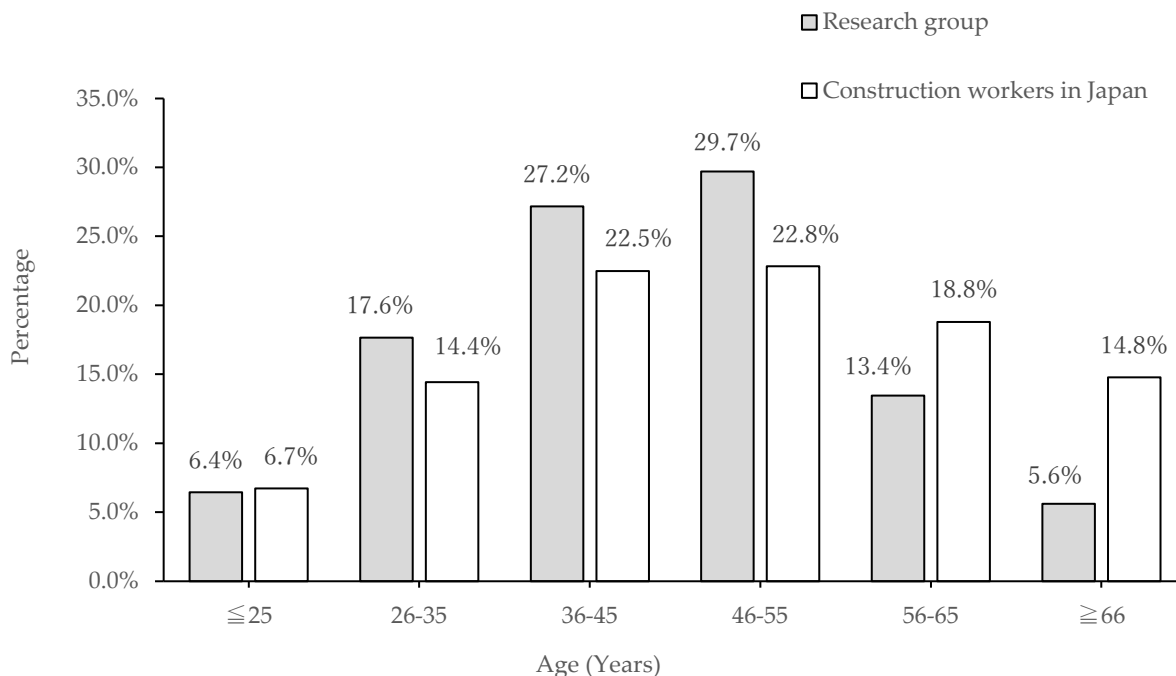


図 5.1 建設労働者の年齢層ごとの割合

表 5.1 建設企業と日本国内の建設労働者の人数割合

| 年齢（歳） | アンケート対象企業 | | 日本国内の建設労働者 | |
|---------|-----------|-------|-----------------------|-------|
| | 人数 | 人数[%] | 人数(×10 ⁴) | 割合[%] |
| ≤25 | 23 | 6.4 | 20 | 6.7 |
| 26-35 | 63 | 17.6 | 43 | 14.4 |
| 36-45 | 97 | 27.2 | 67 | 22.5 |
| 46-55 | 106 | 29.7 | 68 | 22.8 |
| 56-65 | 48 | 13.4 | 56 | 18.8 |
| ≥66 | 20 | 5.6 | 44 | 14.8 |
| 合計 | 357 | 100.0 | 298 | 100.0 |
| 平均年齢（歳） | 44.8 | | 45.6 | |

5. 2. 労働者アンケート調査における統計分析手法

5. 2. 1. 構造方程式モデリングによる分析

建設労働者に対するアンケート結果の分析手法は、構造方程式モデリング（SEM：Structural Equation Modeling）を用いる[79-81]。SEMは、アンケート調査の回答、試験の得点、実験データなどの観測変数を用いて、項目間（変数間）の因果関係について仮説を立て、その関係について検証する解析手法である。直接観測できない潜在変数（構成概念）を導入し、潜在変数と観測変数との間の因果関係を評価することにより、社会現象および自然現象を理解するための統計的アプローチである。先行研究において、建設労働者の意識分析にも用いられている[82]。

測定したモデルに対して、一連の回帰分析（パス解析）を同じモデルに含めて同時に分析する。具体的には、想定した因果に関する仮説をモデル化し、得られるモデル（仮説）の妥当性の検討、モデル（仮説）修正を行ないながら、因果関係の強さと方向を推定および検定を行なう。複数の因子の関係モデルにおいて、測定誤差は考慮に入れず（モデル上は測定誤差がないという前提を用いる）、その前提が妥当性に欠けたものでないかを確認するため、回帰分析およびパス解析によってモデルを評価する。

SEM は、以下のことが明らかになる特徴がある。

- ・ 各変数間の相関関係および因果関係
- ・ 各変数間の関係性を見ることで、他にも類似した傾向
- ・ 潜在変数（構成概念）を導入することで、潜在変数と測定変数間の因果関係
- ・ いくつかの潜在変数の関係、その間の因果関係

因果関係の仮説では、項目間で矢印を用いて結んだパス図を用いて表す。SEM 分析を行なうことにより、項目間の関係の強さを表すパス係数と呼ばれる値が求め、その係数をパス図の矢印線上に記載し、パス係数の大小によって因果関係を示唆できる。

パス係数は変数間の相関関係および因果関係を表す。パス係数には標準化解と非標準化解の二種類があり、標準化解はすべての観測変数と潜在変数の分散を 1 に基準化して求め、非標準化解は基準化しないそのままのデータでパス係数を求めている。パス係数の強さの比較に注目したいときは標準化解、大きさ自体を解明したいときは非標準化解を用いる。

5.2.2. モデルの適合度判定

モデルの適合度を評価するための統計的な指標（適合度指標 GoF: Goodness of Fit index）がいくつか提案されている。それぞれの指標は何を以ってそのモデルが適合しているかという考え方に違いがあり、ある指標で良い適合とされても別の指標では適合がさほど良くないと判断されることがある。総合的な判断の方法としては、代表的な指標をいくつか用いて、モデルの適合度を報告することが望ましい[79,80]。

パス係数と相関係数は密接な関係があり、適合度は両者の整合性や近さを把握する。具体的には、パス係数を掛けあわせ加算して求めた理論的な相関係数と実際の相関係数との近さを計算し、これを数値化した値が適合度指標 GoF である。よく使われる適合度指標としては、 χ^2/df 、TLI、CFI、GFI、AGFI、RMSEA などがある[79-81]。

χ^2/df は χ^2 の自由度の影響を考慮した指標で、値が 0 に近いほど良いモデルといえる。1~5 未満が適切との報告があるが明確な基準はない。TLI(Tucker-Lewis index) は、NFI の χ^2 の部分において自由度の影響を考慮した χ^2/df に変更し、NFI を求める式の分母より 1 を引いたものである。CFI は、NFI の χ^2 の部分を $\chi^2 - df$ にしたもの（自由度の影響を考慮）である。CFI (comparative fit index) は、TLI (0-1 の範囲を逸脱する場合がある)

の欠点を修正した指標で、1に近づくほど適合度が高い。GFIは重回帰分析における決定係数 R^2 、AGFIは自由度修正済み決定係数として表現される。GFI、AGFIともに0~1の間の値で0.9以上であればパスの方向が妥当であり、優れたモデル（理論的な相関係数と実際の相関係数が近いモデル）とされる。幾つかのモデルの中で、GFIが最大となるモデルを採択するときに有効とされる。

RMSEAは、母集団における分散共分散行列と、モデルによって復元された分散共分散行列との距離が、どれくらい小さいかを推定して評価する指標である。SEMによる分析の評価では頻繁に利用される指標で、0.1以上であればモデルの当てはまりが悪く、0.05以下であればモデルは非常に適合したと判断できる。[79-81]

また、SRMR (standardized root mean square residual: 標準化残差平方根)は、サンプルの分散および共分散と、モデルにより再現される分散および共分散の差である残差成分が、どれだけ少ないかを評価する指標である。下限値は0となり、0に近いほどモデルが適合していると判断する。0.05を下回ればモデルの適合度は優れている。

いずれの適合度も数値尺度によりモデルの測定値の正しさを示すものである。本研究の建設業就業者の心理的要因に関するモデルの適合度は、 χ^2/df 、TLI、CFI、GFI、RMSEAの5つの指標を用いて判断する。SEMで分析する場合、どの適合度指標を採用するかは定められておらず、通常はRMSEAを含む2つ以上の適合度指標を満たしていれば良いモデルといえる[83]。

5.2.3. R言語におけるSEM分析でのサンプルの妥当性

本研究のSEM分析はR Language 3.5.1を用いて実施する。SEM解析に必要なサンプル数は、モデルの複雑さと潜在変数や測定変数の数、データ内容により異なる[84]。R languageのSEM分析では、必要サンプル数の確認は直接できないが、解析で使用されるlavaanライブラリは、サンプル数が少ない場合やサンプルの数値に妥当性が無い場合は、以下のWarningが出力される。

1. lavaan WARNING: model has NOT converged

原因1. モデルの潜在変数が少なすぎる。

原因2. モデルが単純、または複雑すぎて解析できない。

原因3. サンプルサイズが小さすぎて計算が収束できない。

2. lavaan WARNING: some estimated ov variances are negative

原因 1. サンプルから求めた潜在変数の分散が負になってしまう。

原因 2. サンプルサイズが小さすぎて満足な計算の収束ができない。

3. lavaan WARNING: some observed variances are (at least) a factor 1000 times larger than others; use varTable(fit) to investigate

原因. 観測変数のサンプルの中で、桁が大きくかけ離れるサンプルがある。

本研究の分析途中において、仕事意識と動機付けの両モデルのサンプル数が120程度を下回るとWarningが出力されたが、最終分析の段階ではWarningは出力されなかった。その後の分析過程において、これらのWarningは出力されていないことを確認しており、このことより、今回のモデル解析で必要なサンプル数は確保できていると考える。

5. 3. 本研究における用語および定義

5. 3. 1. 心理的要因の分析における用語定義

本研究における労働者の心理的要因の分析では、以下のように用語の定義を行なう。

・ 健康リスク指標

労働者の健康リスク指標とは、安静時の心拍数およびBMI (Body Mass Index: 体格指数) によって判断する。アンケート調査の対象となる建設労働者は、心拍数や身体測定を定期検査する建設会社に勤務しており、普段から自身の測定値を把握していることが期待される。

・ 健康リスク指標におけるBMI

定期的な身体検査により、普段から自身の測定値を把握していることが期待でき、身長(height)、体重(weight)を労働者に質問し、その回答よりBMIを求めた。

$$\text{BMI} [\text{kg}/\text{m}^2] = \text{weight} / (\text{height})^2 \quad (\text{式1})$$

先行研究である東アジアのコホートの研究において、BMIが22.6から27.5の人々は死亡リスクが最も低く、この範囲よりBMIが高い人々は癌、心血管疾患、およびその他の原因による死亡のリスクが高かった[85]。

- ・ 生産性の意識

仕事における職場の上司や同僚からの支援、仕事における共感、協力、コミュニケーションに対する意識をアンケート調査し、ここから職場の生産性意識を計測する。

- ・ 労働者の年齢区分

日本経済の転換期となった時期に企業に就職した年齢層を境目にして、労働者を2グループに分割して分析を行なった。アンケート調査を実施した2018年時点において、46歳以上の年配の労働者は高齢労働者、45歳以下の若手の労働者は若年労働者と定義する。

5. 3. 2. 身体的要因の分析における用語定義

本研究における労働者の身体的要因の分析では、以下のように用語の定義を行なう。

- ・ 労働者の労働負荷

収集された労働者の心拍数データを用いて、以下の式によって労働負荷を求める。労働負荷は予備心拍数に対する相対値(%HRR)で評価する[75,76]。

$$\%HRR [\%] = (HR_{working} - HR_{resting}) / (HR_{maximum} - HR_{resting}) \times 100 \quad (\text{式2})$$

上式における各パラメータは、

$$HR_{working} [\text{bpm}] = \text{労働時の単位時間あたりの平均心拍数} \quad (\text{式3})$$

$$HR_{resting} [\text{bpm}] = \text{休憩時の単位時間あたりの平均心拍数} \quad (\text{式4})$$

$$HR_{maximum} [\text{bpm}] = (208 - 0.7 \times \text{労働者年齢}) \quad (\text{式5})$$

で定義される。

$HR_{working}$ は労働時の所定時間の平均心拍数、 $HR_{resting}$ は休息時にもっとも落ち着いた時の心拍数、 $HR_{maximum}$ は年齢から推定される最大心拍数[66,86]を示す。特に、 $HR_{resting}$ は被験者の最もリラックスした状態の心拍数を測定することが必要である。いずれの被験者も休息の開始後の10分以内には作業で高まっていた心拍数は大きく回復した。よって、休息時間の開始後10~15分経過した状態において、被験者の安静状態にある心拍数を測定する。 $\%HRR$ は連続して計算できるが、労働負荷が持続できる期間を考慮するために、5分および30分単位で平均化して労働負荷の $\%HRR$ を計算する。

- ・ **労働負荷に基づく健康リスク判定**

労働者の健康リスクは、就業時間中の%HRRが40%を超える状態が30分以上継続される場合、労働者に対して健康リスクに影響があるとして結果の判定を行なう[75,76]。

- ・ **労働者の身体活動量**

労働者の作業ペースの評価として、活動サンプリング（または活動分析）を行なう。労働者の身体的な活動（直接作業を含む就業活動、作業場所の移動、休憩、準備、清掃など）における移動情報を計測する。身体的な活動量の計測は、被験者のスマートウェアに装着されたユニオンツール社製のWHS-2に搭載された3軸加速度計を用いて計測し、労働者の左右方向：X、上下方向：Y、前後方向：Z軸における各軸の加速度が出力される。時間ごとに計測される3軸の各加速度に対し、以下の式を用いて作業員の身体活動量を算出した。時間経過における3軸における移動時の加速度ACC_{moving}は下式で表す。

$$ACC_{moving} [mG] = \sqrt{(A_{X_n} - A_{X_{n-1}})^2 + (A_{Y_n} - A_{Y_{n-1}})^2 + (A_{Z_n} - A_{Z_{n-1}})^2} \quad (\text{式6})$$

ある観測ポイントの前後において、各軸における加速度の変化量を二乗和し、平方根を求めることで、移動時における3軸の合成加速度を労働者の身体活動量として定義する。身体活動量は重力加速度であり、その単位は[mG]で表現する。

- ・ **健康リスク判定における独立変数のBMI**

労働者の健康リスク判定において独立変数の1つとして扱うBMIは、被験者に身長(height)、体重(weight)を質問し、その回答よりBMIを求めた。健康リスク判定のBMIは上記の(式1)で求める。

5. 4. 開発したIoT計測システム

被験者の生体指標および環境雰囲気計測装置の一覧を表5.2、IoTシステムの構成を図5.2に示す。建設現場の労働者は東洋紡社製スマートウェアを着用し、そのウェアには心拍変動を計測するシート状のセンサが一体化され、それに電氣的に接続可能な計測機器（ユニオンツール社製WHS-2）を装着した。

IoTシステムは、大きく3つの機能で構成されており、被験者から採取した心拍変動や活動量といった生体情報は、作業エリアに配置したアンテナ（BLEアクセスポイント）から

WiFiアクセスポイントを通じてPCサーバに送られ、被験者の情報が記録される。

表5.2 生体指標および環境雰囲気 の測定に使用した計測装置

| Measurements | Equipment model (Name of the Manufacturer) | Accuracy | Resolution | Interval | Note |
|----------------------------|---|----------|-------------|----------|---|
| Working environment | | | | | |
| Air temperature | AD-5696 (A&D Co., Ltd.) | ±1 °C | 0.1 °C | 10 min. | Thermister |
| Relative humidity | | ±5% Rh | 0.1 %Rh | 10 min. | Capacitance |
| WBGT | | -- | 0.1 °C | 10 min. | -- |
| Physical workload | | | | | |
| ECG (Smart clothing) | COCOMI *1 (TOYOBO Co., Ltd.) | 1Ωsq.*2 | 0.3 mm *3 | -- | Stretchable conductive film |
| Heart rate sensor | WHS-2 *4 (Union Tool Co., Ltd.) | -- | 1 kHz *5 | Per beat | Analysis of R- R interval |
| 3-axis acceleration | | -- | 31.25 Hz *5 | Per beat | Capacitive sense |
| Infrastructure | | | | | |
| Data acquisition time | CC2650 *6 & ThinkPad (Texas Instruments & Lenovo co., Ltd.) | -- | 1 msec. | Per beat | Synchronized time with server |
| Data transfer | Raspberry Pi Zero W (Raspberry Pi Foundation) | -- | -- | -- | IEEE802.11 b/g/n (Wireless LAN) Bluetooth 4.1 |

Note: *1:図 5.2 左の b に示す; *2:スマートウェアのシート抵抗値; *3:センサ素材の厚み; *4:
図 5.2 左の a に示す; *5:サンプリング周波数; *6: 図 5.2 左の c に示す

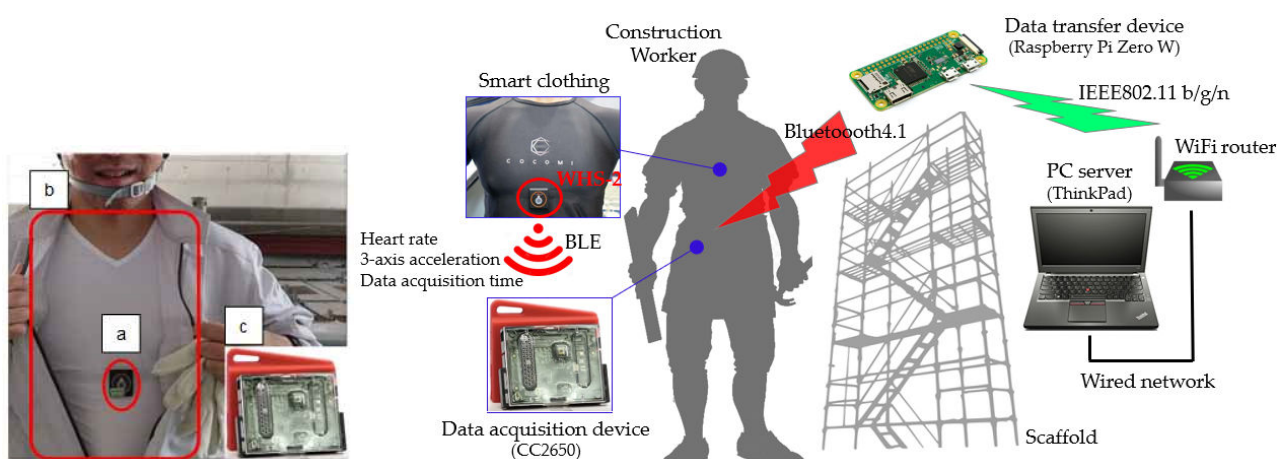


図5.2 開発したIoT計測システム

スマートウェアと計測機器で採取した心拍変動のデータは、BLEによる無線通信を通じて、補助通信装置（テキサスインスツルメンツ社製CC2650）に送信される。補助通信装置

は小型で携帯可能なデバイスであり被験者が所持する。補助通信装置では受信した被験者の計測データの一時的に蓄積し、測定エリアに配置されたアンテナ機器(Raspberry Pi Zero W)にデータ転送する。作業エリアに配置した無線アンテナ機器においては、近づく被験者の送出電波を捕捉し、被験者の位置や心拍数、3軸加速度に関するデータは無線通信を介して、PCサーバまで送信されデータ蓄積が行われる。

本開発システムと類似したシステムも存在し、それらは建設現場においてスマートフォンを使用して、作業員の生体情報をクラウド上に送信する機能を有している。しかし、公衆回線のようなGPSやWiFi等の通信機能が使用できない環境下では利用できない問題がある。本システムは、現場に通信用のアクセスポイントを設置することで、通信環境を独自に構築して生体情報を取得している。この場合、通信機器を設置したエリア範囲外へ移動した作業員の生体情報はリアルタイムで取得することが出来ないという課題が想定される。本システムでは、生体情報を取得するウェアラブルデバイスに、通信とタイマの機能、記憶機能を持った補助通信装置を付加し、無線通信が可能なエリア外に移動した作業員の生体情報の取得時刻を正確に記録できる。

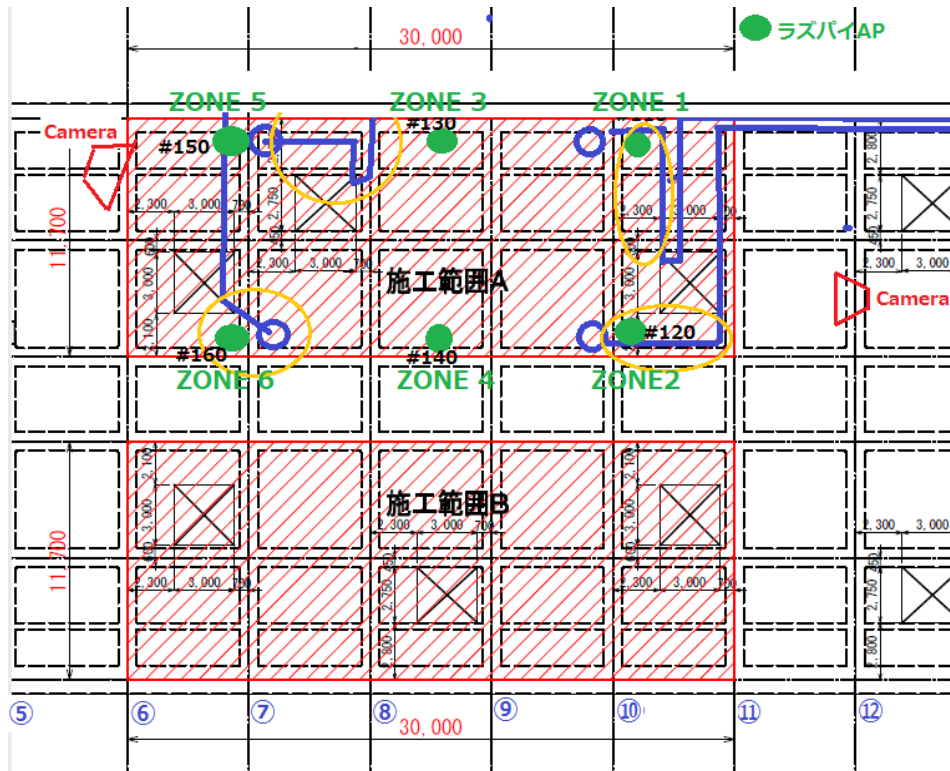
具体的には、範囲外に出た作業員の生体情報は補助装置において保存し、自走タイマの値も同時に記録する。作業員がアクセスポイントの範囲内に戻ることによって、補助装置とアクセスポイント間、アクセスポイントと上位サーバの通信が回復すれば、補助装置内に記録されていたタイマ情報と生体情報をサーバ上の時刻と同期させ、補助装置の生体情報の取得時刻を補正し、時刻に切れ目なく生体情報を取得する。

アクセスポイントは定期的に上位サーバと時刻同期を行ないながら、並行して補助通信装置から生体情報を取得する。時刻同期が行われる毎に、タイマ情報が付加された生体情報における時刻は、そのタイマ情報を時刻(秒や分)に換算し、補正することで算出を行なう。アクセスポイントとPCサーバ、ウェアラブル機器と補助通信装置を有することで、通信範囲外に出た作業員の生体情報の取得データの時刻を同期しながら、時刻に切れ目なく生体情報を採取することができる。

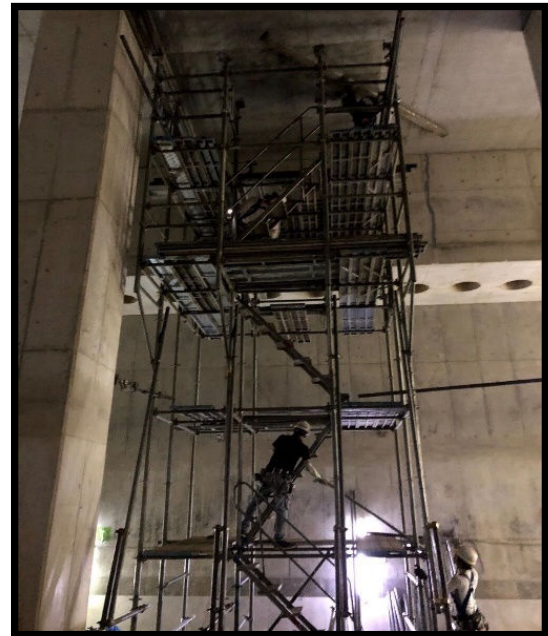
5. 5. 建設現場の計測エリア

実験現場の作業エリアの見取り図を図5.3に示す。測定の対象とする作業は、現場の足場階段を解体である。作業員に装着している通信装置から発せられる生体情報を受信するた

めに、作業エリアにおいて、Zone1～Zone6の位置6ヶ所にアクセスポイントを設定した。



a) 建設現場における計測エリアの見取り図



b) 建設現場における足場階段

図5.3 建設現場の計測エリアと足場階段の写真

(図5.3のa) 作業エリアの範囲内において、作業員が移動しながら足場階段の鉄骨を解体して外部に搬送作業を行なう。(図5.3のb) 休憩時には労働者は作業エリアの範囲外に移動するが、本計測システムには補助通信機器(テキサスインスツルメンツ社製CS2650)を被験者の所持してもらい、WHS-2からのデータをCC2650で受信して記憶させ、データ抜けが無いことを実現している。システム全体での時刻合わせは、PCサーバや被験者が装着した補助通信装置も含めて行ない、被験者の生体情報は採取時刻の整合性を図っている。

作業員の行動記録は、建設作業の弊害とならない位置に、ビデオ撮影機(図5.3 aのcamera)を設置して録画を行なった。建設現場の作業スペースに制約があり、作業エリアにおいて対抗する位置にビデオ撮影機を2台設置し、作業エリアの奥、および手前の二方法から録画した。作業員の繰り返し作業(足場階段の鉄骨解体と外部搬出を、分業にて繰り返し作業を行なう)の労働状況と作業タスク、時刻の関係を一致させるのに役立った。作業員が不規則な作業負荷に直面している場合に、作業進行に応じて労働負荷の変動を確認することに使用した。

第6章. 労働者の心理的要因による生産性意識に対する影響

6. 1. 労働者の調査内容

建設労働者の職場における仕事意識および動機付けに関するモデルを開発し、生産性意識に対する影響について、労働者のアンケート結果から分析を行なった。

労働者の仕事意識モデルを潜在変数として、健康リスク指標、職場環境の安心感、積極的な仕事行動、仕事の満足感、仕事スキル、生産性意識を定義し、潜在変数間において生産性意識に対する影響を考える。また、労働者の動機付けモデルにおける潜在変数は、健康リスク指標、内発的動機付け、外発的動機付け、仕事スキル、生産性意識を定義し、潜在変数間において生産性意識に対する影響を考える。

6. 1. 1. 分析ツール

SEMを使用した統計解析により、労働者アンケートの回答データを分析した。解析ツールとしてプログラミング言語はR Language 3.5.1、開発環境はR Studioを使用した。分析で用いたR LanguageのAPIは末尾の付録に記載する。

アンケート参加者を雇用する建設会社では、従業員は定期的に健康診断や身体測定を受けており、自身の測定値を把握する機会がある。アンケートにおいて、年齢、身長や体重などの身体情報、生体情報である安静時の心拍数に関して回答を求めた。労働者の仕事意識と動機付けに関連して測定変数を評価するため、5段階のリッカートスケールによるアンケート（1 = 全くそう思わない、5 = 非常にそう思う）を使用して、建設労働者から回答を得た。

6. 1. 2. プロトコル

アンケート調査に先立ち、全ての参加者に対し、調査の目的と参加者の権利を説明した。回答データの分析にあたっては、個人情報の開示リスクを最小限に抑えるため、労働者の氏名は使用せず、代わりに各参加者に個人識別コードが割り当てられた。調査に参加しても参加者は不利益にはならず、収集されたデータは匿名で分析を行なうことを説明し、アンケートの回答を中断できることを保証した。また、参加者が回答したくない質問があれば、回答しなくていいことも説明した。本研究は、ヘルシンキ宣言、ヒトゲノムプロジェクト、世界人権宣言に従って行なっており、参加者の年齢、心拍数、身体活動などのプラ

イバシー条件に関するデータ収集のプロトコルは、立命館大学の倫理委員会により承認（BKC-2017-071-1）を受けている。

6. 1. 3. データ収集

アンケートのいずれかの質問項目において、未回答があった33名の参加者のデータは分析に含めなかった。有効回答として分析に使用した参加者の総数は324名であり、若年労働者（≤45歳）は165名、高齢労働者（≥46歳）は159名であった。アンケート回答のなかで、性別、年齢、雇用状況、雇用レベル、雇用形態について表6.1に示す。労働者グループのそれぞれの構成は表6.2に示す。

表 6.1 アンケート参加者の構成（N = 324）

| 特性 | カテゴリ | 人数[人] | 割合[%] |
|-----------|---------|-------|-------|
| 性別 | 男性 | 322 | 99.4 |
| | 女性 | 2 | 0.6 |
| 年齢(年) | ≤25 | 21 | 6.6 |
| | 26-35 | 60 | 18.5 |
| | 36-45 | 84 | 25.9 |
| | 46-55 | 95 | 29.3 |
| | 56-65 | 46 | 14.2 |
| | ≥66 | 18 | 5.6 |
| | 経験（年） | ≤10.0 | 112 |
| 10.1-20.0 | | 85 | 26.2 |
| 20.1-30.0 | | 83 | 25.6 |
| 30.1-40.0 | | 31 | 9.6 |
| ≥40.1 | | 13 | 4.0 |
| 雇用レベル | 労働者/補助員 | 15 | 4.6 |
| | 技術者/技能者 | 263 | 81.2 |
| | 管理者/監督者 | 46 | 14.2 |
| 雇用形態 | パートタイム | 0 | 0.0 |
| | フルタイム | 324 | 100.0 |

表 6.2 アンケート参加者のグループ構成と特徴（N = 324）

| グループ | 合計 | 割合 | 特性 | 人数[人] | |
|-------|-----|------|-------|-------|----|
| 若年労働者 | 165 | 50.9 | 年齢(年) | ≤25 | 21 |
| | | | | 26-35 | 60 |

| | | | | |
|------------------|-----|----------|-----------|----|
| (グループA) | | | 36-45 | 84 |
| | | | ≤22.5 | 63 |
| | | BMI | 22.6-27.5 | 79 |
| | | | ≥27.6 | 23 |
| | | | ≤69 | 52 |
| | | | 70-79 | 83 |
| | | 心拍数(拍/分) | 80-89 | 29 |
| | | | 90-99 | 1 |
| | | | ≥100 | 0 |
| | | | 46-55 | 95 |
| | | 年齢(年) | 56-65 | 46 |
| | | | ≥66 | 18 |
| | | | ≤22.5 | 58 |
| | | BMI | 22.6-27.5 | 74 |
| | | | ≥27.6 | 27 |
| | | | ≤69 | 0 |
| | | | 70-79 | 46 |
| | | 心拍数(拍/分) | 80-89 | 90 |
| | | | 90-99 | 23 |
| | | | ≥100 | 0 |
| 高齢労働者 (グループB) | 159 | 49.1 | | |

6. 2. 建設労働者の仕事意識と生産性意識

6. 2. 1. 仕事意識の仮説モデル

建設労働者へのアンケートは、いくつかの先行研究に基づいて、健康リスク指標、職場環境の安心感、積極的な仕事行動、仕事の満足感、仕事のスキル、および生産性の意識との関係を分析する。職場の生産性意識については、チームパフォーマンスの意識によって調査を行なった。従業員の労働意識の評価に用いられる労働安全度(WSS)は、先行研究においても労働意識のアンケートに用いられる[87]。本研究のアンケート設計は、英国で実施された2011年職場雇用関係調査(WERS)の質問項目[88,89]にある、労働者の職場意識、監督者と労働者の関係、仕事の満足度、仕事に対する態度と仕事スキルの質問を参考にした。調査対象の建設会社において経験豊富な現場監督者とインタビューを実施し、建設労働者の仕事意識に影響を与える心理的要因の調査アンケートを考案した。この自己開発アンケートは、労働環境における建設労働者の意識の評価に使用し、労働環境の潜在因子に

関する質問を検討した。以下に、労働者の仕事意識モデルの検証に使用する仮説について提示する。

仮説1 (H1)：健康リスク指標は、職場の安心感に影響を及ぼす

労働者の健康リスク指標の観測変数として、安静時の心拍数とBMIを用いた。安静時の心拍数の上昇は、死亡リスク、心臓病、心血管疾患に影響を与える[90,91]。東アジア人のコホートの研究では、22.6から27.5の範囲のBMI（身長を二乗して体重で割る）である人々は死亡リスクが最も低く[77]、BMIが高いほど、癌、心血管疾患、および他の原因による死亡のリスクが高まる。

厳しい作業日程、不規則な労働時間、職場の安全のために環境に対する温度配慮が必要であり、仕事におけるストレスは、労働作業の性能低下の対象となる[92]。暑い職場環境や労働者の健康の影響を調査することで、職場における労働者の熱ストレスを軽減するために、労働環境の厳格な管理と労働者の健康管理が必要となる。労働者の健康悪化に対する影響を減らすことの重要性が、これまでの研究によって示されている[93,94]。労働者自身が健康リスクを認識することは、職場における良好な労働条件への期待、および改善要望につながる可能性がある。

仮説2 (H2)：健康リスク指標は、積極的な仕事行動に影響を及ぼす

ここにおいても労働者の健康リスク指標の観測変数として、安静時の心拍数とBMIを用いる。安静時の心拍数の上昇は、死亡リスク、心臓病、心血管疾患に影響を与える[90,91]。東アジア人のコホートの研究では、22.6から27.5の範囲のBMI（身長を二乗して体重で割る）である人々は死亡リスクが最も低かった[77]。BMIが高いほど、癌、心血管疾患、および他の原因による死亡のリスクが高くなる。

建設労働者は職場での健康状態を認識することにより、安全で安心できる仕事の要望と実際の労働条件が一致することを期待している。企業は従業員の健康意識を高め、管理の徹底をはかるため、心拍数、血圧、身長、体重などを健康診断により定期的に測定している[95]。健康状態について労働者自身が認識することにより、職場において積極的な仕事行動に影響する可能性がある。

仮説3 (H3)：職場の安心感は、仕事の満足度に影響を与える

労働の過負荷と劣悪な労働条件は、労働者の仕事満足度を低下させる[96]。仕事の満足度は様々な要因に依存するが、それを改善するための戦略は労働条件[97]に依存します。McLainは、職場環境に対する認識に関連する労働者のストレスに焦点を当て、個人が定期的に健康と安全の脅威に晒されており、リスクの主観的な解釈が仕事の満足度に影響を与える可能性があることを示した[98]。仕事の満足度と安全性に対する認識を分析すると、仕事の満足度が高い労働者は職場環境における安全性に対して肯定的な見解を持ち、不満を持つ労働者はその環境における安全性に否定的な見解を持っていることを示している[99]。研究では、仕事の満足度と環境安全の認識とは関連性があり、仕事環境の安心感や仕事の満足度が高いとき、労働者は安心して働くことができる。[99,100]

仮説4 (H4) : 仕事の満足度は、仕事のスキルに影響を与える

多くの先行研究においても、仕事満足度を定義に関する一般的な合意はまだありません[102]。仕事の満足度は複雑で多面的な概念であり、異なる著者によって異なる意味を持つ。仕事の満足度は、通常はモチベーションに関連するが、モチベーションと同じではなく、達成感の個人的な感情に関連している可能性がある[103]。労働者の仕事満足度は、職場で重要な役割を果たす仕事における能力の幅[104]と、労働者に要求されるスキルと実際の仕事スキル[105]、および労働者のスキル開発[106]と関連する。

仕事満足度に関する文献の多くは、賃金、労働時間、教育、健康状態、契約タイプ、仕事のスキル[105]などの独立変数の効果を報告している。また、仕事における労働者の希望と実際の職場での状況を照合することは、仕事の満足度に影響し、仕事の満足度と仕事の側面の一つである仕事のスキルが一致する可能性がある。Bosらは、作業スキルと実際に担当する作業要件の間の不一致がワークライフに悪影響を及ぼし、仕事スキルと仕事満足度の関係性を指摘した[106]。仕事満足度の高い労働者は、建設機械や設備装置に関して自身が所有する専門的、技術的スキルと関連している可能性がある。

仮説5-1 (H5-1) : 労働者の仕事スキルは、職場における生産性意識に影響を与える

労働者の技術力や設備の操作能力などの仕事のスキルの向上は、職場の労働者の生産性を高め、生産性の成長を維持し、その成長をより良い仕事に変換する上で中心的な役割を持っている[107]。これまでの研究では、不十分な仕事のスキルが労働者の生産性を低下さ

せる定量的な報告があり[108]、仕事のスキルの1ポイントの低下は、従業員の生産性を最大5%削減することができる[109]。Baikたちは、ジョブ需要リソース(JD-R)モデルを用いて、従業員が職務スキルを適用する際に、その仕事に熱心になる可能性が高いことを指摘している[110]。

仮説5-2 (H5-2) : 職場の安心感は、職場の生産性意識に影響を与える

事故のリスクがある職場で生じる問題は、労働者が休業し、職場の生産性を低下させる重大な労働災害の発生につながる可能性があります[111]。安全性と生産性は、互いに密接に関連しており、雇用者は職場環境でこれらに注意を払う必要がある[97]。職場環境における安全性に対する認識は、労働者の健康と事故の頻度と相関していることが判明しており、職場の安全管理と安全慣行は職場の事故率と有意に相関している[112,113]。職場環境における安心感が高まると、仕事のストレスや心理的・身体的な不満を軽減し、職場の生産性に対する意識を高める可能性がある。

仮説5-3 (H5-3) : 積極的な仕事行動が、職場の生産性意識に影響を与える

積極的な仕事行動は、物事を実現し、仕事において積極的で生産的であることに関連しています。職場での積極的な仕事行動は、個人的およびビジネスの成功に有益である[114,115]。作業タスクに対する積極的なアプローチも重要であるため、仕事のパフォーマンスは作業タスクのパフォーマンスだけではありません[116]。職場での積極的な仕事行動は、仕事のパフォーマンスと労働者の幸福に影響を与え、チームの有効性と組織の生産性につながります[117]。従業員の対人関係を積極的に育てる職場は、従業員の態度、組織のパフォーマンス、労働者のキャリアにとって有益であり、従業員の離職率を低下させて業績を向上させます[118]。

仕事スキル(H5-1)、職場の安心感(H5-2)、積極的な仕事行動(H5-3)の仮説は、いずれも職場における生産性意識の向上が期待できる。これらの仮説は、労働者の仕事意識が生産性意識に影響し、職場チームの有効性と組織パフォーマンスの向上につながることを意味する[117]。チームパフォーマンスを評価に関する先行研究では、チームパフォーマンスのモデルが多数報告されているが、万能のアプローチはなく、環境に応じて調整する必

要がある[119]。Anderssonらは高い生産性を示す職場チームは、ツールやシステムの操作といったタスク処理だけに頼るのではなく、職場メンバー間での協力とコミュニケーションによる行動が見られること指摘している[120]。

6. 2. 2. 仮説モデルと変数定義

先行研究による理論的な期待、共同研究者の経験と知識、評価に基づき、6つの潜在変数を含む労働者の認識による仮説モデルを開発した。この仮説モデルで用いた潜在変数の定義を表6.3に示す。労働者の健康リスク指標と職場における仕事意識の関係を分析するための仮説モデルを図6.1に示す。

表 6.3 仕事意識モデルで使用する潜在変数の定義

| 変数 | 定義 | 引用文献 |
|-----------|---|------------|
| 健康リスク指標 | 労働者の健康リスク指標は、安静時の心拍数とBMIによって測定される。建設現場における労働者の健康を確保するためには、労働環境の厳格な管理が必要であることが示されている。厳しい環境の労働者は、より自分の健康について懸念する可能性がある。 | [77,93,94] |
| 職場における安心感 | 職場の安全管理と安全慣行によって職場の事故率と有意に相関にある。厳しい労働環境で働く労働者にとって、職場の安心感は、仕事におけるストレスを軽減し、労働者の心理的および身体的な不満を軽減することが期待できる。 | [112,113] |
| 積極的な仕事行動 | 積極的な仕事行動は、職場において物事を起こさせることを示す。従業員の信頼を促進し、挑戦的な目標を活性化し、プラスの効果を促進する作業構造、リーダーシップの行動、および作業環境を設計することで、従業員の積極的で前向きな行動を形作る可能性がある。 | [117,118] |
| 仕事の満足度 | 仕事の満足度は、職場に必要な職要要件と労働者が所有する能力との一致度合いに関連する。仕事の満足度は、労働者の仕事能力の幅とも相関しており、仕事のスキルは職場における仕事の満足度にとって重要な役割を果たす。 | [104,105] |
| 仕事のスキル | 仕事のスキル開発は生産性向上の中心であり、職場の生産性の向上を維持し、その成長をより良い仕事に変換するのに役立つ。労働者の技術力向上や設備操作の熟練度といった仕事スキルの向は職場の生産性に関連する。 | [107,108] |
| 職場の生産性意識 | 職場チームの有効性と組織パフォーマンスに対する意識につながる。職場の生産性においてチームのパフォーマンス | [117,120] |

を意識することは、職場メンバー間の協力、共感、コミュニケーションといった職場チームの活動が重要となる。

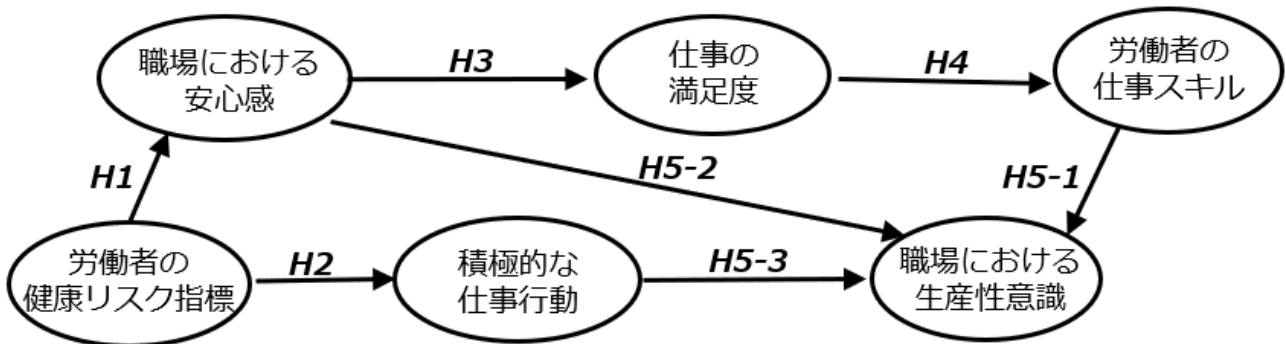


図 6.1 建設労働者の仕事意識の仮説モデル

6. 2. 3. データ分析

図6.1の仮説モデルにおける各潜在変数に影響する観測変数のアンケート回答について、若年労働者（Aグループ）と高齢労働者（グループB）において統計解析を行なった。SEMによるアンケート回答の分析に先立ち、検証的因子分析（CFA: Confirmatory factor analysis）[121]を実施した。CFAによって回答データの信頼性を確認し、仮説モデルの構造と観測変数の関係を分析した。各潜在変数に関連する弱い因子負荷を持つ観測変数は、仮説モデルから除外された[122]。

最初はグループAおよびBは17個の観測変数から構成されていたが、CFAにおいて7つの観測変数は両方のグループの潜在変数に対し、強い因子負荷を示さなかった。その結果、弱い因子の負荷は排除され[123]、最終的には観測変数の数は10に減少した。どちらのグループにおいても、職場の安心感では観測変数のFS3、仕事の満足度ではJS3、積極的な仕事行動ではPWB3とPWB4、仕事スキルではWS3、生産性意識ではTP3とTP4が削除された。（付録1を参照）

また、CFAの前にアンケート回答の信頼性を確認するため、潜在変数のクロンバック α を求めた[123,124]。 α が0.7より大きい値はデータの信頼性が確保できていると考えることができる[125]。構成される潜在変数の信頼値を表6.4に示す。全ての潜在変数の α は0.7を超えており、両方の労働者グループのデータセットに対する信頼が高いことを示す。これらのデータセットをその後にSEM分析において使用した。

表 6.4 年齢別の 2 つの労働者グループの信頼性

| Variables | Group A | | | | Group B | | | |
|---------------|---------|----------|-------|----------|---------|----------|-------|----------|
| | Initial | | Final | | Initial | | Final | |
| | Item | α | Item | α | Item | α | Item | α |
| Questionnaire | 17 | 0.86 | 10 | 0.79 | 17 | 0.85 | 10 | 0.79 |
| 職場の安心感 | 3 | 0.55 | 2 | 0.72 | 3 | 0.71 | 2 | 0.82 |
| 積極的な仕事行動 | 4 | 0.81 | 2 | 0.81 | 4 | 0.76 | 2 | 0.92 |
| 仕事の満足度 | 3 | 0.68 | 2 | 0.70 | 3 | 0.74 | 2 | 0.70 |
| 仕事のスキル | 3 | 0.74 | 2 | 0.93 | 3 | 0.82 | 2 | 0.82 |
| 生産性の意識 | 4 | 0.82 | 2 | 0.80 | 4 | 0.71 | 2 | 0.73 |

労働者の回答から得られた安静時の心拍数とBMIの2変数は、健康リスク指標による影響を示す観察変数として使用した。グループAとグループBにおいて、健康リスク指標と他の5つの潜在変数間の関係を分析した。

若年労働者グループの記述統計と相関行列を表6.5に示す。最も評価が高い潜在変数は、積極的な仕事行動は平均3.99、標準偏差0.86、次いで、生産性意識は平均3.94、標準偏差0.90、職場の安心感は平均3.65、標準偏差0.94であった。仕事満足度と仕事スキルの平均は、それぞれ3.31と3.08だった。健康リスク指標は、他の潜在変数と統計的に有意な相関関係が見られず、仕事スキルは職場の安心感および積極的な仕事行動とは有意な相関を示さなかった。これらを除き、残りの変数間では互いに正の相関であった。仕事満足度と仕事スキルの相関係数 $r = 0.21$ 、 $p < 0.01$ 、職場の安心感と生産性意識の相関係数は $r = 0.26$ 、 $p < 0.01$ 、仕事スキルと生産性意識の相関係数は $r = 0.27$ 、 $p < 0.01$ の関係が見られた。安心感と仕事満足度との間は $r = 0.49$ 、 $p < 0.01$ 、積極的な仕事行動と生産性意識との間は $r = 0.41$ 、 $p < 0.01$ であり、潜在変数の間において最大の相関を示した。

表 6.5 若年労働者の記述統計と相関行列 (グループA)

| Variables | Mean | SD | HRI | FS | PWB | JS | WS | TP |
|-----------|------|------|-------|---------|---------|---------|---------|------|
| HRI | — | — | 1.00 | | | | | |
| FS | 3.65 | 0.94 | -0.04 | 1.00 | | | | |
| PWB | 3.99 | 0.86 | -0.03 | 0.25 ** | 1.00 | | | |
| JS | 3.31 | 0.90 | -0.02 | 0.49 ** | 0.29 ** | 1.00 | | |
| WS | 3.08 | 0.91 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.21 ** | 1.00 | |
| TP | 3.94 | 0.90 | 0.08 | 0.26 ** | 0.41 ** | 0.33 ** | 0.27 ** | 1.00 |

Note: HRI(Health Risk Indicators): 健康リスク指標; FS(feeling of safety): 職場の安心感; PWB(Proactive Work Behavior): 積極的な仕事行動; JS(Job satisfaction): 仕事満足度; WS(Work Skills): 仕事スキル; TP(Team Performance): チーム生産性意識; SD(standard deviation): 標準偏差; ** は $p < 0.01$ を示す

高齢労働者グループの記述統計と相関の結果を表6.6に示す。評価が最も高い潜在変数は積極的な仕事行動（平均3.84、標準偏差0.82）、次いで生産性意識（平均3.80、標準偏差0.89）、職場の安心感（平均3.59、標準偏差0.87）は若年労働者の結果と同様であった。仕事スキルと仕事満足度の平均スコアはそれぞれ3.44と3.21でした。健康リスク指標は職場の安心感および積極的な仕事行動との間で負の相関が示されたが、積極的な仕事行動との間の相関は有意ではなかった。また、健康リスク指標と正の相関を示した他の潜在変数は有意ではなかった。仕事満足度と積極的な仕事行動の関係は有意ではなかった。これらを除いて、すべての変数は正の相関を示し有意であった。潜在変数の間において、職場の安心感と仕事満足度（ $r = 0.39$ 、 $p < 0.01$ ）、仕事満足度と仕事スキル（ $r = 0.48$ 、 $p < 0.01$ ）の関係は比較的大きく、有意な相関係数が示された。また、仕事スキルと生産性意識（ $r = 0.22$ 、 $p < 0.01$ ）、職場の安心感と生産性意識（ $r = 0.29$ 、 $p < 0.01$ ）、および積極的な仕事行動と生産性意識（ $r = 0.25$ 、 $p < 0.01$ ）の間では有意な相関関係であった。

表6.6 高齢労働者の記述統計と相関行列（グループB）

| Variables | Mean | SD | HRI | FS | PWB | JS | WS | TP |
|-----------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
| HRI | — | — | 1.00 | | | | | |
| FS | 3.65 | 0.94 | -0.04 | 1.00 | | | | |
| PWB | 3.99 | 0.86 | -0.03 | 0.25** | 1.00 | | | |
| JS | 3.31 | 0.90 | -0.02 | 0.49** | 0.29** | 1.00 | | |
| WS | 3.08 | 0.91 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.21** | 1.00 | |
| TP | 3.94 | 0.90 | 0.08 | 0.26** | 0.41** | 0.33** | 0.27** | 1.00 |

Note: HRI(Health Risk Indicators): 健康リスク指標; FS(feeling of safety): 職場の安心感; PWB(Proactive Work Behavior): 積極的な仕事行動; JS(Job satisfaction): 仕事満足度; WS(Work Skills): 仕事スキル; TP(Team Performance): チームの生産性意識;*は $p < 0.05$ 、**は $p < 0.01$ を示す

6. 2. 4. 結果

建設労働者に対するアンケート調査の結果について、潜在変数間の因果関係に関する仮説に関し、回答のスコアを基に観測変数の検証を行なう。この論文では、パス係数の強さ

を見つけるため、仮説モデルのパス係数は標準化されたパラメータの推定値を示す [126]。若年労働者の仕事意識モデルは図6.2、高齢労働者の仕事意識モデルは図6.3に示す。各図において、*は $p < 0.05$ 、**は $p < 0.01$ 、***は $p < 0.001$ 、n.s.は統計的に有意ではないことを示す。すべての潜在変数の直接および間接による影響が確認された。

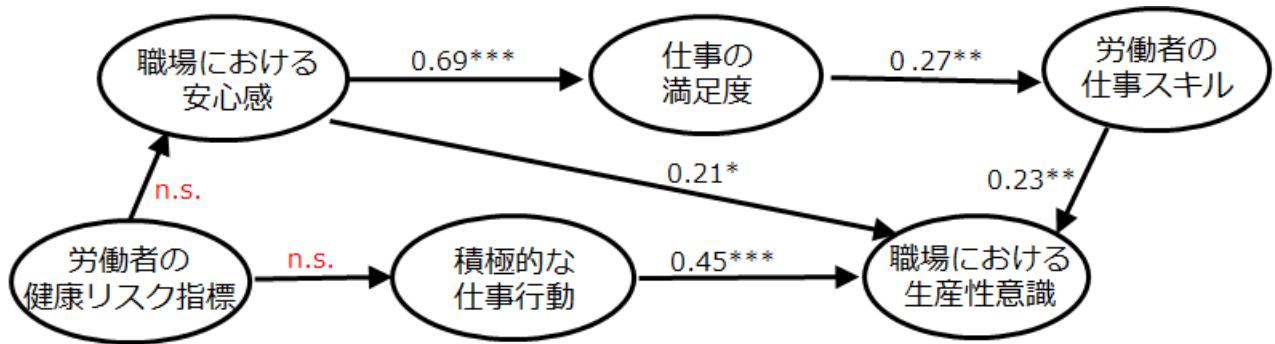


図6.2 若年労働者グループのモデルにおける標準化解パラメータ推定値

Note: *は $p < 0.05$ 、**は $p < 0.01$ 、***は $p < 0.001$ 、n.s.は有意ではないことを示す

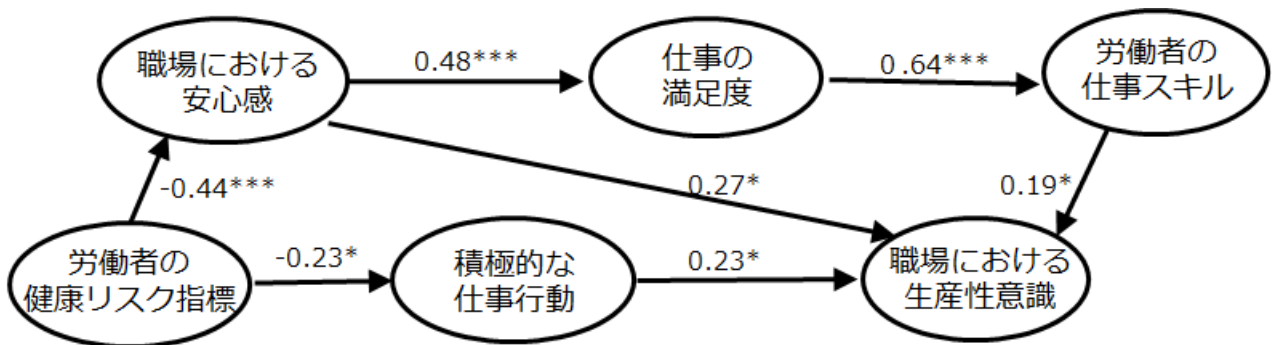


図6.3 高齢労働者グループのモデルにおける標準化解パラメータ推定値

Note: *は $p < 0.05$ 、**は $p < 0.01$ 、***は $p < 0.001$ を示す

図6.2に示す若年労働者モデルにおいて、HRI（健康リスク指標）からFS（職場環境における安心感）、HRIからPWB（積極的な仕事行動）への影響に関する仮説H1およびH2は統計的に有意ではなく、他の仮説H3、H4、H5-1~5-3は有意であることが確認された。図6.3に示す高齢労働者モデルでは、HRIからFS、HRIからPWBへのパスは負の影響があり、他の潜在変数間のパス係数はすべて有意で正の影響があった。高齢労働者グループでは、H1からH5-3までの仮説の全てが正しいことが確認された。

仮説モデルでは、HRIはFSとPWBに直接影響を及ぼし、TP（チームのパフォーマンス認

識)に間接的な影響を与えました。グループAとグループBの結果は、労働者の年齢に関係なく、いずれの労働者グループでも生産性意識に直接的に影響を与え、高齢労働者グループでは、健康リスク指標が間接的に生産性意識に影響することを示された。

グループAとグループBにおいてモデルの適合性を評価した。適合度指数 (GoF) の値が満足のものかどうかを確認し、測定モデル[127]の有効性を評価した。適合度の尺度は、ノルムカイ四角形(χ^2/df)、比較適合指数(CFI)、タッカー-ルイス指数(TLI)、適合度指数(GFI)、および近似の平方誤差(RMSEA)であった。両グループのGoFインデックスは、推奨のモデル適合度[127-129]に従って確認した。両方の労働者グループ(グループAとグループB)のGoFインデックスと推奨値を表6.7に示す。本研究における仮説モデルは両方の労働者グループに適合していた。

表 6.7 グループ A と B のモデルの有効性指標と推奨値

| Fit Indexes | Group A | | Group B | | Recommend Value (Yuan et al., 2018 [56]) |
|-------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--|
| | ≤45 Years: Young Workers | | ≥46 Years: Older Workers | | |
| | Initial | Final | Initial | Final | |
| χ^2/df | 2.19 | 1.58 | 2.36 | 1.19 | 1-5 |
| CFI | 0.857 | 0.960 | 0.833 | 0.987 | ≧1 |
| TLI | 0.832 | 0.943 | 0.803 | 0.982 | ≧1 |
| GFI | 0.987 | 0.996 | 0.990 | 0.998 | ≧1 |
| RMSEA | 0.085 | 0.060 | 0.093 | 0.034 | <0.05 indicates very good fit (threshold level = 0.1) |

Note: CFI: Comparative Fit Index; TLI: Tucker-Lewis index; GFI: Goodness of Fit Index; RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation.

グループAとBについて、パス方向と潜在変数の関係を分析した。表6.8に示すように、全ての仮説について潜在変数のパス係数の直接的および間接的な総合的效果を評価した。本仮説モデルでは、健康リスク指標が職場の安心感と積極的な仕事行動の意識に直接影響を与えていたが、両年齢グループで差が見られた。

高齢労働者の健康リスク指標は、職場の安心感と積極的な仕事行動の意識に悪影響を及ぼすだけでなく、仕事満足度と仕事のスキル、チームのパフォーマンスに悪影響を及ぼすことが示唆された。健康リスク指標が、他の潜在変数に影響を与える関係は、高齢労働者グループでのみ確認され、若年労働者の健康リスク指標は他の潜在的な因子に有意な影響

を及ぼさなかった。

表 6.8 パス係数による直接、間接、および総合効果

| Path direction | Group A | | | Group B | | |
|-----------------------|-----------------------------|----------|-------|-----------------------------|----------|-------|
| | (<=45 Years: Young Workers) | | | (>=46 Years: Older Workers) | | |
| | Direct | Indirect | Total | Direct | Indirect | Total |
| H1. 健康リスク → 職場の安心感 | n.s. | — | n.s. | -0.44 | — | -0.44 |
| H2. 健康リスク → 積極的な行動 | n.s. | — | n.s. | -0.23 | — | -0.23 |
| H3. 職場の安心感 → 仕事の満足度 | 0.69 | — | 0.69 | 0.48 | — | 0.47 |
| H4. 仕事の満足度 → 仕事のスキル | 0.27 | — | 0.27 | 0.64 | — | 0.69 |
| H5-1. 健康リスク → 生産性の意識 | 0.23 | — | 0.23 | 0.19 | — | 0.19 |
| H5-2. 職場の安心感 → 生産性の意識 | 0.21 | 0.04 | 0.25 | 0.27 | 0.06 | 0.33 |
| H5-3. 積極的な行動 → 生産性の意識 | 0.45 | — | 0.45 | 0.22 | — | 0.23 |
| 健康リスク → 生産性の意識 | n.s. | — | n.s. | — | -0.20 | -0.20 |

Note: n.s.: not significant.

6. 3. 小括（仕事意識と生産性意識）

労働者を雇用している企業は、職場の安全性と生産性に対する従業員の意識を十分に理解することが重要である。この研究で議論された潜在変数は、労働環境に密接に関連する労働者の心理的要因が含まれている。得られた結果より、安静時の心拍数やBMIによる健康リスク指標と、労働者の職場における仕事意識と生産性意識との関係を明らかになった。高年齢グループの健康リスク指標は、職場でのチームパフォーマンスの意識に影響を与えるが、若年労働者の健康リスク指標は同じ影響は示されなかった。高齢労働者においては、先行研究に基づき構築した仮説と一致が見られた。

高齢労働者の場合、健康リスク指標が増加すると、彼らの仕事意識において、労働環境に対する安心感が得難く、積極的な仕事行動を懸念することが示唆された。これらの意識は先行研究における主張と一致している[95,130]。また、労働者の年齢に関係なく、職場環境における安心感は、仕事満足度と仕事スキルを介して、職場のチームパフォーマンスに影響が見られた[96,98,100,101,104,107]。併せて、積極的な仕事行動は、生産性意識に影響した[118,127]。チームパフォーマンスは、職場の生産性に関連することが報告されており、労働現場における重要な管理指標である[118]。建設企業は、高齢労働者の生産性意識を高めるにおいて、職場の安全対策や健康に対する配慮することが示唆された。

職場の安心感が生産性の意識に与える影響は、若年労働者と比較して高齢労働者の方がわずかに大きかった。これまでの研究において、建設労働者は年齢が上がるにつれて働く能力が低下すると報告がある[130]。これは、ブルーカラーの労働者だけでなく、ホワイトカラーの労働者、商業サービス労働者、および在宅介護労働者などの他のワークグループにおいても同様の報告がある[131-133]。労働者は年齢が高くなると、自身の健康状態を懸念し[130]、労働環境における安心感や積極的な作業行動の意識が低下してしまう可能性がある。しかし、若年労働者においては、労働環境の安心感や積極的な仕事行動の意識に対する影響は見られなかった。

対照的に、職場の生産性意識に対する積極的な仕事行動の影響は、若年労働者の方が高齢労働者より高かった。この結果は、若年労働者は積極的な仕事行動とチームパフォーマンスをより強く意識していることを示している。Crawfordらは多くの出版物をレビューし、仕事のパフォーマンスにおいて、身体的および心理的变化が年齢に関連して存在することを発見した[134]。さらに、若年労働者は高齢労働者よりも肉体的および精神的能力が高く、一部の能力ではあるが、新しい技術的スキルを習得すること好む傾向にある[135]。しかし、これら研究では一部のスキルした対象にしておらず、年齢に応じた積極的な仕事行動やチームパフォーマンスの変化を扱った先行研究はいくつかあるものの、一般的には高齢労働者に対し否定的なステレオタイプが存在します。

また、年齢に関係なく全ての労働者において、職場環境の安心感は仕事の満足度に直接影響し、仕事のスキルに間接的な影響が見られた。この結果は、仕事環境の安全性が仕事の満足度に影響することを示唆する先行研究に一致する[96,97,100,101,106]。職場の安心感から生産性意識に対する影響は、仕事満足度と仕事スキルが間接的な要因となることが分かった。

これら調査の結果より、若年労働者と高齢労働者の労働意識の差が大きいものではなかったが、高齢労働者の健康リスク指標が、若年労働者に比べて、他の心理的な要因への影響を与えることが確認された。

6. 4. 建設労働者の動機付けと生産性意識

6. 4. 1. 動機付けの仮説モデル

労働意識と同様に労働者の動機付けは、生産性意識に対して大きな影響を及ぼす。自社開発のアンケートを使用して、作業環境に対する労働者の認識を評価した。建設労働者のアンケート結果は、多くの文献レビューに基づき、健康リスク指標、モチベーション、仕事のスキル、およびチームパフォーマンスの意識との関係を分析した。アンケート設計において、労働者の内発的および外発的な動機は、SpectorによるJob Satisfaction Survey(JSS)によって評価した[136]。外発的な動機には、昇進と給与のサブスケールが含まれており、合計7つのサブスケールが外発的動機を評価に使用した。そのうち昇進は4項目あり、給与は3つの項目から構成されていた。また、内発的な動機付けには仕事と監督に関するサブスケールが含まれており、内発的な動機付けを評価するために各4つの項目が構成されていた。労働者の仕事スキルと職場生産性の意識については、Work Safety Scale (WSS)で評価した[87]。職場雇用関係調査2011からの質問は、職場の労働者の職場の認識、上司と労働者の関係、仕事の満足度、仕事に対する態度、およびスキルを測定するために使用された[137,138]。調査対象の建設会社における経験豊富な現場監督者とのインタビューを実施し、建設労働者の仕事のモチベーションに関連する心理的要因から構成された調査アンケートを考案した。この自己開発アンケートは、労働環境における建設労働者の意識の評価するために使用した。労働者の動機付けに関する潜在因子の質問を検討した。以下に、労働者の動機付けモデルの検証に使用する仮説を提示する。

仮説1 (H1) : 健康リスク指標は、内発的動機付けに影響を与える

Cooneyらは、困難な環境にいる労働者は自分の健康を心配していることを指摘した[130]。健康上のリスクに対する労働者の意識は、労働条件や前向きな行動の観点から、より高い期待につながる可能性がある。建設会社は、毎年の身体検査の一環として、心拍数、血圧、身長、体重などの労働者の身体的特徴の定期的な測定を開始し、労働者の健康への意識を高めている[95]。安静時心拍数の上昇は、死亡リスク、心臓病、心血管疾患を増加させる可能性がある[93]。東アジア人に関する研究において、Zhengらは、BMIが22.6-27.5の人が癌、心血管疾患、その他の原因による死亡のリスクが最も低いことを発見した。健康リスクはBMIとともに増加した[79]。建設業界は、職場の安全を確保、厳しい作業スケジュールや不規則な労働時間に関する管理、および労働者の影響する作業環境の管理が必要です。LoveとEdwardsは、これらの条件は労働者にストレスを引き起こし、労働パフォ

ーマンスの低下につながると指摘した[90]。

他の先行研究では、建設現場における労働者の健康管理では、とくに作業環境の厳格な管理が必要であることが示されている[90,92]。過労と仕事のプレッシャーは、身体的な健康リスクであり、内発的動機に影響を与える可能性がある。Yperenらの研究において、企業の経営層および管理職者は、職場の状況に応じて労働者の認識を十分に考慮すべきであること主張している[139]。また、HuangとHsuは身体活動における動機付けは自身の健康状態に依存し[140]、Cuberosらは健康的な良い行動と習慣は内発的動機付けと高い関連性を指摘している[141]。労働者の健康は、内在的な動機付けとの関係を特定する報告も見られる[142]。Dagenais-Desmaraisらは心理的健康と労働者の動機付けを関連付けさせており[143]、心理的健康は、内発的動機付けと身体パフォーマンスに積極的で有意に関連することが報告されている[144,145]。さらに、身体的健康と心理的健康は互いに関連し[146,147]、GerberとPuehseは精神的な健康と身体活動の間に正の関係があることを発見した。労働者の身体的健康と心理的健康の両方が動機付けに関連している。

仮説2 (H2) : 内発的動機付けは、作業スキルの意識に影響を与える

Bosらは、労働者は所有する仕事スキルと与えられる仕事の要件の不一致は、仕事における生活に悪影響を及ぼす可能性があることを発見した[148]。労働者の期待と職場の現実を一致させることは、動機付けに影響を与える可能性がある。Kuranchie-MensahとAmponsah-Tawiahは、企業が労働者に仕事の目標を説明してやる気を引き出し、その目標を達成するために彼らのスキルを使用する必要があることを示した[149]。労働者の動機付けは彼らの責任に関連しており、個々の労働者の異なるニーズと動機を考慮する必要があります。Cardoso、Dominguez、およびPaivaは、職場における自律性、組織の目標設定への参加、教育およびトレーニングなどの発達の要件に関するフィードバックは、労働者のスキルとパフォーマンスを向上させることができると主張した[150]。また、KaufmannとSchulzeは、仕事の課題を解決することを楽しむとき、動機付けが労働者のスキルセットに影響を与える可能性があることを示した[151]。

Feibelらは、労働者の年齢に適した有意義で責任ある不可欠な仕事は、身体的および精神的能力に応じて割り当てられるべきであり[152]、Kase、Saksida、およびMiheliらも、スキルの開発の動機付けは学習当事者の年齢による成長によって強化されると述べている

[153]。とりわけ年配の学習者においては、スキル開発は内発的動機付けによって主として推進される。

仮説3 (H3) : 仕事のスキルは、外発的動機付けに影響を与える

技術的な能力や機器操作の熟練度といった仕事スキルの向上は、労働者の生産性向上の中心となる。Hartmanは、生産性を革新し改善する動機には、プロジェクト関連の問題を解決するための高度なスキルが必要であると述べている[154]。労働者の動機付けの概念的な枠組みの多くは先進国で確立されてきたが[155]、Francoらは、動機付けの概念は、作業スキルとの関係とともに、発展途上国の研究によっても支持されていると述べている[156]。Sayersは、一部の労働者は独立して仕事をするときには自分のスキルと判断に大きく依存しており、彼らの専門的スキルを向上させ、将来の雇用主にとっての価値を高めたいという欲求に動機付けられていることを指摘した[157]。

先行研究によると、労働者はキャリアの自己啓発の価値に焦点を当て、専門的スキルを高めて給与と人事評価を向上させようとする[157-159]。また、会社に留まるか会社を辞めるかの労働者の決定は、専門能力の開発の機会と、直接かつ即時の評価と報酬の良さに依存する[160]。Douganらは、そのような労働者は昇進の順番を待つことに対する寛容性が低く、離職を避けるために成果のあった仕事をすれば直ぐに認められて報われるべきだと主張した[161]。

仮説4 (H4) : 作業スキルは、チームのパフォーマンスの意識に影響を与える

知識とスキルの習得は、仕事のパフォーマンスとモチベーションに影響を与えることが示されている[162,163]。Mittal、Dhiman、およびLambaは、ブルーカラー労働者のスキルの向上が、どのように生産物の品質向上と欠陥減少に繋がったかの例を提供している[164]。また、Khanはスキルを向上させるために労働者を訓練することでパフォーマンスを改善できると述べている[165]。労働力を向上するにおいて、労働者の生産性向上はその中心的な役割となる[166]。AbiodunとKandaは、不十分な作業スキルによる労働者の生産性の低下を定量化する報告している[108]。Vänni、Virtanen、Luukkaala、およびNygårdの研究によると、作業のスキルが1%減少すると労働者の生産性が5%減少する可能性がある[109]。

仮説5 (H5) : 内発的動機付けは、チームのパフォーマンスの意識に影響する

企業の業績は従業員のモチベーションに影響される。Turnerは、労働者の動機付けが内在的であるか非内在的であるかを理解することは、企業が業績の原動力を特定するのに役立つことを指摘した[167]。建設会社に関するこれまでの研究では、トレーニングによってモチベーションが向上し、仕事の効率とチームワークが向上することが示されている。Tabassiらは、組織的な開発により、内発的動機付けが労働者のパフォーマンスに大きな影響を与える可能性があることを示した[163]。多くの職場では、労働者のモチベーションがパフォーマンスに対し、ポジティブで統計的に有意な関係を持っていることが示されている[145,168]。Shahzadiらによると、労働者が内発的にやる気があるとき、彼らは仕事に興味を持ち、楽しんでいるため、比較的高いレベルで職場のパフォーマンスを発揮する[168]。内発的動機付けは高い業績を達成するために役立ちますが、労働報酬が比較的低い発展途上国においても、多くの研究が内発的動機付けに焦点を当てている[169]。

仮説6 (H6) : 外発的動機付けは、チームパフォーマンスに影響する

外発的動機付けは、建設業における労働者の生産性に大きな影響を与え、特に発展途上国では、企業は物質的および経済的に有利な条件に動機付けされている[170]。調査によると、請負業者は非金銭的インセンティブを好む傾向がありますが、労働者は主に金銭的報酬（高給、賞与、昇進の機会、労力の承認、および仕事の安全）によって動機付けられている[53,170]。Turnerによると、外発的動機付けは労働者を惹きつけるために使用されており[167]、外発的に労働者を動機付ける要因を特定することは企業にとって有用である。先行研究によると、組織のリーダーまたは管理者は労働者の動機付けを複雑なシステムとして認識し、内発的インセンティブの重要性を認識しているが、労働者は外発的な報酬をより強い動機付けとして認識している[53,170,171]。しかし、報酬は仕事のパフォーマンスに大きな影響を与えるが、外発的動機付けの唯一の要因ではない。Aydinは、労働者の業績評価も重要な役割を示し、仕事の生産性に影響を与える可能性があることを発見した[172]。労働者の創造性および改善作業と、監督者らによる評価（外発的な動機付け）の間に正の相関が見られましたが、内発的動機付けによる影響は見られなかった[173]。

6. 4. 2. 仮説モデルと変数定義

前述の文献の理論的および実証的研究に基づき、5つの潜在変数による労働者の動機付

け意識の仮説モデルを開発した。モデルで使用する潜在変数を表6.9、潜在変数間の関係を示す仮説モデルを図6.4に示す。

表 6.9 動機付けモデルで使用する潜在変数の定義

| 変数 | 定義 |
|------------|--|
| 健康リスク指標 | この研究では、安静時心拍数とBMIを健康リスク指標として使用する。建設現場での労働者の健康を確保するためには、労働環境の厳格な管理が必要であることが研究によって示されている[90-92]。過労と仕事のプレッシャーは、労働者の身体的健康リスクとして現れ、彼らの動機付けに影響を与える可能性がある[140]。労働者の健康と内発的動機との関係を指摘されており[142]、心理的健康は、職場での動機付け、およびパフォーマンスの向上[143,144]にも関連している。これらの研究は、良好な身体的および精神的健康は、仕事の動機付けにつながることを示している。 |
| 内発的動機付け | 本質的な動機は、個人内から生じます。研究により、本質的にやる気のある労働者は、仕事が面白く、やりがいがあり、有意義であるため、仕事の満足度とパフォーマンスが高くなる傾向があることが示されています[144,147]。さらに、本質的にやる気のある労働者は、金銭的な見返りのためではなく、興味深い仕事をするため懸命に働く[41,44]。建設業界の調査によると、労働者が作業にやりがいがあり、深い興味を持つ場合、労働者は本質的にやる気があることが示されている[174,175]。 |
| 外発的動機付け | 外発的動機付けは、特定の結果につながる個人の外部の要因に起因する[44]。本質的に動機付けられた人々は、報酬、他者からの認識、昇進、および賃金の増加を評価する。初期の研究では、外発的動機付けが内発的動機付けよりも労働者の動機付けに効果的であることが示唆されていた[176]。建設業界では、金銭的インセンティブ、より高い賃金、時間通りの支払いといった具体的な報酬条件が労働者をやる気にさせる[53,170,171]。 |
| 仕事のスキル | スキルの向上と発展が仕事の生産性向上の中心となる[154]。知識とスキルの習得は、動機付けとパフォーマンスの両方に影響を与える可能性がある[163]。労働者の育成は職場の全体的なパフォーマンスを改善するために不可欠であり[162]、トレーニングが動機付けとパフォーマンスを改善できると指摘されている[165]。 |
| チームパフォーマンス | 労働者の生産性の意識は、チームの有効性と組織のパフォーマンスに貢献する。チームメンバー間のコラボレーション、共感、コミュニケーションはチームのパフォーマンスにとって重要である[120]。労働者のパフォーマンスは仕事のスキルだけでなく、内発的および外発的な動機付けによって影響を受ける[38]。特に労働集約型産業では、労働者のパフォーマンス |

は動機付けに大きく依存する。企業は労働資源の利用可能性と労働者の能力は不可欠であるが、それだけでは労働者が許容できるパフォーマンスを維持するためには十分ではなく、労働者の動機付けは重要となる[177]。

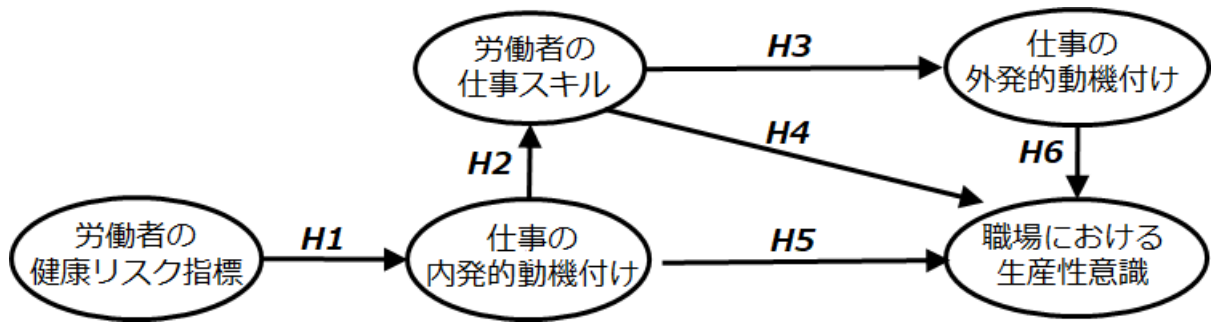


図6.4 建設労働者の動機付けの仮説モデル

6.4.3. データ分析

建設労働者へのアンケートの結果をまとめ、グループAおよびBの統計分析を行なった。アンケートの回答をSEMで分析する前に、CFAを使用して回答の信頼性を評価し、仮説モデルと調査データの相関をテストした[121]。仮説モデルでは、潜在変数の因子負荷が弱い観測変数は除外された[124]。グループAとBには当初19の観測変数があったが、CFAにより、9つの観測変数には両方のグループの潜在変数の強い因子負荷がないことを示された。これらの観測変数は排除され、最終的には11個の変数となった[123]。削除された変数は、WIM4、WS4、WEM3、WEM4、WEM5、WEM6、TP4、およびTP5であった（付録2を参照）。次に、アンケートの回答データの信頼性を確認するため、クロンバックの α を求めた[123,124]。 α の値が0.7より大きい場合、一般的に適切なデータ信頼性があることを示す[125]。すべての構成の信頼性の値を表6.10に示すが、すべての値は0.7を超えており、両グループのデータセットの信頼性が高いことが示された。その後、データセットをSEM分析に使用した。

表 6.10 労働者の両グループにおける信頼性テストの結果

| Variables | Group A | | | | Group B | | | |
|-----------|---------|---|-------|----------|---------|---|-------|----------|
| | Initial | | Final | | Initial | | Final | |
| | Item | A | Item | α | Item | A | Item | α |

| | | | | | | | | |
|---------------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| Questionnaire | 19 | 0.896 | 10 | 0.867 | 19 | 0.873 | 10 | 0.865 |
| 内発的動機付け | 4 | 0.824 | 3 | 0.893 | 4 | 0.785 | 3 | 0.896 |
| 仕事スキル | 4 | 0.752 | 3 | 0.919 | 4 | 0.756 | 3 | 0.861 |
| 外発的動機付け | 6 | 0.674 | 2 | 0.882 | 6 | 0.708 | 2 | 0.790 |
| 生産性意識 | 5 | 0.838 | 3 | 0.876 | 5 | 0.761 | 3 | 0.811 |

6. 4. 4. 結果

BMIと安静時心拍数を観測変数として使用し、健康リスク指標（HRI）の潜在変数の影響を調査した。SEMを使用して、HRIと他の4つの潜在変数との関係を分析した。表6.11にグループAの記述統計と相関結果を示す。最高スコアの潜在変数は、チームパフォーマンス（TP）であり、平均（標準偏差、SD）は3.93（0.910）で、その後に内発的動機（WIM）が続きます。平均（SD）は3.92（0.866）、外発的動機（WEM）は平均3.61（0.988）です。ワークスキル（WS）の平均スコアは3.20でした。HRIは、他の潜在変数との統計的に有意な相関を示さなかった。残りの潜在変数は互いに正の相関がありました。WIMとTP（ $r = 0.686$ 、 $p < 0.001$ ）、WEMとTP（ $r = 0.533$ 、 $p < 0.001$ ）、およびWIMとWEM（ $r = 0.476$ 、 $p < 0.001$ ）の間に相関関係が見られた。相関は、WSとTP（ $r = 0.321$ 、 $p < 0.001$ ）、WSとWIM（ $r = 0.179$ 、 $p < 0.05$ ）、およびWEMとWS（ $r = 0.166$ 、 $p < 0.05$ ）の間で最も弱かった。最も強い相関は、WIMとTPの間であった。

表 6.11 若年労働者のための記述統計と相関行列（グループ A）

| Variables | Mean | SD | HRI | WIM | WS | WEM | TP |
|-----------|------|-------|--------|----------|----------|----------|------|
| HRI | — | — | 1.00 | | | | |
| WIM | 3.92 | 0.866 | 0.013 | 1.00 | | | |
| WS | 3.20 | 0.911 | 0.110 | 0.179* | 1.00 | | |
| WEM | 3.61 | 0.988 | -0.076 | 0.476*** | 0.166* | 1.00 | |
| TP | 3.93 | 0.910 | -0.063 | 0.686*** | 0.321*** | 0.533*** | 1.00 |

Note: HRI (Health Risk Indicators): 健康リスク指標; FS (feeling of safety): WIM (Work Intrinsic motivations): 内発的動機付け; WS (Work Skills): 仕事スキル; WEM (Extrinsic motivation); TP (Team Performance): チームの生産性意識; SD(standard deviation): 標準偏差; ***は $p < 0.001$ を示す。

表6.12にグループBの記述統計と相関結果を示す。最も高いスコアを持つ潜在変数は、平

均 (SD) が4.10 (0.841) のTPで、その後に平均 (SD) が3.95 (0.761) のWIMとWEMが続いた。平均 (SD) は3.71 (0.967) であった。これはグループAの結果に似ていた。WSの平均スコアは3.15でした。HRIは、WIM、WEM、およびTPと負の相関を示しました。ただし、WEMおよびTPとの相関は有意ではなかった。他の潜在変数とHRIの間の正の相関も有意ではなかった。他の潜在変数間のすべての相関は正で有意でした。最も強い相関は、WIMとTP ($r = 0.541$, $p < 0.001$)、WEMとTP ($r = 0.579$, $p < 0.001$)、WIMとWEM ($r = 0.416$, $p < 0.001$) の間でした。最も弱い相関は、WIMとWS ($r = 0.227$, $p < 0.01$)、WSとTP ($r = 0.332$, $p < 0.001$)、およびWEMとWS ($r = 0.178$, $p < 0.05$) の間であった。

表 6.12 高齢労働者のための記述統計と相関行列 (グループ B)

| Variables | Mean | SD | HRI | WIM | WS | WEM | TP |
|-----------|------|-------|---------|----------|----------|----------|------|
| 健康リスク指標 | — | — | 1.00 | | | | |
| 内発的動機付け | 3.95 | 0.761 | -0.157* | 1.00 | | | |
| 仕事スキル | 3.15 | 0.823 | 0.005 | 0.227** | 1.00 | | |
| 外発的動機付け | 3.71 | 0.967 | -0.068 | 0.416*** | 0.178* | 1.00 | |
| 生産性意識 | 4.10 | 0.841 | -0.048 | 0.541*** | 0.332*** | 0.579*** | 1.00 |

Note: *は $p < 0.05$ 、**は $p < 0.01$ 、***は $p < 0.001$ を示す。

SEMを用いて仮説モデルの妥当性をテストした。SEMは、潜在変数と直接観察可能な指標変数との間の統計的な関係を調べた。因果関係について、観察変数または潜在変数間で仮説を立て、アンケートの回答、試験の得点、実験結果などの観測データによる検証ができる。回帰分析とパス分析を使用して、仮説の因果関係の強さと方向を推定し、モデルを検証した。このアプローチは測定誤差を考慮しておらず、モデルの仮定が有効であることを確認するには、回帰分析とパス分析が必要である。図6.2および図6.3ではグループAおよびBのパス図を示しており、パス係数の強さは標準化推定解を使用している [126]。

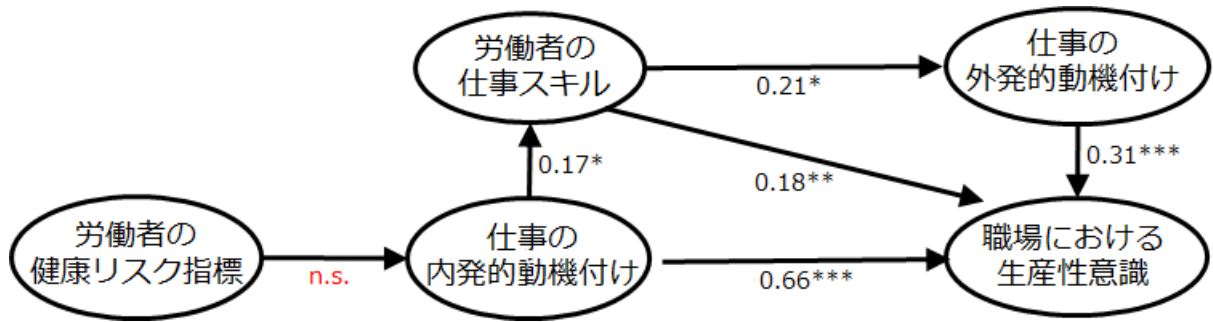


図 6.2 若年労働者グループのモデルにおける標準化解パラメータ推定値

Note: ***は $p < 0.001$ 、**は $p < 0.01$ 、*は $p < 0.05$ を示す

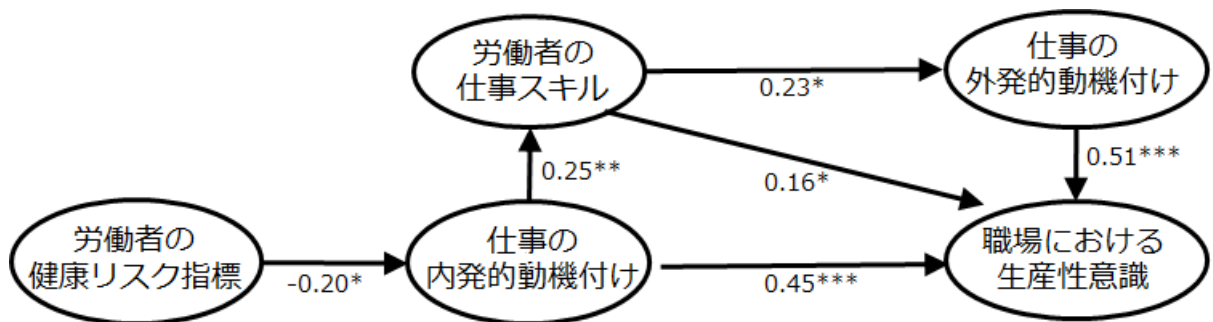


図 6.3 高齢労働者グループのモデルにおける標準化解パラメータ推定値

Note: ***は $p < 0.001$ 、**は $p < 0.01$ 、*は $p < 0.05$ を示す

グループAとグループBは、潜在変数間の関係を調べるために別々に分析した。すべての潜在変数の直接的および間接的影響を測定した。仮説モデルのパス係数は、標準化されたパラメータの推定を表す。図6.2のグループAモデルでは、H1は有意ではなかったが、他の仮説は統計的有意であることが確認された。図6.3のグループBモデルでは、H1は負のパスであり、他の仮説は正のパスで有意であることが確認された。

仮説モデルは、HRIがWIMに直接影響し、間接的にTPに影響することを想定しています。その結果、WIM、WEM、およびWSは、労働者の年齢に関係なく直接TPに影響を与え、HRIは間接的に高齢労働者のTPに影響を与えることが示された。グループAモデルとグループBモデルの適合度は、適合度 (GoF) に従って検証した。GoFは、ノルムカイ二乗 (X^2 / df)、比較適合指数 (CFI)、タッカーリス指数 (TLI)、適合度指数 (GFI)、および近似二乗平均平方根誤差 (RMSEA) に従って評価された。両方のモデルのGoFインデックスは、Yuanらによって推奨されたアプローチに従って取得さ

れた[55]。表6.13に示すように、両方のグループのGoFインデックスは推奨値の範囲にあり、仮説モデルは両方の年齢グループともに良く適合していた。

表 6.13 グループ A および B のモデル妥当性と推奨 GoF 値

| Fit Indices | Group A | | Group B | | Recommended value (Yuan et al., 2018 [56]) |
|-------------|---------|-------|---------|-------|--|
| | Initial | Final | Initial | Final | |
| χ^2/df | 3.39 | 2.15 | 2.91 | 1.79 | From 1-5 |
| CFI | 0.769 | 0.954 | 0.734 | 0.950 | $\cong 1$ |
| TLI | 0.724 | 0.936 | 0.738 | 0.934 | $\cong 1$ |
| GFI | 0.980 | 0.994 | 0.984 | 0.996 | $\cong 1$ |
| RMSEA | 0.121 | 0.084 | 0.108 | 0.071 | <0.05 indicates very good fit (threshold level = 0.1) |

Note : CFI = comparative fit index; TLI = Tucker-Lewis index; GFI = Goodness of fit Index; RMSEA = Root mean square error of approximation.

グループAおよびBを分析して、パスの予測方向と潜在変数との関係を決定した。表6.14に示すように、すべての潜在変数の直接的および間接的な影響が測定された。結果は、高齢労働者のHRIの増加がWIMに悪影響を与え、さらに、WIM、WEM、およびWSが、TPに悪影響を及ぼすことが示唆された。これらの関係は、グループBについてのみ確認されました。グループAの場合、HRIは他の潜在変数に有意な影響を与えなかった。したがって、HRIは高齢労働者のTPの認識にのみ影響を及ぼした。

表 6.14 パス係数による直接的、間接的な総合効果

| Path direction | Group A | | | Group B | | |
|-------------------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|
| | Direct | Indirect | Total | Direct | Indirect | Total |
| H1. 健康リスク → 内発的動機 | n.s. | — | n.s. | -0.20 | — | -0.20 |
| H2. 内発的動機 → 仕事スキル | 0.17 | — | 0.17 | 0.25 | — | 0.25 |
| H3. 仕事スキル → 外発的動機 | 0.21 | — | 0.21 | 0.23 | — | 0.23 |
| H4. 仕事スキル → 外発的動機 | 0.18 | — | 0.18 | 0.16 | — | 0.16 |
| H5. 内発的動機 → 生産性意識 | 0.66 | 0.04 | 0.66 | 0.45 | 0.07 | 0.52 |
| H6. 外発的動機 → 生産性意識 | 0.31 | — | 0.31 | 0.51 | — | 0.51 |
| 健康リスク → 生産性意識 | n.s. | — | n.s. | — | — | -0.11 |

Note: n.s.: not significant.

6. 5. 小括（モチベーションと生産性意識）

6. 5. 1. 建設労働者のモチベーション

労働者の動機付けに関する初期の研究において、外発的動機付けは仕事の生産性を改善するのに十分であることが示されていた。しかし、MickelとBarronは、本質的な動機付けが、より複雑でより高い認知スキルを必要とするタスクに効果的であると報告した[176]。外発的動機付けは、労働集約型産業の比較的単純な仕事のパフォーマンスにおいて、内発的な動機付けよりも貢献することが報告されている[178,179]。本研究の結果は、内発的および外発的な動機付けの両方が、建設労働者の生産性の意識の上で大きく影響することが確認された。建設労働者は、認知的スキルを集中的に使用するタスクを実行するため、内発的動機と外発的動機の両方が仕事に影響を与える。この指摘は、Putra、Cho、およびLiuによる以前の研究と一致する[180]。また、本研究の結果は、外発的な動機付けが、内発的動機付けに影響を及ぼさないことを示した。これは外発的な動機は内発的な動機を減らすと主張する混雑理論[181,182]とは対照的であり、外発的動機は内発的動機を減らさないという、CameronとPierce、EisenbergerとCameron、Putraらの先行研究[180,183,184]の方を裏付けていた。

6. 5. 2. 建設労働者の健康リスク指標とその他の認識

年齢グループによって、内発的な動機付け、外発的な動機付け、および作業スキルの認識は、生産性意識に対する影響が異なった。内発的動機は、高齢労働者よりも若年労働者の生産性の意識に大きな影響を与えた。外発的な動機は、高齢労働者の仕事の生産性意識により大きな影響を与えた。どちらの年齢層でも、内発的動機付けが仕事スキルの認識に影響を与え、内発的および外発的動機付けが、仕事の生産性意識に影響する傾向が見られた。本研究で示された生産性意識に対する動機付けの影響は、以前の研究と一致している[145,160,167,185]。NyambegeraとGichery（2016）は、内発的動機が作業スキルの向上に影響を与えることを報告したが、本研究に結果においても、仕事のスキルが外発的動機付けに影響することを確認された。これは、その他の先行研究[160,163-165,186]によっても支持されている。

また、若年労働者における健康リスク指標は、他の潜在変数に有意な影響が見られなかった。若年労働者のモデルにおいて、仮説H1およびH2は支持されなかったが、他の仮説は支持された。対照的に、高齢労働者における健康リスク指標は内発的な動機付けに悪い影響を及ぼし、間接的に他の潜在変数に影響を与えた。高齢労働者の場合、健康リスクの増加に伴って内発的動機の低下が見られ、その内発的動機を通じて作業スキルの認識の低下が示唆された。

6. 5. 3. 建設労働者を理解するための将来の展望

労働者の動機は複雑で動的なプロセスである[38]。本研究調査のフレームワークは、労働者の動機付けと建設プロジェクトに対する彼らの認識を評価するために適用した。建設プロジェクトではビジネス上の問題が日々存在するため、建設業界の持続可能な業務において労務管理は不可欠である。建設現場においてプロジェクトが進むにつれて、求められる労働力が変化することから、建設会社は多くの労働者のいろいろなスキル、経験、および動機付けを管理する必要がある。

若年労働者は、仕事の生産性意識に対して、内発的な動機を比較的重視する傾向があった。したがって、若年労働者は平凡で単純な仕事から、より困難で意味のある仕事にシフトすることにより、彼らの仕事に対する動機付けを高めることが期待できる。一方、高齢労働者は、仕事の生産性意識に対して、外発的動機付けによる影響が比較的大きかった。高齢労働者において、内発的な動機は新しいスキルの開発に役立つとの報告[187,188]があり、継続的な学習への取り組みを行なうことにより、高齢労働者の内発的な動機付けを刺激することに役立つ可能性がある[153]。

第7章. 労働者の身体的要因による生産性に対する影響

7. 1. 現場実験と被験者の身体的特徴

2018年5月25日、6月29日、11月16日の3日間において、大阪市西区の雨水抽水場の建設現場にて労働者のデータを収集した。実施した時期は極端な気温、測定による参加者の精神的、身体的な負担を出来るだけ避けるため、倫理的な観点より決定した。

データを採取した労働者は、鉄骨の足場の解体作業を行なった。鳶職作業員8名が足場用鉄骨材の解体作業を反復的に行ない、補助作業員4名が配線および機器の設置の間接的な作業をした。これら計12名の作業員が、建設会社によって選択されて実験に参加した。

データ収集した日付、被験者の年齢、作業タスク、身長および体重、データ収集および休憩の時間、作業タスク、および各被験者のデータセットを表7.1に示す。データは午前8時30分から午後5時まで測定され、データは全期間、または稼働日の半分の時間帯のいずれかで、5分の間隔でデータ収集された。参加者の性別はすべて男性でした。彼らに、年齢、役職、体重と身長に関する情報の提供を求めた。心肺機能は不健康な被験者を測定から除外することを目的としているため、被験者には、心血管疾患の病歴の有無と現在の健康状態（たとえば、慢性心血管疾患に罹患しているかどうか）についても尋ねた。参加予定であった13名の労働者のうち、不整脈の被験者1名は実験に参加しなかった。データ収集の準備時間を除き、計12人の被験者から収集された各5分間の882個のデータセットを得られた。

被験者を測定するとき、ホーソン効果の可能性を確認した[189]。この実験では、我々は被験者の活動を直接監視せず、作業エリアから少し離れて待機し、作業エリアに設置された2台の動画カメラを使用して作業を撮影録画した。一般に、高負荷の作業を行なう肉体労働者には、自身の健康上の懸念を持っており、日常業務から生じる物理的な労働負荷を必要以上に意識する可能性がある。したがって、測定を開始する前に、通常の作業パターンから逸脱しないように被験者に説明した。また、本研究では個々の労働者の監視が目的ではなく、作業量の出来高を調査する意図がないことを説明した。

さらに、作業員がスマートウェアを着用してから作業前の時間（30-60分）は、撮影録画を行なわず、作業員が作業を開始する直前に録画を行なった。録画の前後での心拍変動や身体活動量において、特に有意差は認められなかった。データ収集における被験者の匿名性と併せて、労働者に対するストレスを減少させることが期待される[63]。

労働負荷の測定で定めた時間間隔ごとに、記録された録画映像を用いて作業員の労働活動を分析した。

表 7.1 被験者の身体的特徴と記述統計.

| ID# | Data Collection Dates | Age (Years) | Main Job Task | Height (cm) | Weight (kg) | Duration of Data Collection (min.) | Scheduled Resting (min.) | Number of Data* (Sets) |
|-----|-----------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| S1 | June-29-2018 | 20 | Scaffolder | 159.0 | 57.0 | 450 | 90 | 90 |
| S2 | June-29-2018 | 39 | Scaffolder | 179.0 | 74.0 | 300 | 90 | 60 |
| S3 | June-29-2018 | 32 | Scaffolder | 177.0 | 93.0 | 450 | 90 | 90 |
| S4 | June-29-2018 | 25 | Scaffolder | 182.0 | 82.0 | 450 | 90 | 90 |
| S5 | Nov-15-2018 | 41 | Scaffolder | 176.0 | 70.0 | 510 | 90 | 102 |
| S6 | Nov-15-2018 | 40 | Scaffolder | 176.0 | 75.0 | 510 | 90 | 102 |
| S7 | Nov-15-2018 | 36 | Scaffolder | 170.0 | 68.0 | 510 | 90 | 102 |
| S8 | Nov-15-2018 | 22 | Scaffolder | 165.0 | 55.0 | 510 | 90 | 102 |
| L1 | May-25-2018 | 43 | Worker | 168.0 | 70.0 | 210 | 60 | 40 |
| L2 | May-25-2018 | 50 | Worker | 174.5 | 87.5 | 210 | 60 | 40 |
| L3 | May-25-2018 | 27 | Worker | 170.5 | 62.5 | 150 | 60 | 30 |
| L4 | Nov-15-2018 | 59 | Worker | 169.0 | 76.0 | 150 | 60 | 30 |

Note: *: 1 データは 5 分間隔の平均値

7. 2. 測定プロトコル

建設現場におけるデータの収集に先立ち、被験者に対するスマートウェアの潜在的なリスクと不快感が無いこと、およびデータ収集によるプライバシーの問題がないことを確認した。事前の確認において、被験者にスマートウェアを試験的に着用してもらい、非侵襲性のあることを確認した。被験者に建設工事においても、その進捗を妨げることもなかった。データ収集プロトコルは、ヘルシンキ宣言、ヒトゲノム、および世界人権宣言に基づき、被験者の心拍数、身体活動、プライバシー条件などは、立命館大学研究倫理試験番号：BKC- 2017-071-1として承認された。データ収集の前に参加した被験者に配布されたインフォームドコンセントにおいて、承認プロトコルと参加者の権利に関する説明が含まれ、

採取データの機密性が保証している。プライバシーの懸念に関し、労働者の個人情報が開示されるリスクを最小限に抑えるため、データ分析において労働者の氏名は使用されなかった。データの収集と分析において、氏名の代わりに個人識別コードを識別子として割り当てられた。

7. 3. 被験者の測定データ

鳶職作業員S1～S8と建設補助員L1～L4について、表7.2は心拍数、身体活動ACC、およびACCと%HRR間の相関係数 $r_{ACC-\%HRR}$ の測定値を示す。休憩時間を含めた就業時間全体にわたりデータを収集し、労働負荷に影響するデータの平均および標準偏差を求めた。

鳶職作業員S1～S8は、L1～L4の補助員と比較して、ACCと%HRRの平均および標準偏差が大きく、足場解体における作業負荷が比較的高いことが分かった。S5とS7の平均%HRRは終日40%以上あり、それらが高い身体的な作業負荷に晒されていたことを意味する。他の労働者の間においても、いくつかの労働者の%HRRは頻繁に40%を超えていた。この結果は労働者が安全と健康の危険に晒されていたことを意味する。鳶職S2は、建設現場において進捗状況を監視する職長（現場監督者）を担当していた。実験の当日、S2は約30分間の職場会議に2回参加し、S2は身体的に大きな労働負荷に晒されておらず、心拍数と身体活動は影響をほとんど受けなかった。

鳶職S5～S8の身体活動量は比較的少なかったが、それに比べて%HRRは36～45%とわずかに高かった。データの収集日において、S5～S8は足場の上で重労働に長い時間従事していた。一部の被験者（鳶職S5とS7）は、足場の鉄骨材料を取り外すと共に、それらを足場階段の下に被験者に鉄骨材を手渡す作業を繰り返していた。この身体の移動は大きな移動を伴うものではなく、鉄骨材を解体は身体的に重労働であった。このことから、これらの被験者は、厳しい労働負荷によって高い心拍数が記録されたと推察される。

表 7.2 作業員の労働時心拍数、労働負荷、身体活動量の記述統計

| ID# | Estimated | Estimated | HR _{working} | %HRR | ACC | $r_{ACC-\%HRR}$ |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| | HR _{max} (bpm) | HR _{resting} (bpm) | Ave. ± SD (bpm) | Ave. ± SD (%) | Ave. ± SD (mG) | |
| S1-S8 | 185.8 ± 5.6 | 75.8 ± 2.5 | 115.0 ± 20.2 | 35.8 ± 18.5 | 152.1 ± 67.0 | — |
| S1 ^{*2} | 194.0 | 77 | 117.9 ± 21.4 | 35.0 ± 18.3 | 195.6 ± 86.3 | 0.808*** |
| S2 ^{*3} | 180.7 | 79 | 106.6 ± 16.0 | 27.2 ± 15.8 | 113.9 ± 35.7 | 0.755*** |

| | | | | | | |
|--------------------|-------------|------------|--------------|-------------|--------------|----------|
| S3 *2 | 185.6 | 76 | 112.7 ± 21.9 | 33.4 ± 20.0 | 158.8 ± 55.7 | 0.810*** |
| S4 | 190.5 | 75 | 105.0 ± 15.8 | 26.0 ± 13.7 | 188.0 ± 86.9 | 0.800*** |
| S5 *1 | 179.3 | 75 | 119.1 ± 17.6 | 42.3 ± 16.9 | 138.6 ± 47.1 | 0.801*** |
| S6 *2 | 180.0 | 72 | 111.5 ± 22.4 | 36.5 ± 20.7 | 149.2 ± 64.4 | 0.863*** |
| S7 *1 | 182.8 | 80 | 125.7 ± 19.4 | 44.5 ± 18.9 | 139.9 ± 43.4 | 0.895*** |
| S8 *2 | 192.6 | 74 | 117.2 ± 17.4 | 36.4 ± 14.7 | 127.4 ± 55.5 | 0.697*** |
| L1-L4 | 176.5 ± 7.6 | 77.0 ± 2.0 | 95.0 ± 10.7 | 18.4 ± 10.2 | 106.7 ± 47.4 | — |
| L1 | 174.4 | 76 | 90.4 ± 5.4 | 14.2 ± 5.3 | 99.1 ± 39.5 | 0.770*** |
| L2 | 173.0 | 80 | 106.4 ± 11.2 | 28.3 ± 11.9 | 108.2 ± 41.2 | 0.917*** |
| L3 | 189.1 | 75 | 89.8 ± 6.9 | 13.0 ± 6.1 | 147.8 ± 57.6 | 0.788*** |
| L4 | 166.7 | 76 | 90.4 ± 5.5 | 15.9 ± 6.1 | 74.2 ± 14.8 | 0.814*** |
| Total Ave. ± SD | 182.4 ± 8.4 | 76.3 ± 2.4 | 111.7 ± 20.4 | 32.9 ± 18.6 | 144.7 ± 60.3 | — |

Note: *1 ≥40%HRR 終日; *2 ≥30%HRR が頻繁に発生; *3 は作業員の職長; ***は $p < 0.001$ を示す。

7. 4. 結果

7. 4. 1. 心拍数および身体活動量ACCと労働負荷%HRRの関係

観測した心拍数HRと身体活動量ACCの終日変動について、鳶職作業員S7を例として図7.1に示す。スマートウェアなどのウェアラブルデバイスのデータ採取における課題として、体動によるセンサと体表面との間においての擦れや浮きにより生じるmotion artifact(体動ノイズ)と呼ばれる外乱性ノイズが発生するため[190]、WHS-2のセンサの出力規定外である255および0を採取データから削除し、約5分間で移動平均を加えて分析を行なう。作業員の終日のHRおよびACCの変動は、作業開始後は大きく上昇し、作業中は高い心拍数と活動量を示し、休憩時には労働者のACCと%HRRは下降し、安静時の心拍数と身体活動量は落ちついた。いずれの労働者においても、身体動作に応じて心拍数が変動する傾向が見られた。

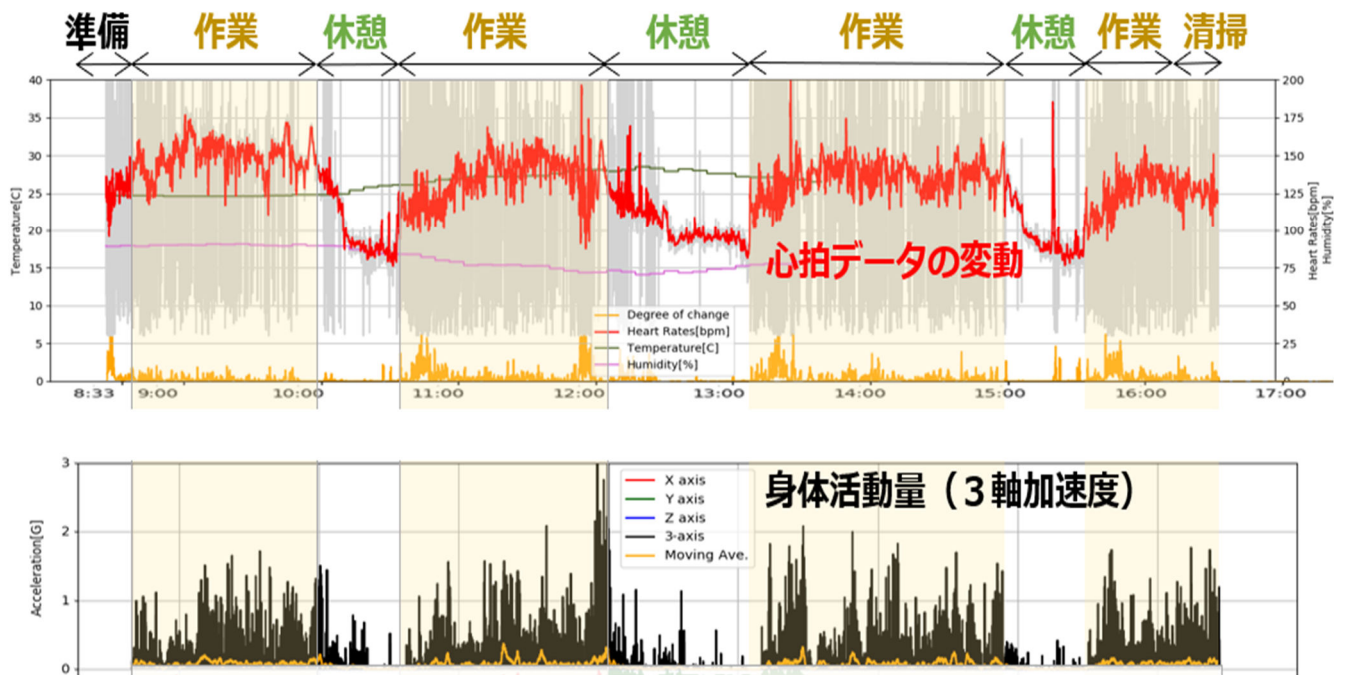


図7.1 心拍数と身体活動量の終日の変動（鳶職作業員S7の例）

各作業員における終日作業のなかで測定された身体活動量ACCと心拍率%HRRの関係を図7.2に示す。図7.2における右肩上がり直線はACCと%HRRの関係は線形近似で示している。図7.2にすべての被験者において、ACCの増加に応じて%HRRが増加し、ACCと%HRRの相関係数 r は0.7~0.9で全て統計的に有意であった。鳶職作業員S1~S8および補助作業員L1~L4に関して、ACCと%HRR間の相関係数 $r_{ACC-\%HRR}$ を表7.2の最右列に示す。補助作業員と比べて鳶職作業員の心拍数の高い傾向は、厳しい身体的な作業負荷に晒されていることを示す。

図7.2において、鳶職作業員S5~S8はACCが増加することにより、%HRRは比較的大きくなる傾向が見られる。また、S1は、解体された鉄骨材を足場の階段の下に置くだけでなく、決められた置き場所までの搬送作業が中心であったため、すべての被験者の中で最も高いACCを記録した。解体後の足場鉄骨の荷降ろし場所と収集場所の間の搬送作業が増加し、%HRRとACCの両方が増加したと推定される。S1は被験者の中で最年少であり、年齢による計算で HR_{max} が大きくなるため、同じ $HR_{working}$ でも他の被験者と比較して目立たなくなる可能性がある。逆に、年齢が比較的高い補助作業員L2は、大きな動作がなくACCが比較的低かったが、%HRRは他の補助作業員よりも高くなった。これは年齢で得られた HR_{max} が、他の被験者よりも低いことに起因する可能性がある。

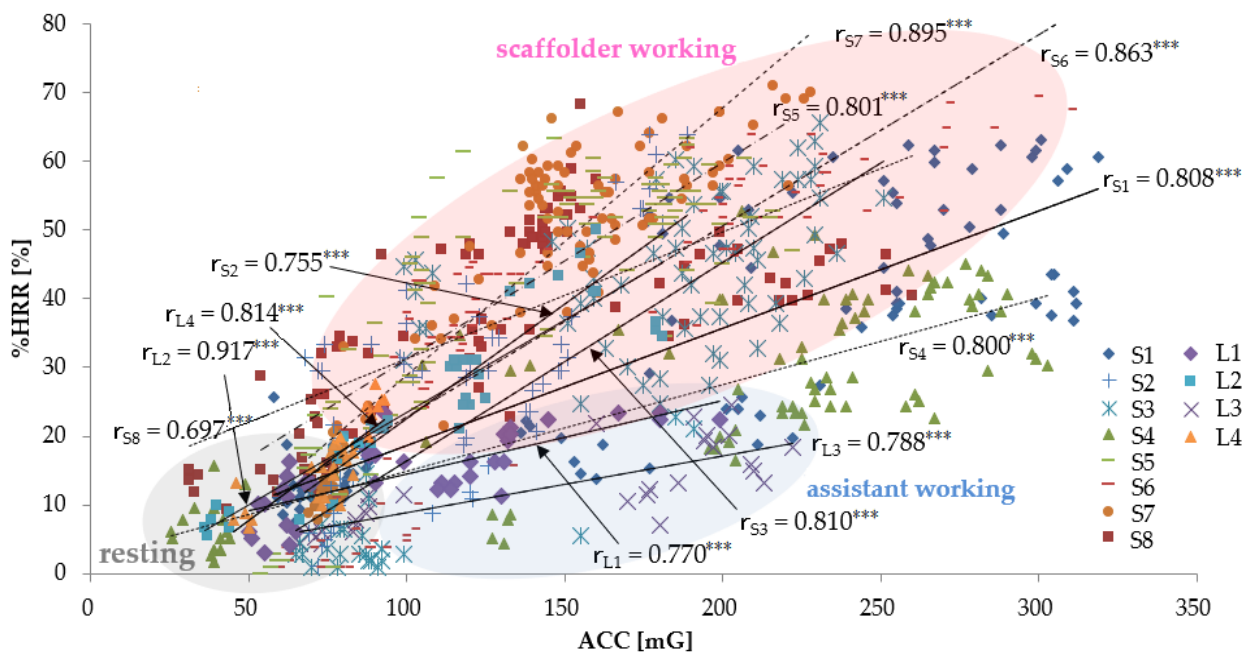


図 7.2 労働者ごとの身体活動量(ACC)と予備心拍数の相対値(%HRR)の関係
(鳶職作業員 S1-S8; 補助作業員 L1-L4; 相関係数 r ; ***は $p < 0.001$ を示す)

7. 4. 2. 身体活動量ACCによる労働負荷%HRRの時間変動

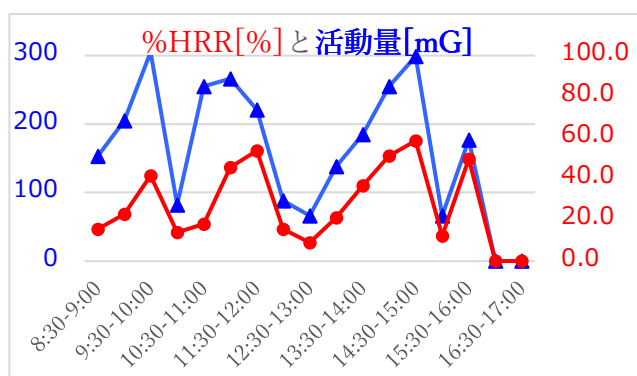
8名の鳶職作業員S1-S8の%HRRと身体活動量ACCの時間変動を図7.3に示す。%HRRとACCの測定データは、全時間帯において30分間での平均値を計算して平均値の変動を示した。%HRRとACCの時間変動を示す図7.3(a)~(h)に相関係数と有意性を記述した。

高所作業となる足場鉄骨の解体作業において、労働者の労働負荷と活動量は時間経過によって変動している。鳶職作業員S1-S4とS5-S8は異なる作業員であり、異なる作業日の測定であった。

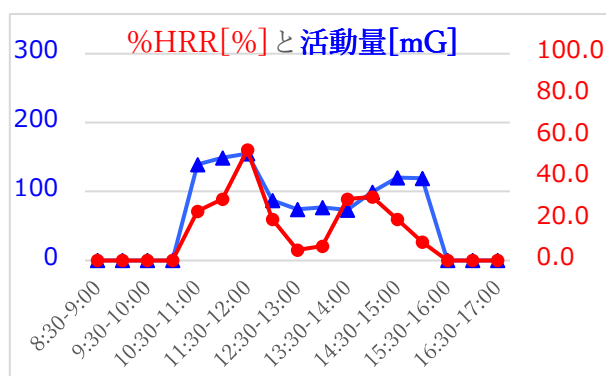
鳶職作業員S1-S4の中で、S2は職長と呼ばれる作業リーダーであり、解体作業に直接関与する時間が少なく、他の鳶職作業員と比較して%HRRとACCの相関係数はやや低い。職長S2は建設事務所における会議出席や事務作業などの間接業務が多く、現場作業に入っている時間帯においても作業指示が多かった。よって、身体負荷を伴う労働負荷は比較的軽く、ACCおよび%HRRが低い値となったことが推察される。S1、S3、およびS4の鳶職作業員はいずれも同日に作業した労働者員であるが、午前よりも午後の作業負荷と活動量が高くなっている。この日の現場では天候の悪化が予想されており、午後からの作業ペースを段階的に速めたとの意見を現場監督よりインタビューで聴取している。このことにより、午後

からの全ての作業員の労働負荷が上がったと考えられる。午後の休憩後である15:30以降の作業において、%HRRとACCがいずれも下がって落ち着いている。これは作業終了前の清掃作業が実施されており、それ以前の解体作業の労働と比べて、%HRRとACCが低くなったことが反映されている。

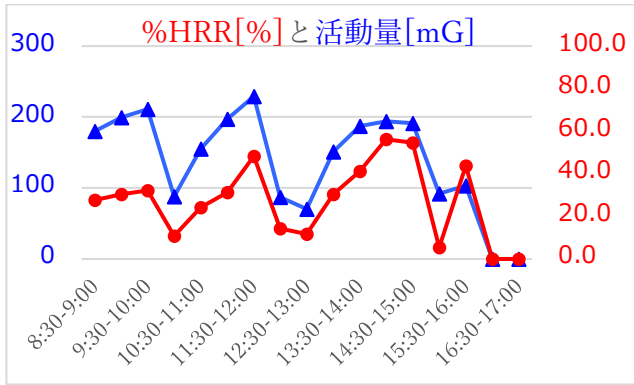
鳶職作業員S5-S8の中で、S6は作業指示を行なう現場における役割は作業リーダーであったが、比較的指示作業よりも直接的な作業時間が多かったことから、身体的な労働負荷が高いと思われる。鳶職作業員との労働負荷において大きな差は見られず、すべての作業員の労働負荷と身体活動量の相関係数が高く、相関も強かった。午前から午後にかけて、S5-S8のいずれの作業員も、作業時間中の労働負荷と身体活動量は同じ負荷の傾向が見られた。この日の現場では気象は安定しており、1日を通じて平均的な作業ペースが守られていた。作業ペースは途中の変化は見られず、午後16:30過ぎまで解体作業が継続された。S5、S7およびS8については、作業終了17:00の直前である16:30以降の時間帯において、%HRRもACCもやや下がっている。この日は作業終了前に清掃作業を実施しており、S1-S4の作業員が行った清掃作業と同様に、直接的な労働負荷より%HRRもACCも低くなった。但し、S5は清掃作業には加わらず別場所に移動し、短時間であるが鉄骨材搬送で残務作業を行っており、%HRRとACCがやや高くなっていた。



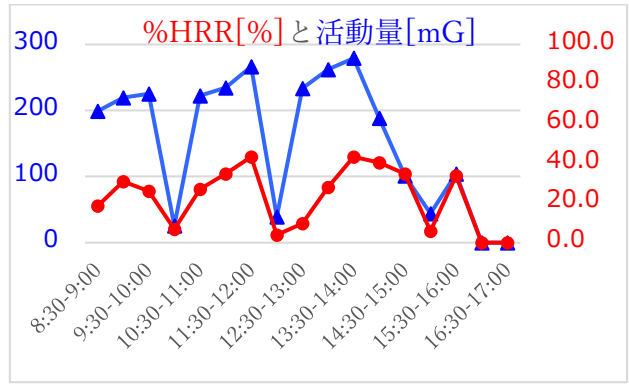
(a) 鳶職作業員S1 ($r=0.765^{***}$)



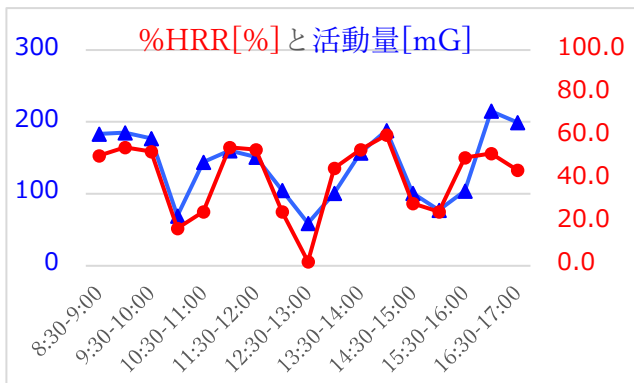
(b) 鳶職作業員S2 ($r=0.588^*$)



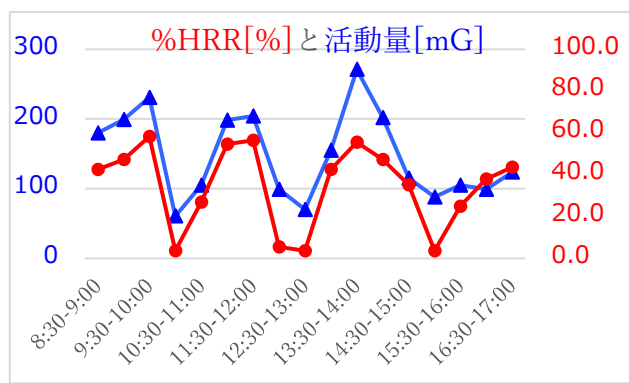
(c) 鳶職作業員 S3 ($r=0.724^{***}$)



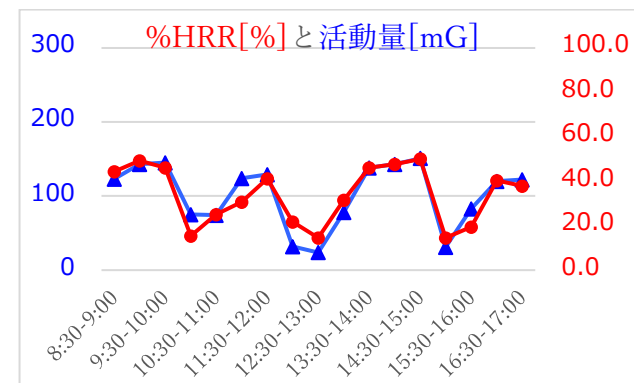
(d) 鳶職作業員 S4 ($r=0.681^{***}$)



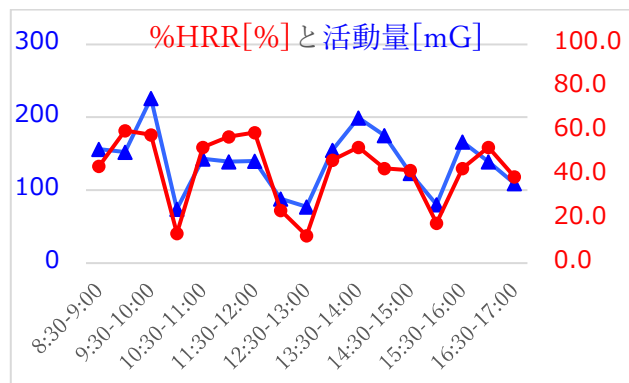
(e) 鳶職作業員 S5 ($r=0.781^{***}$)



(f) 鳶職作業員 S6 ($r=0.871^{***}$)



(g) 鳶職作業員 S7 ($r=0.918^{***}$)



(h) 鳶職作業員 S8 ($r=0.780^{***}$)

図7.3 鳶職作業員の労働負荷と身体活動量の時間推移

(*は $p < 0.05$; ***は $p < 0.001$ を示す)

7. 4. 3. 作業における労働負荷と身体活動量の割合

各被験者の平均の心拍数HRと労働負荷%HRR、身体活動量ACCを時間帯別に収集した。予定作業と休憩を両方含めた全観測時間帯において、%HRRの平均値を30分間ごとに求め、%HRRは30%未満の場合、30-40%の場合、40%以上の場合で分類をした。

全被験者の労働負荷%HRRは最低1.9%~最高60.6%であった。前述のように、表-1の補助作業員L2および鳶職作業員S1-S8の%HRRは30%以上が見られた。労働負荷が大きい

(%HRRが高い)労働者は、労働負荷以外で他の要因としては、比較的年齢が高いことや、BMIが高い被験者(S2)である可能性がある。また、労働者の作業安全と健康リスクが、労働負荷(%HRR)と作業の継続期間に関連することに配慮が必要であり、今回の結果でも%HRRの許容限界(HRR30%~HRR40%)が長く続いていた。

各作業員の%HRRを計算するデータ区間は30分間としているが、作業員の%HRRの安全限界は、建設作業に向けた定義はない。Nortonらの研究においては、有酸素運動のガイドラインとしてはHRR40%が30~60分以上持続すると健康リスクがある[76]と述べている。通常の8時間業務におけるガイドラインとしても、40%HRRは身体的に高い負荷とみなしている[73]。このような指針によれば、30~40%の%HRRを労働負荷の上限として継続して監視する必要があることを示唆している。

作業補助員L1-L4のなかで、L2は身体活動量の高さに比べて平均%HRRが高く、これはL2の作業員の年齢から推定される最大心拍数が低いことによるものと推察される。また、S1は全被験者のなかで、全時間帯において身体活動量ACCが最も高かったが、作業時の心拍数の平均%HRRはあまり高くなかった。S1の年齢は最も若く、 $HR_{maximum}$ が高かったことによると思われる。

担当した建設作業によって、安全限界を超えるデータ(30%HRR、および40%HRR)の割合についても図7.4に示す。各労働者のデータ総数のうち、30%HRR以上の負荷が全体時間の半分以上を超える作業員が複数存在した。S3およびS5-S8の鳶職作業員は、勤務時間の半分以上が30%を超える高い負荷に直面しており、作業員S5およびS7は頻繁に40%HRRを超え、安全性および健康上において危険である可能性がある。撮影ビデオで確認すると、S2は職長であったため指示的な作業が多く、心拍数があまり高くなっていない理由と思われる。

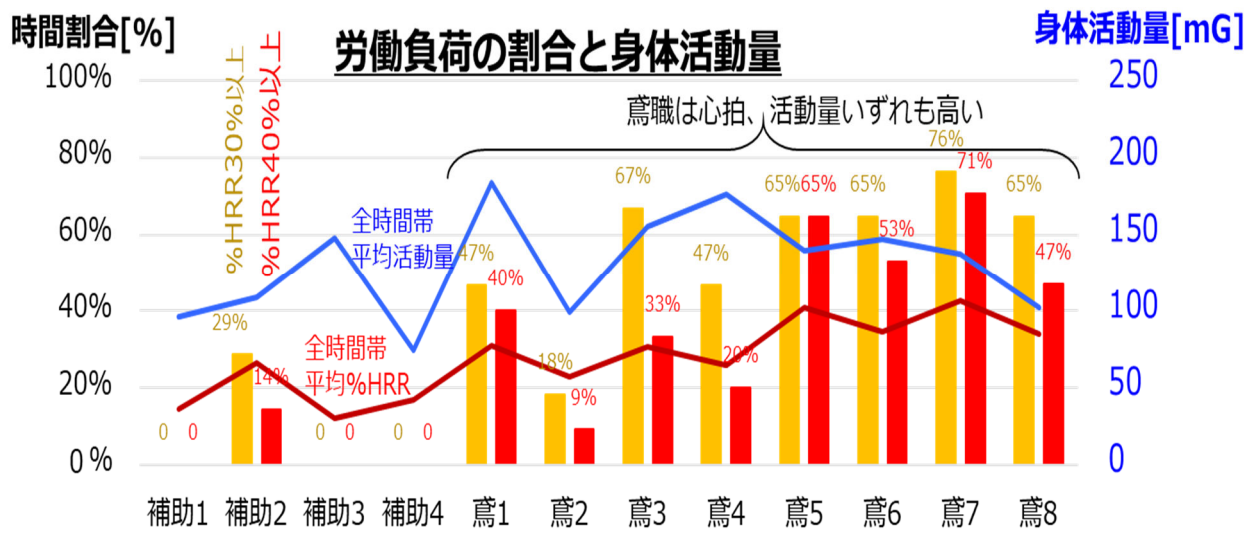


図7.4 作業員別の労働負荷（HRR30%とHRR40%）の割合と身体活動量

鳶職作業員S5~S8は身体活動量が比較的少ない割に30%HRRおよび40%HRRが高い。彼らは足場階段の高所で長時間の作業を主に担当しており、鉄骨材料の解体し、足場階段下において鉄骨材を待ち受ける他の作業員に搬送する作業を行っていた。広い範囲を激しく歩き回る身体活動ではなかったが、鉄骨材を解体して床面へ降ろすといった作業が、心拍数の高い状態が継続された理由と思われる。

作業員S7の身体活動量は、全作業員の中で最も高かった。この作業員は足場階段下で解体された鉄骨材を受け取り、回収場所まで持ち運ぶ作業を担当していた。足場階段と鉄骨材の搬出場所との間を往復する搬送作業のため、全体的に身体活動量が高くなったと推察される。

7. 4. 4. 労働負荷と身体活動量を用いた作業状態の推定

足場鉄骨の解体作業において、職長S2に関する労働負荷%HRRと身体活動量ACCの関係を図7.5(a)に示す。S2は自身の作業以外に他作業員への作業指示や会議出席のために現場から外れる時間も多かった。このため、S2は他の鳶職作業員と同レベルの労働負荷の時間帯もあったが、継続的に労働活動は行っていない。労働負荷%HRRと身体活動量ACCの相関係数 ($r=0.588^*$) はやや低いですが、統計的には有意な関係が見られた。

S4の%HRRと身体活動量の関係を図7.5(b)に示す。時間経過に応じて、S4の%HRRとACCは相関して変化し、相関係数 ($r=0.765^{***}$) は高く統計的に有意であった。

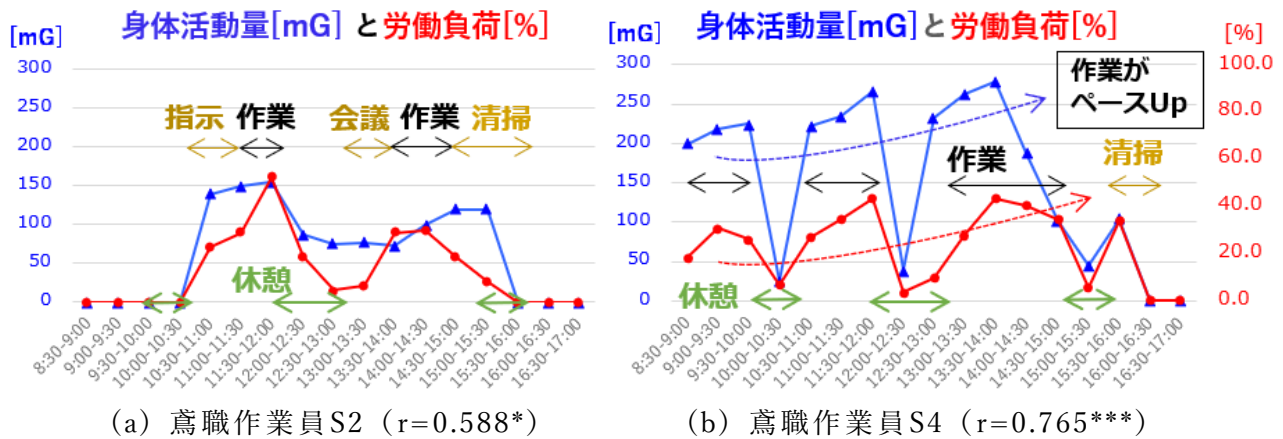


図7.5 作業員S2とS4の身体活動量と労働負荷の時間経過

(*は $p < 0.05$; ***は $p < 0.001$ を示す)

図7.5(b)の作業員S4は、午前に比べて午後からの労働負荷と活動量が高くなっている。当日の現場では天候悪化が予想されており、現場監督へのインタビューにおいて、午後からの作業ペースを意図的に速めたことを情報聴取している。このことが、S4の労働負荷が午後から上昇した要因と考えられる。午後の休憩後の15:30以降の作業において、%HRRと身体活動量が下がっている。これは作業終了前に清掃作業が実施されており、直接的な労働作業と比べて%HRRとACCが低くなっている。

7. 5. 小括（身体的要因と生産性への影響）

7. 5. 1. 建設労働者の労働負荷

建設労働者の労働負荷を継続的に測定することで、労働者の作業状態を推測し、健康状態の理解を深めることができることを示した。現場における不連続な作業進行、労働内容の変化、作業ペースの変化などにより、作業中に変化する建設労働者の労働負荷を継続して測定できる本システムの可能性を確認した。具体的には、スマートウェアを用いて測定した労働負荷は、作業員の年齢の影響、労働条件による労働負荷、作業員間での労働内容の差として定量的に測定できることが示された。この測定における作業員の労働負荷は、仕事のパターンによって日中に大きく変化した。被験者である建設労働者の労働負荷は総じて高く、先行研究の指摘[75]によると、連続作業を避けた方がいいとされる $\geq 40\%$ HRRの負荷が多くで見られた。先行研究では労働者の心拍数と生産性に着目し、 $>33\%$ HRRが継続することで、その生産性の低下を指摘する報告[75,76]がある。先行研究に示されるガ

イドラインは、作業員の過度な労働負荷を抑制し、労働者の疲労蓄積による病気や事故による生産能力の低下を回避するため、作業員の労働負荷の管理の必要性を示唆している。

被験者を測定したとき、長期間で持続されるべきではない身体に加わる負荷が観察された。職場において身体に加わる負荷に関して、特定のガイドラインが作成されている。(例として、%HRRが40%を超え作業活動は30~60分に制限する必要がある[205]。)これらのガイドラインに基づくと、鳶職作業員S5およびS7(表7.2および図7.4)の結果に見られるように、40%HRR以上で終日働き続けた数名の労働者が存在した。したがって、これらの労働者の高い身体的要求を減らすために、建設企業は何らかの介入を実施する必要がある。過度の身体的な労働負荷が生じないように管理するため、この研究は介入に必要な手段を提供する。

7. 5. 2 生体情報による作業員の労務管理

本測定の結果より、建設作業員の心拍数は労働時の身体活動量に比例し、%HRRと身体活動量の高い相関傾向が見られた。心拍数と身体活動量を比較することで、作業員の潜在的な健康障害の発生を未然に防ぎ、健康被害を予測できる可能性がある。具体的には、高い労働負荷の後に適切な休憩が確実に取られていることは、心拍数および身体活動量の数値および時間的な変化を見ることで確認が容易となる。また、同じ活動量や作業タスクを実行する作業員の間で、異なる身体的な応答が見られたる場合、作業現場において異常状態を引き起こす潜在的な要因を見つけられる可能性がある。さらには、高い労働負荷が継続されるが作業進捗が停滞し、予定する工程計画が満たされない場合、作業員の労働負荷を把握しながら、作業員の増員や適切な計画変更を定量的に判断してもよい。こういった知見は、過度に身体に加わる負荷に直面しないように、作業員間の労働負荷を考慮することにより新たな作業方法の設計につながるかもしれない。

本研究の実用的な効用として、建設業就業者の意識に関連する心拍数を観察することにより、作業員の労働負荷を定量的に把握できることである。普段から建設労働者の心拍変動をモニタリングし、建設業就業者の作業中の労働負荷および身体活動量を労務管理として把握し、建設労働者の作業環境の改善や労働管理に繋げることが利用できる。

これら結果に基づいた将来の研究では、労働者の身体に加わる負荷が現場の生産性および事故回避のための安全要因、および怪我や病気に対する健康被害に、どのように関係しているかを判断することが可能になるかもしれない。今後、さらに詳細な生体情報の計測

し、作業員の労働負荷を測定することにより、現場での安全性に配慮した生産性向上の検討に役立てることが必要である。

7. 5. 3. 労働負荷における課題

スマートウェアを使用した生体情報の測定システムを開発し、実際の建設現場において計 12 名の建設労働者の労働負荷と身体活動量を測定し、本システムにおける労働者のモニタリングの有効性・有用性を調べた。進行中の建設作業のなかで、%HRR を指標として用い、作業員の身体に影響を及ぼす負荷を確認することができた。ホルター心電計や 12 誘導心電図による測定は、作業活動量の激しい建設現場の労働作業への適用は困難であるが、本システムのようなスマートウェアを用いて心拍数を連続的に測定し、労働者ごとの心拍数を正規化して定量比較できることの実用的な意義は大きい。この結果より、労働者の職種や年齢、時間経過により、どのように労働負荷が変化するのかを理解するための豊富な情報が収集できた。これらの検討は、労働者の過度な労働負荷や疲労を軽減し、健康への被害を回避することで生産性を維持しながら、労働者の安全性の向上に寄与できる。

しかし、労働負荷の指標として用いる %HRR は労働負荷の指標としては有用であるが、労働者ごとに、安静時の心拍数 $HR_{resting}$ 、および労働者の年齢による $HR_{maximum}$ を求めておく事前準備が必要となる。本測定では被験者である労働者は固定でき、対象人数も限られることから大きな負担はなかったが、日々の労働者が流動的である建設現場においては、こういった準備は煩雑であり %HRR による労働負荷の判断は実用面では課題がある。次章において、%HRR による労働負荷を用いることなく、健康リスクの要因となる労働負荷の判定方法を検討する。

第8章. 労働者の健康リスクの実用的な判定

8. 1. 健康リスク判定モデルの独立変数

8. 1. 1. 年齢グループの違いによるACCと%HRRの関係

労働者の年齢による身体活動量および作業負荷への影響を明らかにするため、被験者の平均年齢36.2歳を中心に36歳以下と37歳以上の2グループに年齢層を分け、それぞれのグループで分析を行なった。年齢グループによる被験者のサンプルデータ数、年齢、身体活動量ACC、%HRR、および相関係数 $r_{ACC-\%HRR}$ の平均と標準偏差を表8.1に示す。若年齢グループ（平均年齢以下）は、中高年グループ（平均年齢以上）と比較すると、ACCの増加に対して%HRRの増加は少なく、ACCと%HRRの関係は、 $AGE_{younger}$ と AGE_{older} の間で大きく異なった。

図8.1において、二つの年齢グループにおけるACCと%HRRの関係を線形近似で示し、各年齢グループの被験者の相関係数 r を示す。年齢グループでの相関係数は、 $r_{younger}$ と r_{older} によって示した。ACCと%HRRの関係において、若い年齢層の相関係数は、 $r_{younger}=0.576$ のやや強い相関があり、高い年齢層では、 $r_{younger}=0.828$ で相関が強くなる傾向が見られた。図8.1において、若い年齢層と比較して高い年齢層では、ACCの増加よりも%HRRの増加が顕著で高まる傾向が示された。

表 8.1 年齢グループの違いによる身体活動 ACC と %HRR の関係

| Age Groups (Years) | Number of Worker (Sets) | Number of Data (Sets) | AGE Average \pm SD (Years) | ACC Average \pm SD (mG) | %HRR Average \pm SD (bpm) | $r_{ACC-\%HRR}$ |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| $AGE_{younger}$ | 6 | 502 | 27.0 \pm 6.1 | 159.6 \pm 71.3 | 34.1 \pm 18.5 | 0.576*** |
| AGE_{older} | 6 | 373 | 45.3 \pm 7.8 | 125.0 \pm 53.2 | 31.4 \pm 18.7 | 0.828*** |
| p -value $_{younger-older}^{\#}$ | | | | <0.001 | 0.042 | — |

Note: $AGE_{younger}$ と AGE_{older} は、参加した労働者の平均年齢 36.2 歳で、平均以下と平均以上の年齢グループに分けた。各相関係数は $r_{younger}$ と r_{older} で示す。#: $AGE_{younger}$ と AGE_{older} のグループ間で Mann-Whitney U test を実施して p 値を求めた。***: 相関係数 $r_{ACC-\%HRR}$ の有意性を確認し、 $p < 0.001$ であった。***: 相関係数 $r_{ACC-\%HRR}$ の有意性を確認し、 $p < 0.001$ であった。

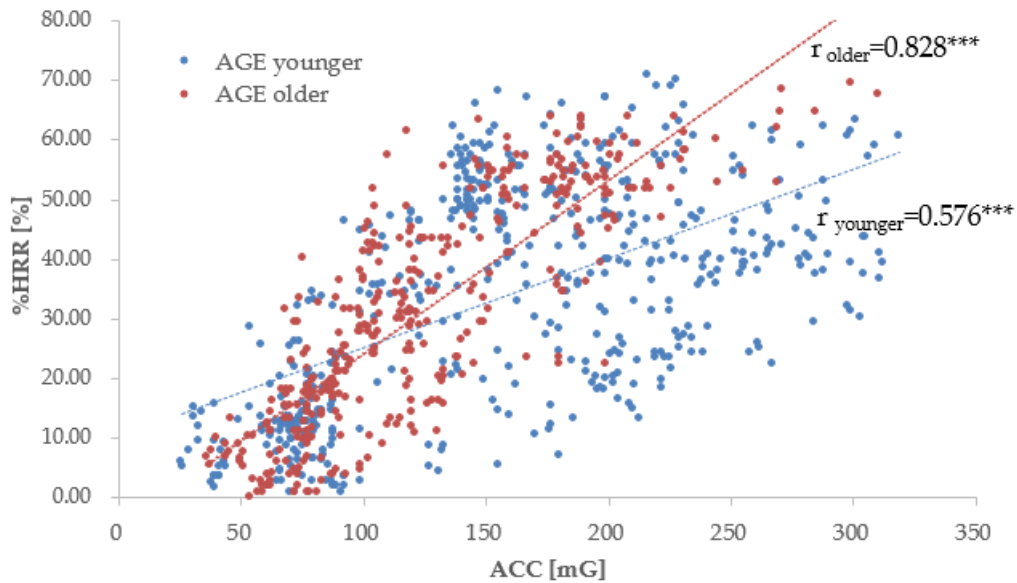


図 8.1 身体活動量(ACC)と労働負荷(%HRR)の関係図

8. 1. 2. BMIグループの違いによるACCと%HRRの関係

労働者のBMIによる身体活動量および作業負荷への影響を明らかにするため、BMIの値によって3グループに分け、各BMIグループで分析を行なった。労働者のBMIグループごとに、ACC、%HRR、および相関に関する被験者のデータ数、平均、および標準偏差を表8.2に示す。BMIグループは、先行研究に基づき、健康リスクへの影響を考える上で、 $\leq 22.5 \text{ kg/m}^2$ 、 $22.6 \sim 27.5 \text{ kg/m}^2$ 、および $\geq 27.6 \text{ kg/m}^2$ の3つのグループに分けた[77]。BMIに関係なく、%HRRとACCの間に大きな違いは見られなかった。ACCと%HRRのデータは、ACCにするとBMI_{low}とBMI_{middle}の関係を除いて、BMIグループ間で統計的な有意差は見られなかった。

BMIグループごとに、線形近似によるACCと%HRRの関係を図8.2に示し、被験者の各BMIグループの相関係数rを示す。BMIグループの各相関係数は、それぞれ r_{low} 、 r_{middle} 、および r_{high} で表す。いずれのBMIグループの相関係数rは0.6~0.8であり、いずれの相関係数も統計的に有意性であった。ACCと%HRRの関係は強い相関を示した。

ただし、Kruskal-Wallisの検定によって、ACCに対する%HRRの変化はBMIが異なるグループ間での有意な差は見られなかった。この結果は、ACCの増加で%HRRが増加しても労働者のBMIグループによる違いは影響しないことが示唆された。

表 8.2 BMIグループの違いによる身体活動ACCと%HRRの関係

| BMI Groups (kg/m ²) | Number of Data (Sets) | BMI Average ± SD (kg/m ²) | %HRR Average ± SD (%) | ACC Average ± SD (mG) | r _{ACC, %HRR} |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| BMI _{low} | 222 | 21.3 ± 1.07 | 32.6 ± 17.3 | 157.8 ± 76.6 | 0.610*** |
| BMI _{middle} | 528 | 23.9 ± 1.02 | 33.6 ± 19.3 | 139.7 ± 63.3 | 0.767*** |
| BMI _{high} | 132 | 29.4 ± 0.46 | 31.8 ± 17.9 | 142.8 ± 56.6 | 0.810*** |
| | <i>p</i> -value * _{low-middle} | | n.s. | n.s. | — |
| | <i>p</i> -value * _{middle-high} | | n.s. | 0.011 | — |
| | <i>p</i> -value * _{low-high} | | n.s. | n.s. | — |

Note: BMI_{low}、BMI_{middle}、BMI_{high} は、≤22.5 kg/m²、22.6–27.5 kg/m²、≥27.6 kg/m² に分けた。r_{low}、r_{middle}、r_{high} は、≤22.5 kg/m²、22.6–27.5 kg/m²、≥27.6 kg/m² におけるACCと%HRRの相関係数を示す。*：BMIグループ間でKruskal-Wallis testを実施して*p*値を求めた。n.s.：統計的に有意でなかった。***：相関係数 r_{ACC-%HRR}の有意性を確認し、*p* < 0.001であった。

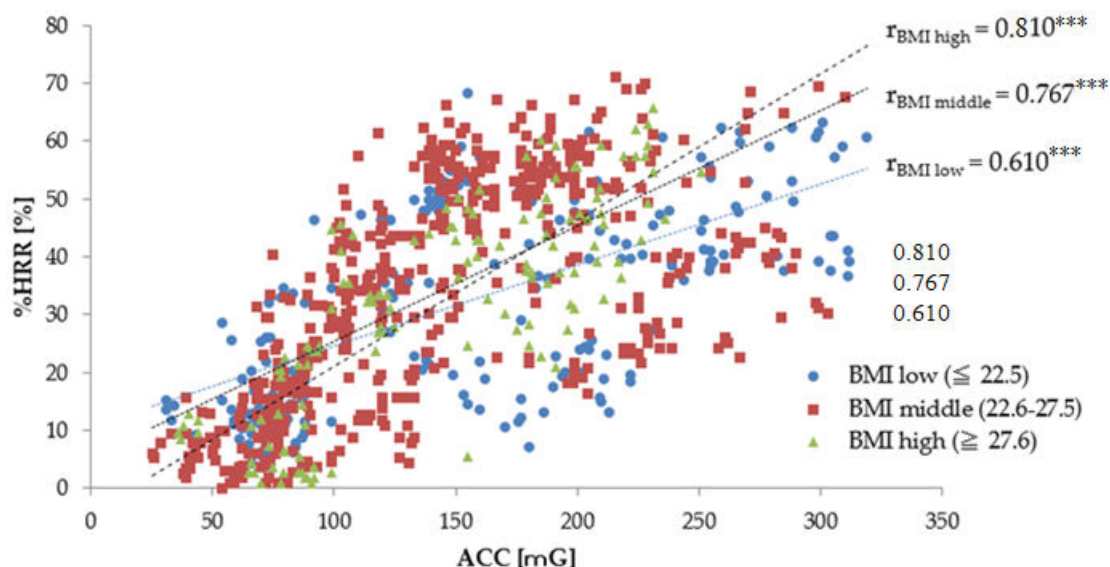


図8.2 労働者のBMIグループの違いによるACCに対する%HRRの関係

8. 1. 3. 暑さ指数 (WBGT) の違いによるACCと%HRRの関係

労働環境のWBGTによる身体活動量および作業負荷への影響を明らかにするため、WBGTによって2グループに分け、各WBGTグループによって分析を行なった。表8.3は、被験者のサンプルデータ数、WBGT、%HRR、ACC、および%HRRとACC間の相関係数*r*に関する平均と標準偏差を示す。測定時間において、被験者が労働に費やした時間は、総労働時間の75%を占め、残りの1/4は休憩時間であり、ISO7243 (屋内環境) [191]のWBGTの制限に基づき、WBGTは25.9℃を境界にして2つのグループに分けた。WBGTが高くなる

と、ACCが下がっているが逆に%HRRは増加する結果が見られた。

ACCに対する%HRRの変化は、Mann-Whitney U testを実施すると、WBGT_{low}とWBGT_{high}の間で異なるグループであることが示唆された。図8.3は、WBGTグループごとのACCと%HRRの関係を線形近似で示し、相関係数はWBGTが<25.9と≥25.9における相関係数、 $r_{low} = 0.703$ と $r_{high} = 0.750$ を示す。いずれのWBGTグループにおいても、ACCと%HRRの間には強い相関関係が見られ、WBGTが上がると、労働者の身体活動量ACCにより労働負荷%HRRが増加することが示唆された。

表 8.3 暑さ指数 (WBGT) の違いによる ACC および %HRR の関係

| WBGT Groups (°C) | Number of Data (Sets) | WBGT Average ± SD (°C) | %HRR Average ± SD (bpm) | ACC Average ± SD (mG) | $r_{ACC-\%HRR}$ |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| WBGT _{low} | 552 | 16.3 ± 2.75 | 30.7 ± 17.6 | 168.6 ± 77.4 | 0.703*** |
| WBGT _{high} | 330 | 27.6 ± 0.21 | 34.3 ± 19.1 | 130.5 ± 53.9 | 0.750*** |
| <i>p</i> -value# low-high | | | 0.005 | <0.001 | — |

Note: WBGT_{low}とWBGT_{high}は、<25.9°Cと≥25.9°Cによって2つに分けた。 r_{low} と r_{high} は、<25.9°Cと≥25.9°CにおけるACCと%HRRの相関係数を示す。#: BMIグループ間でMann-Whitney U testを実施して*p*値を求めた。***: 相関係数 $r_{ACC-\%HRR}$ の有意性を確認し、 $p < 0.001$ であった。

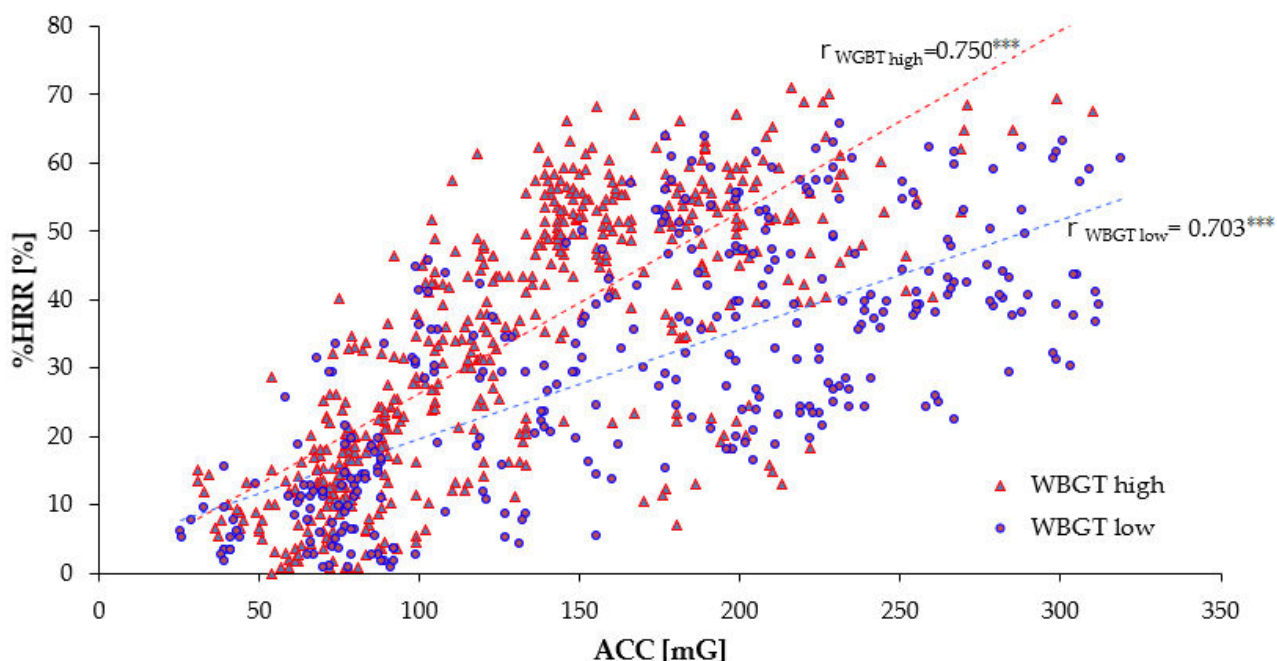


図 8.3 身体活動量 ACC と労働負荷 %HRR (WBGT_{low} ≤ 25.8°C と WBGT_{high} ≥ 25.9°C)

8. 2. 実用的な判定モデル

本研究では、二項ロジスティック回帰を使用し、独立変数は、被験者の年齢、体格指数、労働中の身体活動量、および労働環境の暑さ指数で構成し、従属変数は%HRRのレベルによって決定される健康リスクによって判定した。ロジスティック回帰は医療方法の評価によく用いられ、論争のある問題の影響要因を評価する回帰分析手法の1つであり[192]、生理学、医学の研究に限定されず、生物学、工学、生態学、健康政策、言語学、金融、ビジネスなどで広く使用される[193]。

独立変数のパラメータによる予測モデルを用いて、健康リスクの検出精度を向上させるため、独立変数間の強い相関を観察する。統計分析を行なう前に多重共線性の可能性を確認する。統計モデルを開発する際、ピアソンの相関係数と分散インフレ係数(VIF: Variance Inflation Factor)を計算し、参加者の身体活動ACC、年齢AGE、体格指数BMIと、労働環境の暑さ指数WBGTの妥当性を確認した。SPSSバージョン26 for Windows (IBM)、Excelアドインソフトウェア Excel統計2015 (SSRI Co., Ltd. 日本横浜市)を統計分析ツールとして使用した。

表8.4は、独立変数間の相関係数とVIFに関して得られた結果を示す。身体活動ACCと被験者のAGEの間には弱い負の相関係数(-0.333)が観察されたが、BMIとWBGTの間には相関はなかった。参加者のBMIはAGEとわずかに正の相関があり(0.415)、WBGTとは弱く相関していた(-0.387)。

表 8.4 健康リスク判定の独立変数の記述統計と相関行列

| Variables | ACC | BMI | AGE | WBGT | VIF |
|-----------|------------|--------|--------|------|------|
| ACC | 1.00 | | | | 1.17 |
| BMI | 0.021 | 1.00 | | | 1.48 |
| AGE | -0.333 *** | 0.415 | 1.00 | | 1.43 |
| WBGT | -0.067 * | -0.387 | -0.048 | 1.00 | 1.20 |

Note: ACC: 身体活動量; BMI: 体格指数); AGE: 労働者年齢; WBGT: 暑さ指数;

***は $p < 0.001$; *は $p < 0.05$ を示す

さらに、AGEはWBGTとほとんど相関していないことが観察された。VIFは多重共線性をチェックするための指標となり、すべての独立変数の値は1~2の範囲にあり、多重共線

性の可能性が低いことを示された[194]。

労働者の健康リスク判定モデルを考える上で、ロジスティック回帰分析において、表4にある統計的に有意な ($p < 0.05$) 独立変数を使用した。この調査で使用したロジスティックモデルの式を以下に示す。

$$\text{健康リスク} (\geq \text{HRR}40\%: 1, < \text{HRR}40\%: 0) = f(\text{ACC}, \text{AGE}, \text{BMI}, \text{WBGT}) \quad (\text{式7})$$

ここで、従属変数は、被験者の健康リスクがある場合 ($\geq \text{HRR}40\%$) は1とし、健康リスクがない場合 ($< \text{HRR}40\%$) は0とする。

独立変数は、被験者のACC、AGE、身長と体重から求めたBMI、および労働環境のWBGTを考える。各被験者の HR_{max} と $\text{HR}_{\text{resting}}$ を用いて労働負荷% HRRを求め、%HRRが40%以上であるか否かによって従属変数を決定した。

8. 3. 建設現場の労働者におけるモデル評価

労働者の健康リスクの判定モデルによる推定結果を表8.5に示す。

モデル1は、ACC、AGE、BMI、およびWBGTを独立変数とした。p値によると、作業環境の被験者のACC、AGE、およびWBGTは統計的に有意であったが、BMIは有意ではなかった。このことは、表8.2および図8.2において、ACCと%HRRの関係において相関が有意とならなかつたこととも一致する。Wald χ^2 はモデルの各独立変数の信頼性を示し、値が大きいほどp値も低くなる[195]。モデル1では、AGEやWBGTと比較して、ACCの寄与が比較的高かった。従属変数への影響を判断するために、ロジスティック回帰でオッズ比を使用するが、オッズ比 $\text{OR} > 1$ の場合、独立変数が増加すると従属変数も増加する指標となる[192,193,195]。モデル1ではオッズ比が1より大きい独立変数はACC、AGE、およびWBGTであり、95%信頼区間(CI)の下限も1以上であった。しかし、労働者のBMIはオッズ比が1未満の独立変数であり、95%信頼区間の下限は1を超えなかった。

モデル2ではBMIを含めておらず、独立変数ACC、AGE、およびWBGTに基づくモデルを調べた。3つの独立変数の統計的な有意性が示されており、AGE、ACC、およびWBGTは労働者の健康リスクを示す重要な独立変数となる可能性がある。WBGTのオッズ比は他の変数のオッズ比よりも正の値で大きく、WBGTは労働者の健康リスクに与える影響が大きく、

労働環境のWBGTが高くなれば労働者の健康リスクも大きくなることが示唆された。

表 8.5 ロジスティック回帰分析による判定モデル（建設現場）

| Model | Independent | Coefficient | Standard | Wald χ^2 | p-Value | Odds | 95% CI for |
|---------|-------------|-------------|----------|---------------|---------|-------|-------------|
| Model 1 | Constant | -25.6 | 3.40 | 61.3 | <0.001 | - | - |
| | ACC | 0.041 | 0.003 | 183 | <0.001 | 1.042 | 1.036-1.048 |
| | AGE | 0.074 | 0.020 | 14.0 | <0.001 | 1.077 | 1.036-1.120 |
| | BMI | -0.035 | 0.058 | 0.361 | 0.548 | 0.966 | 0.862-1.082 |
| | WBGT | 0.705 | 0.095 | 54.6 | <0.001 | 2.023 | 1.678-2.438 |
| Model 2 | Constant | -28.1 | 2.35 | 142 | <0.001 | - | - |
| | ACC | 0.041 | 0.003 | 181 | <0.001 | 1.042 | 1.036-1.048 |
| | AGE | 0.066 | 0.014 | 23.1 | <0.001 | 1.068 | 1.040-1.097 |
| | WBGT | 0.742 | 0.074 | 101 | <0.001 | 2.100 | 1.817-2.427 |

適合度（GoF）によるモデルの評価結果を表8.6に示す。モデル1の推定による正解判別率は88.9%であった。モデル2の推定による正解判別率は、モデル1において統計的に有意でなかったBMIを除いており、その正解判別率は89.2%が得られた。GoFによるモデルの適合度を評価するために3つの指標を用いた。赤池の情報量基準（AIC） $= -2\log L + 2k$ が定義され、AICはモデルの適合を示すものと見なされた[196,197]。ここで、kはモデル内のパラメータの数を示します。第1項モデルは、AICの真の良さを表し、第2項は、変数の増加によるペナルティを表す。AICの値は小さいほど適合度は良い。得られたAICによると、モデル2の適応はモデル1よりもわずかに優れていた。Cox-Snell R^2 は、疑似 R^2 と呼ばれ、線形回帰分析における R^2 係数に対応する。Cox-Snell R^2 が大きくなると、モデルの適合性が向上する。モデル1とモデル2のCox-Snell R^2 は0.4~0.5であり、従属変数に対する独立変数の適合度はあまり高くなかった[198,199]。また、Nagelkerke R^2 は0.5から1に近づくと適合度は高くなる[200-202]。モデル1の従属変数に対する独立変数の適合度は0.590、モデル2の従属変数の適合度は0.589であり、いずれも高い値を示した。これらの結果により、モデル1とモデル2の両方の適合性は比較的良好であった。

表 8.6 健康リスク判定モデルの正解判別と GoF（建設労働者）

| Model (independent variables) | Observed Risk | Predicted risk | | | GoF | | |
|-------------------------------------|------------------|----------------|-----|-------------------|------|--------------------------|---------------------------|
| | | 0 | 1 | Percentage (%) | AIC | Cox-Snell R ² | Nagelkerke R ² |
| Model 1 | 0 | 487 | 53 | 90.2 | | | |
| (ACC, AGE, BMI, WBGT) | 1 | 45 | 297 | 86.8 | 57.5 | 0.435 | 0.590 |
| | Overall | | | 88.9 | | | |
| Model 2 | 0 | 486 | 54 | 90.0 | | | |
| (ACC, AGE, WBGT) | 1 | 40 | 302 | 88.0 | 59.5 | 0.434 | 0.589 |
| | Overall | | | 89.2 | | | |

8. 4. 廃棄物処理場の労働者におけるモデル評価

建設現場の被験者はn=12のため、少ないサンプルであった。そのため、建設労働者において用いた健康リスクの判定モデルを他の現場作業員に適用し、判別の結果を評価する。建設現場の労働者に比べ、廃棄物処理場の労働者の身体移動量ACCは少なく、心拍数および%HRRの上昇は比較的少ない労働環境であった。

実験参加者のデータは、2020年8月24-26日の3日間において、京都市南区の廃棄物処理場にてデータを収集された。心拍数および身体活動量は、建設労働者の測定と同じく、5分間の平均値によって求めており、分析に用いた労働者のデータ総数は559点であった。データは延べ6名の労働者から収集し、被験者は廃棄物処理場において分別と回収、設備の修繕を担当し、全日または半日の間において継続的に作業を行なった。これら参加者は実験協力いただいた廃棄物処理会社よりランダムに選択された。

廃棄物処理場における判定モデルの独立変数の推定結果を表8.7に示す。独立変数はACC、AGE、およびWBGTであるモデル2を用いて評価を行なった。オッズ比が1より大きい独立変数はACCおよびAGEであり、オッズ比が1より小さい独立変数はWBGTであった。3つの独立変数の統計的な有意性が示されたが、定数については統計的に有意ではなかった。オッズ比によると、廃棄物処理場の労働者においては、WBGTが労働者の健康に与える影響が最も大きく、労働者の身体活動量ACCが高くなれば、労働者の健康リスクも大きくなることが示唆された。

表 8.7 ロジスティック回帰分析による判定モデル（廃棄者処理場）

| Model | Independent Variables | Coefficient | Standard Error | Wald χ^2 | p-Value | Odds Ratio | 95% CI for Odds |
|---------|-----------------------|-------------|----------------|---------------|---------|------------|-----------------|
| Model 2 | Constant | -7.58 | 3.73 | 4.14 | 0.042 | - | - |
| | ACC | 5.59 | 2.03 | 7.60 | 0.006 | 267 | 5.03-14200 |
| | AGE | 0.125 | 0.012 | 104 | <0.001 | 1.133 | 1.106-1.161 |
| | WBGT | -0.573 | 0.141 | 16.5 | <0.001 | 0.564 | 0.428-0.774 |

モデルの推定結果について、適合度（GoF）によるモデルの適合度を表8.8に示す。独立変数に、ACC、AGE、WBGTを使用したモデル2による推定結果は、正解判別率が91.6%であり、建設現場の労働者に比較して、さらに高い正解判別率が得られた。

建設現場における判定モデルと同じく、GoFによるモデルの適合度を3つの指標を用いて評価した。Cox-Snell R^2 はあまり良くなかったが、赤池の情報量基準AICは25.0、およびNagelkerke R^2 は0.520となり、建設現場における結果と比較して、良好で似た適合度の結果が得られた。建設労働者のモデル評価と同じく、廃棄物処理場における労働者の身体活動量ACC、年齢AGE、作業環境のWBGTを用いて、廃棄物処理場の労働者においても同じ独立変数を用いた健康リスク判定が有効である可能性が示された。

表 8.8 健康リスク判定モデルの正解判別と GoF（廃棄物処理場）

| Model (independent variables) | Observed Risk | Predicted risk | | | GoF | | |
|----------------------------------|---------------|----------------|----|----------------|------|-----------------|------------------|
| | | 0 | 1 | Percentage (%) | AIC | Cox-Snell R^2 | Nagelkerke R^2 |
| Model 2 | 0 | 459 | 15 | 96.0 | 25.0 | 0.286 | 0.520 |
| (ACC, AGE, | 1 | 31 | 44 | 58.7 | | | |
| WBGT) | Overall | 91.6 | | | | | |

8. 5. 小括（実用的な健康リスク判定モデル）

スマートウェアから収集したデータを使用して労働者のデータを採取、分析した。労働者の年齢、身体活動量、労働環境のWBGT、および労働状況（たとえば、職長と実際の労働者、および鳶職作業員と補助作業員の違い）に応じて労働負荷は変化した。得られた労働負荷は、各労働者で異なることを示し

ており、このことは、ウェアラブルデバイス（リストバンドタイプのデバイス）を用いた先行研究の結果[24,202-204]とも一致する。同じ建設現場においても、作業員の労働負荷は、彼らの作業パターン（足場金属の解体、搬送、準備を含む作業活動の割合）に基づいて異なる。労働者の健康リスクを理解するためには、進行中の作業について継続的に労働状態をモニタリングする必要がある。予備心拍数の相対値に関する多くの研究は、典型的な活動パターン（例えば、トレッドミルやランニング装置による運動）と実験室の環境における%HRR を測定することが多く、実際の建設現場の実務において測定されるケースはほとんど見られない。建設労働者の%HRR を決定する方法の適用を考えると、作業員の HR_{max} と $HR_{resting}$ [68,206,207]を事前に測定することは困難であり、実際には%HRR を判断指標とする使用を妨げる可能性がある。%HRR は有用な労働負荷の計測手段であるが、移動性が高い建設現場において、 $HR_{resting}$ などの計測は困難であり、実用的な計測に向く代替手段を検討した。

この研究の重要な発見の価値は、先行研究の%HRR の代わりにロジスティック回帰にて幾つかの共変量を使用すると、労働者に対する身体的な負荷の影響が明らかになったことにある。これらの共変量間の関係は、労働者の心拍数に影響を与えている [24,208,209]。WBGT は調査した共変量の中で最大のオッズ比を持ち、労働者の%HRR への影響は有意であった[77]。筆者の知る限り、これは、身体活動、労働者の年齢、およびWBGTを使用して、%HRR を計算せずに労働者の身体的作業負荷を決定する方法を報告した最初の研究である。40%以上の%HRR による健康リスク判定モデルの推定結果は、その正解判別率は約 89.2%が得られた。これより、 HR_{max} や $HR_{resting}$ を測定できない環境では、この研究結果を用いて健康リスクを判断できることが示された。この研究の実践的な意義としては、先行研究で用いられた予備心拍数の相対値%HRR、すなわち労働負荷の代わりに、新たに建設労働者の健康リスクを簡単に測定するための手段を提案したことにある。

第9章. 総合考察

9. 1. 心理的要因および身体的要因の影響

労働者の心理的要因の影響に関する研究では、日本の経済状況の転換期であった年代を境目にし、二つの異なる労働者の年齢層によって、建設業務の仕事意識、動機付け、生産性意識について SEM による分析を実施した。

労働者の仕事意識において、年配の労働者において、安静時の心拍数と BMI が高くなるといった健康リスクの増加は、職場環境の安心感、積極的な作業行動、仕事の満足度、作業スキルの認識を通じて、職場の生産性の意識に悪い影響を与えることが示された。一方、若年労働者の場合、健康リスクの変化は、これらの職場における仕事意識、および職場の生産性意識への影響が有意とならなかったが、積極的な仕事行動とパフォーマンスをより意識していることが示された。年齢に関わらず、職場の安心感は、仕事の満足度に直接的な影響を及ぼし、仕事のスキルに間接的な影響を与える結果が見られた。これらの結果を用いて、心拍数による生体情報と BMI による身体情報を定期的にモニタリングすることで、労働者の意識を理解し、建設会社と労働者との旅行な仕事関係を維持できる可能性がある。建設会社は、労働者の健康リスクと意識を定量的に理解することで、労働者の仕事の質 (Quality of Work: QoW) と幸福度を向上させる可能性が見出せた。これに関するさらなる研究は、労働者の意識を把握することにより、チームワークを通じて職場の生産性の管理を容易にすることが期待できる。

労働者の動機付けにおいて、年配の労働者の健康リスクの増加は、内発的動機付けに悪影響を及ぼし、さらに労働者の認識する仕事の生産性、作業スキル、および外発的動機付けに影響を及ぼした。一方、若年労働者の場合、健康リスクの増加は、年配労働者に見られたような、内発的動機付け、および職場パフォーマンスの認識へは有意とならなかった。内発的および外発的動機の向上は、すべての建設労働者が認識する職場の生産性にプラスの影響を及ぼした。若い労働者は内発的な動機をより重視し、年配の労働者は外発的な動機をより重視していることが明らかになった。

生体情報である心拍数、身体情報である BMI を定期的にモニタリングすることにより、建設会社は建設労働者の仕事に対する心理的要因を理解でき、労働者との雇用において持続可能な関係 [25] を促進できる可能性がある。高齢労働者の認識を理解することは、永続的な仕事上の関係を促進し、仕事の質と健康の改善を図られる。また、若年労働者の認識を理解することは、中途退職のリスクを回避することにも役立つ。

先行研究にある労働者の動機付けに関する数多くの研究においても、建設労働者へのインタビューおよびアンケート調査が使用されている[36,48,54,55,162,163,210]。しかし、生体情報や身体情報を用いて分析した報告はほとんど見られなかった。筆者の知る限り、この研究は、建設労働者の健康リスク指標と、仕事意識、動機付け、生産性意識の関係について分析した最初の研究である。この研究結果は、建設会社に限らず、従業員の高齢化と中途退職による労働力低下への対処に苦勞する中小企業に重要な情報を提供する。さらなる研究は、年を重ねるにつれて変化する労働者の仕事の意識やモチベーションの把握に貢献することができる。

建設現場では、プロジェクトの進行に伴って必要な労働力が変化し、複数の労働者において多くのスキル、経験、および健康と安全のリスクを管理する必要がある。建設プロジェクトでは、日常の労働者の調整、工程計画に配慮する必要があり、労働者の心理的要因を捉えた本研究の結果は、異なる年齢層の労働者の労務管理に役立つ可能性がある。

労働者の労働負荷に関する研究においては、日本の建設会社の労働者の心拍数と身体活動、年齢、BMI、および作業環境の WBGT を測定した。建設業界における高い労働力の流動性を考慮し、%HRR による労働負荷の代替手段として、労働者の健康リスクの新しい判断モデルを開発した。労働者の身体活動、年齢、BMI、および作業環境の WBGT を独立変数として使用することにより、 HR_{max} や $HR_{resting}$ などの準備をしなくても、労働負荷を簡単に観察できる。本研究の結果より、身体活動、年齢、および WBGT が労働負荷推定の重要なパラメータであることを示した。この研究報告は、%HRR を計算せずに、身体活動、労働者の年齢、および WBGT を使用して、労働者の身体的な労働負荷により健康リスクを判断する方法を示す最初の報告である。この結果により、個々の建設労働者の作業負荷リスクをリアルタイムで推定するための実用的な決定が可能となる。この研究の価値としては、定量的な労働力が建設労働者の健康と作業負荷を視覚化できることを明らかにした。理論的および実践的な意味としては、先行研究で使用された労働負荷の代わりに、建設労働者の健康リスクを測定するための手段を非常に簡単に提案したということである。また、軽量で簡単なウェアラブルデバイスの利用は、労働者の健康状態を検査するための即時的な監視メカニズムを提示するという点で、重要で実用的な意味を持つ。このモニタリング手法は、特別な活動を用いた専門的な準備計測を伴わず非常に簡単であり、労働者の健康

被害を最小限に抑えるために企業が採用することが容易である。労働者の身体的要因を捉える本研究の結果は、労働力の定量化により、建設企業の建設現場間を結び付けた労働力の可視化が期待でき、建設業界の合理化と安全性の向上につながると考える。

9. 2. 労働者のモニタリングによる将来見通し

本報告で示したように、労働者の作業負荷と健康状態を定量的に評価することは、労働者の健康と雇用状態を管理する上で有用である。労働力管理に関するいくつかの研究[211-213]があるが、労働者の個々の心拍数、身体活動、および身体測定値の使用に焦点を当てた研究はほとんど見られない。労働者の身体活動、年齢、および WBGT を使用して、労働者の身体的な作業負荷を決定する方法を示し、建設労働者の健康リスクの簡便な測定手段を提案した。これらの属性の使用に関するさらなる研究は、労働者の健康リスクに影響する労働要因を特定して定量化することにより、建設現場の労働者の生産性を促進することができる可能性がある。

この研究は、ICT (Information and Communication Technology) ツールを使用した建設現場全体における統合管理技術の要素として有用である。建設業界の多くのアプリケーションでは、建設ロボットの導入、ビッグデータと人工知能の連携、M2M (Machine to Machine) 通信、IoT の導入により、新しい ICT 分野での技術の利用がさらに進むことが期待されている。BIM (Building Information Modeling) や CIM (Construction Information Modeling / Management) では、研究、計画、設計、建設、保守が分離された建設の生産工程をつなぐ役割を果たしており、生産性の向上に大きく貢献している[66]。この研究で得られた労働者の生体データは、建設労働者の健康状態と作業負荷を定量的な労働力として視覚化し、建設現場間でそれらをリンクすることが可能である。建設会社は、現場作業員の測定データに基づいて、建設プロセスのシミュレーション、プロセスの進行状況の予測、および作業員の安全性の見積もりに使用できる。ICT 導入により建設会社の定量化された労働力をつなげて視覚化することは、建設現場での労務管理の利便性が向上し、建設業界の効率、省力化、品質向上がさらに安全性の向上に貢献する。技術の進歩に伴い、ウェアラブルセンサは小型化、処理の高速化、取得データの高精度化が進んでおり、建設会社は取得したデータを利用するための評価スキルがますます求められることが予想される。センシング技術の活用やシステム構築への投資に加え、それらを活用した人材育成も重要な課題である。

第10章. 結論

10.1. リサーチクエスションに対する結論

本研究において設定したリサーチクエスションに対する答え付けを行なう。

第一のリサーチクエスションは、安静時の心拍数による健康リスクの変化は、労働者の心理的要因を通じて、職場における生産性の意識にどのような影響を与えているか？であった。2つの異なる労働者の年齢層に着目して分析することによって、高齢労働者の仕事意識において、健康リスクの変化は、職場における安心感、積極的な行動、仕事スキルに対する意識を通じて、生産性意識に負の影響が有意であることが示された。また、仕事の動機付けにおいて、高齢者の健康リスクの変化は、内発的動機付けと仕事スキルの意識を通じて、生産性意識に負の影響が有意であることも分かった。つまり、高齢労働者の健康リスクの高まりは、仕事と動機付けのいずれの労働者意識においても、生産性に対する意識に悪い影響があることが示唆された。一方で、若年労働者の仕事意識において、健康リスクの変化は、職場の安心感、積極的行動、仕事スキルの意識、および生産性の意識への影響は有意でなかった。また、若年労働者の動機付けの意識において、健康リスクの変化は、内発的および外発的動機付けに影響せず、生産性意識への影響も有意でなかった。

これらのことにより、本研究における第一のリサーチクエスションでは、高い年齢の労働者において健康リスクの高まると、仕事意識および動機付けの意識を通じて、生産性意識に悪い影響を及ぼすが、若年労働者ではその傾向が見られないことが示された。

第二のリサーチクエスションは、労働者の年齢および身体情報、労働時の活動情報、労働環境の情報から、どれくらい労働負荷の実用的な計測ができるか？を設定した。建設現場および廃棄物作業所の労働者に対して、労働負荷%HRRによる健康リスクの判定モデルを開発し、労働者年齢、身体活動量、およびWBGTの採取データによる結果を分析した。あらかじめ心拍数や $HR_{resting}$ を測定しなくても、約90%の高い正解判別率が得られ、労働負荷による健康リスクを判定できた。

これらのことにより、第二のリサーチクエスションでは、労働負荷の測定において、労働者の年齢、身体活動量、およびWBGTを用いることにより、現場労働者の労働負荷および健康リスクを高い正解判別率にて即時に推定でき、実用的な計測手段であることが明らかになった。

10.2. 理論的貢献と実践的貢献

10.2.1. 理論的貢献

労働者の健康と仕事意識の関係を報告した先行研究は少ない。本研究における心理的要因の分析の理論的貢献は、安静時の心拍数および BMI といった労働者の健康リスク指標が、仕事意識および動機付け意識を通じて、生産性意識に影響すること示され、その関係が労働者の年齢層により異なることを明らかにしたことである。

さらに労働者の身体的要因の分析における理論的要因は、先行研究にある労働負荷% HRR を用いることなく、労働者年齢、身体活動量、労働環境の WBGT から、二項ロジスティック回帰による健康リスクの判定モデルが開発され、高い正解率で推定できることが新しく示されたことである。

10.2.2. 実践的貢献

労働者の心理的要因の分析における実践的貢献では、労働者の健康、潜在的な仕事意識、動機付けの関係を年齢層に応じて定量的に明らかにしたことにより、企業は従業員との関係において、年齢層に応じた雇用対策や労務管理に結び付けられる。これにより継続的な雇用関係を維持され、生産労働力の安定的な確保に繋げられる可能性がある。

さらに、労働者の身体的要因の分析における実践的貢献では、流動性の高い労働現場において、実用面において課題のある労働負荷% HRR の代替手段を提案した。これにより、労働者の労務管理および労働状況の定量的な把握が容易となり、厳しい労働環境で働く労働者の健康リスクの判定が可能となる。

1 1 . 研究の限界と今後の課題

1 1 . 1 . 研究の限界

この研究の結果にはいくつかの制限がある。第一に、労働者の仕事意識および動機付けに関する分析は、若年労働者と高齢労働者の2グループで分析を行なった。しかし、年齢による詳細な分析には、若年層、中堅層、高齢層といった3から4の年齢区分による分析が望ましい。第二に、この研究では、労働者が提供した心拍数と実際の安静時の心拍数、身長、体重に違いが生じる可能性のある自己申告方法を使用した。将来の研究では、身体的な労働負荷が労働者に与える潜在的な影響をよりよく理解するために、観察可能なデータを含めるように努める必要がある。第三に、今回行なった労働者の生産性意識の分析に加え、さらに労働者の生産性自体を分析した方が有用と考える。第四に、この研究は日本の建設会社の労働者に焦点を当てており、彼らの意識の因果関係を推察している。日本の労働現場での組織活動は、高いレベルの労働者のエンパワーメント、チームワークによる継続的な改善、および品質と安全に対する前向きな姿勢が特徴付けられている[214,215]。日本の建設業界の長所を含め、今後の研究では、報告された結果を確認するために、組織文化、仕事への関与、仕事の作り方などの要因を含む、より多くの建設労働者を調査する必要があるかもしれない。第五に、労働者の健康リスクの判別式の算出において、労働者のサンプルは建設現場が12名と廃棄物処理場が5名の計17名で分析している。限られた数の被験者のために、データセットは収集された身体活動と心拍数の5分間隔での平均値を使用した。被験者に対する長期的なデータ採取の先行研究では、心拍数も身体活動のいずれも、秒単位での変動観測は扱っておらず、瞬時の急な変化は観察されていない。但し、幾つかの先行研究に基づいて心拍数および身体活動データを5分間で平均化しており、終日の労働者の観察期間の分析は十分であると考え[75,205,216,217]。第六に、労働者の仕事時に採取した身体活動と心拍数のデータが一部欠落していたため、測定エラーが発生した可能性がある。これらの外れ値は、心拍数の平均または標準分散にわずかに影響を与える可能性がある。これらの計測誤差を回避するには、心拍数と身体活動をより正確に監視する必要がある。第七に、労働者の仕事意識および動機付けモデルに関して多くの仮説と、その他の変数の寄与に関する洞察を提供した。労働者の健康リスク指標が影響する独立変数は多様で複雑であり、結果に対する副作用、および内因性の問題がある。ここでの

研究結果は、今回対象とした建設会社の労働者の事例におそらく依存し、労働者のサンプル数も限られていたことから、結果の一般性のレベルについてはさらに議論する必要がある。最後に、労働者の健康変動は非常に脆弱であり、その時の精神状態、プライベート、およびライフスタイルの影響を受ける。よって、さらなる研究を実施し、より多くの証拠を蓄積することが重要である。結果の精度を保証するには、他の作業条件による更なる研究が必要である。

1 1.2. 今後の課題

本研究において、以下に記述する課題を今後検討する余地がある。

1. 労働者意識の分析における年齢区分の吟味

労働者の仕事意識および動機付けにおいて、若手、中堅、高齢といった3から4の年齢グループによる分析を行なうことにより、結果の信頼性が高まる可能性がある。

2. 労働者の身体情報などの直接計測

身長および体重、安静時心拍数はアンケート調査による回答ではなく、データを直接測定することによりデータの誤差がさらに少なくなる。

3. 労働生産性自体の測定

労働者の作業効率、生産量、移動経路や移動速度による分析を行なうことにより、労働者の生産性自体の計測を検討する。

4. 労働者のサンプル数

被験者のサンプル数を増やし、より信頼性の高い結果を得ることを検討する。被験者の調査範囲を拡大し、作業所や地域別、作業チーム、作業時間、季節などによる違いを検討する。また、建設労働者以外の労働者への適用を検討する。

5. 生体情報および身体活動量の急な変化に着目

労働負荷および身体活動量の短時間の変化をデータ採取する。労働者のヒヤリ、ハットの分析、労働者の体調不良の予知、労働災害の予防を検討する。

謝辞

本研究の遂行と実証実験、博士論文をまとめるにあたり、修士課程のころより長くのご指導と温かいご支援を賜りました立命館大学大学院テクノロジー・マネジメント研究科の児玉耕太准教授に深く御礼申し上げます。論文審査におきまして、主査および副査を担当いただき適切にご指導を賜った、テクノロジー・マネジメント研究科の名取隆教授、長平彰夫教授、理工学部環境都市工学科の建山和由教授に厚く感謝申し上げます。共同研究者であり、平素より親身にご指導頂いた東京工業大学環境・社会理工学院の仙石慎太郎准教授に心より感謝いたします。本研究の報告会におきまして多大なご助言をいただいた立命館大学経営学部経営学科の林永周講師に感謝を申し上げます。共同研究者として、研究報告会や研究活動におきまして、ご指導をいただきました立命館大学理工学部環境都市工学科の小林泰三教授、橋本征二教授に深く感謝申し上げます。

建設現場の実証実験においてお世話になり、i-Construction 研究会においてもご助言とご支援をいただきました、株式会社熊谷組の北原成郎様、宮崎安弘様、久保田泰史様、黒石真一様、そして、実験現場の提供と準備でお世話になった、株式会社熊谷組 建設作業所の一瀬正人様、大崎様、作業所の皆様、実験協力者およびアンケート参加者の皆様に厚く御礼申し上げます。

また、本研究の研究倫理申請、博士論文等の申請でお世話になった立命館大学 OIC リサーチオフィス、および MOT 研究科事務室の皆様我心から感謝を申し上げます。

さらに、児玉研究室と一緒に学び、多くの気付きと数々のご支援を頂戴したゼミ生の皆様、研究補助の槻瀬れいら様、社会人同期の皆様、特に実験協力、データ処理でお世話になった D1 曹剣飛様に厚く感謝の意を表します。

最後に、社会人学生として学位取得の選択について快諾してもらい、今日まで支えてくれた家族および会社関係者に最大限の感謝の意を表します。

参考文献

1. Shiozawa, N.; Lee, J.; Okuno, A.; Makikawa, M. Measurement of Electrocardiogram in Water with the Shirt-Type Electrocardiogram Electrode, The IEEE Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI) 2018.
2. Takalokastari, T.; Alasaarela, E.; Kinnunen, M.; Jams, T. Quality of the Wireless Electrocardiogram Signal During Physical Exercise in Different Age Groups, IEEE JOURNAL OF BIOMEDICAL AND HEALTH INFORMATICS, 18, MAY 2014.
3. Shiozawa, N.; Jihyoung Lee, J.; Okuno, A.; Makikawa, M. Novel Under Wearable "Smart-Wear" with Stretchable and Flexible Electrodes Enables Insensible Monitoring Electrocardiograph.
4. Choo K.Y., Ling, H.C., Lo Y.C.; Yap, Z.H. Phan R.C.W. et al. Android based self-diagnostic electrocardiogram system for mobile healthcare, *Technology and Health Care* **2015**, 23, Suppl2:435-442.
5. Martin 3rd., W.H.; Xian, H.; Chandiramani, P.; Bainter, E.; Klein A. JP. Cardiovascular mortality prediction in veterans with arm exercise vs pharmacologic myocardial perfusion imaging, *American Heart Journal* **2015**, 170, 362-370.
6. Hwanga, S.; Leeb, S.H. Wristband-type wearable health devices to measure construction workers' physical demands, *Automation in Construction* **2017**, 83, 330-340.
7. S.Adibi (Ed.), *Mobile Health: A Technology Road Map*, Springer, Berlin, Germany 2015
8. Led, S.; Azpilicueta, L.; Martínez-Espronedca, M.; Serrano, L.; Falcone, F. Operation, analysis and optimization of wireless sensor devices in health oriented monitoring systems, *Mobile Health*, Springer International Publishing, **2015**, 245-263.
9. A. Pantelopoulos, N.G. Bourbakis, A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis, *IEEE Trans. Sys. Man Cybern. Part C: Appl. Rev.* IEEE 40 (1), 2010 1-12.
10. M.Y. Leung, I.Y.S. Chan, C.L. Cooper, *Stress Management in the Construction Industry*, John Wiley & Sons, West Sussex, UK, 2014.
11. Hongling Guoa, Yantao Yua, Tian Xianga, Heng Lib, Dan Zhanga, The availability of wearable-device-based physical data for the measurement of construction workers' psychological status on site: From the perspective of safety management, *Automation in Construction* **2017**, 82, 207-217.
12. 過酷な建設現場に「ウェアラブル革命」、作業員の安全守って効率も向上-日経xTECH

<https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00351/073100006/> (accessed on 7 Oct. 2020).

13. 帝人 HP ビッグデータ解析により消防隊員の働き方改革に寄与「スマート消防服」による熱中症リスク予知に成功, https://www.teijin.co.jp/news/2017/jbd171002_42.html (Accessed 7 Oct. 2020.)
14. 東洋紡 HP COCOMI <https://www.toyobo.co.jp/discover/materials/cocomi/index.html> (Accessed 7 Oct. 2020.)
15. Alkaissy, M.; Arashpour, M.; Ashuri, B.; Bai, Y.; Hosseini, R. Safety management in construction: 20 years of risk modeling. *Safety Science* **2020**, 129, 104805.
16. Hashiguchi, N.; Cao, J.; Lim, Y.; Kubota, Y.; Kitahara, S.; Ishida, S.; Kodama, K. The effects of psychological factors on perceptions of productivity in construction sites in Japan by worker age. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, 17, 3517.
17. Merkus, S.L.; Lunde, L.K.; Koch, M.; Wærsted, M.; Knardahl, S.; Veiersted, K.B. Physical capacity, occupational physical demands, and relative physical strain of older employees in construction and healthcare. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **2019**, 92, 295–307.
18. Flower, D.J.C.; Tipton, M.J.; Milligan, G.S. Considerations for physical employment standards in the aging workforce. *Work* **2019**, 63, 509–519.
19. Japan Construction Occupational Safety and Health Association, Occupational Accident Statistics, Occurrence of Fatal Accidents in the Construction Industry by Month (In Japanese). Available online: https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/statistics/month/index.html (accessed on 7 Oct. 2020).
20. Pegula, S. An Analysis of Fatal Occupational Injuries at Road Construction Sites, 2003–2010. Available online: <https://www.bls.gov/opub/mlr/2013> (accessed on 7 Oct. 2020).
21. Berhan, F.; Gebrehiwot, M.; Gizaw, Z. Workplace injury and associated factors among construction workers in Gondar town, Northwest Ethiopia. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2019**, 20, 523.
22. Leung, M.Y.; Chan, I.Y.S.; Cooper, C.L. *Stress Management in the Construction Industry*; John Wiley & Sons: West Sussex, UK, 2014; 1–27.
23. Statistics Bureau of Japan at Ministry of Internal Affairs and Communications Sites, Labour Force Survey. Available online: <https://www.stat.go.jp/english/data/roudou/index.html> (accessed on 7 Oct. 2020).
24. Al-Bouwarthan, M.; Quinn, M.M.; Kriebel, D.; Wegman, D.H. Assessment of Heat Stress Exposure among Construction Workers in the Hot Desert Climate of Saudi Arabia. *Ann. Work Expo. Health* **2019**, 63, 505–

520.

25. Hashiguchi, N.; Cao, J.; Lim, Y.; Kubota, Y.; Kitahara, S.; Ishida, S.; Kodama, K. The effects of psychological factors on perceptions of productivity in construction sites in Japan by worker age. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 3517.
26. Japan Construction Occupational Safety and Health Association, Occupational Accident Statistics, Occurrence of Fatal Accidents in the Construction Industry by Month (In Japanese). Available online: https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/statistics/month/index.html (accessed on 7 Oct. 2020).
27. Rother, H.A.; John, J.; Caradee, Y.; Wright, C.Y.; Irlam, J.; Oosthuizen, R.; Garland, R.M. Perceptions of Occupational Heat, Sun Exposure, and Health Risk Prevention: A Qualitative Study of Forestry Workers in South Africa. *Atmosphere* **2020**, *12*, 37.
28. 建設業及び建設工事従事者の現状－国土交通省, <http://www.mlit.go.jp/common/001180947.pdf> (Accessed 7 Oct. 2020).
29. Rožman, M.; Tominc, P.; Milfelner, B. A comparative study using two SEM techniques on different samples sizes for determining factors of older employee's motivation and satisfaction. *Sustainability* **2020**, *12*, 2189.
30. 建設業労働災害防止協会（建災防）建設業における死亡災害局別・月別発生状況 Available online: https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/statistics/month/index.html (Accessed 7 Oct. 2020).
31. Statistics Bureau of Japan. Labour force survey. (2020). Available online: <https://www.stat.go.jp/english/data/roudou/index.html> (accessed 7 August 2020).
32. Sokas, R.K.; Dong, X.S.; Cain, C.T. Building a Sustainable Construction Workforce. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 4202.
33. Calvo-Sotomayor, I.; Laka, J.P.; Aguado, R. Workforce Ageing and Labour Productivity in Europe. *Sustainability* **2019**, *11*, 5851.
34. みずほ総研論集 2007年II号 少子高齢化・人口減少時代に日本は成長を確保できるか <https://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/argument/mron0705-2.pdf> (Accessed 7 Oct. 2020).
35. Shashank, K., Supata, H., Kabin, D., & Nath, P. (2014). Analysis of key factors affecting variation of labour productivity in construction projects. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* **2014**, *4*, 152–160.

36. Kazaz, A.; Manisali, E.; Ulubeyli, S. Effect of basic motivational factors on construction workforce productivity in Turkey. *Journal of Civil Engineering and Management* **2008**, *14*, 95–106.
37. Lockwood, N. R. Motivation in today's workplace: The link to performance. *Society for Human Research Management Research Quarterly* **2010**, *2*, 1–9.
38. Franco, L. M.; Bennett, S.; Kanfer, R. Health sector reform and public sector health worker motivation: A conceptual framework. *Social Science and Medicine* **2002**, *54*, 1255–1266.
39. Caringal-Go, J. F.; Hechanova, M. R. Motivational needs and intent to stay of social enterprise workers. *Journal of Social Entrepreneurship* **2018**, *9*, 200–214.
40. Maslow, A. H. A theory of human motivation. *Psychological Review* **1943**, *50*, 370–396.
41. Herzberg, F. One more time: How do you motivate employees? *Harvard Business Review* **1968**, *46*, 53–62.
42. Deci, E. L., & Ryan, R. M. Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne* **2008**, *49*, 182–185.
43. Edrak, B. B., Yin-Fah, B. C., Gharleghi, B., & Seng, T. K. The effectiveness of intrinsic and extrinsic motivations: A study of Malaysian Amway Company's direct sales forces. *International Journal of Business and Social Science* **2013**, *4*, 96–103.
44. Ryan, R. M., & Deci, E. L. Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology* **2000**, *25*, 54–67.
45. Kasser, T.; Ryan, R. M. Be careful what you wish for: Optimal functioning and the relative attainment of intrinsic and extrinsic goals. In P. Schmuck, & K. M. Sheldon (Eds.), *Life Goals and Well-Being: Towards a Positive Psychology of Human Striving* **2001** (pp.116–131). Ashland, OH: Hogrefe & Huber.
46. Kuvaas, B., Buch, R., Weibel, A., Dysvik, A., Nerstad, C. Do intrinsic and extrinsic motivation relate differently to Employee outcomes? *Journal of Economic Psychology* **2017**, *61*, 244–258.
47. Lepper, M. R., & Henderlong, J. (2000) Turning “play” into “work” and “work” into “play”: 25 years of research on intrinsic versus extrinsic motivation. In C. Sansone, and J. M. Harackiewicz (Eds.), *Intrinsic and Extrinsic Motivation: The Search for Optimal Motivation and Performance* (pp.280–330). San Diego, CA: Academic Press.
48. Aghayeva, K., Ślusarczyk, B. Analytic hierarchy of motivating and demotivating factors affecting labor productivity in the construction industry: The case of Azerbaijan. *Sustainability* **2019**, *11*, 5975.

49. Mamychева, D. I.; Melnichuk, A. V.; Taranova, I. V.; Chernykh, A. I.; Gadzhieva, E. Y.; Ratiev, V. V. Instrumentation organizational and economic support of labor motivation of employees. *International Review of Management and Marketing* **2016**, 6, 142–147.
50. Apple Watch saves Brazilian man after heart alerts lead to life-threatening tachycardia diagnosis. Available online: <https://9to5mac.com/2020/01/09/apple-watch-tachycardia-jorge-freire-jr/> (accessed on 7 Oct. 2020).
51. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *European Heart Journal* **1996**, 17, 354–381.
52. Dörr, M.; Nohturfft, V.; Brasier, N.; Bosshard, E.; Djurdjevic, A. et al. The WATCH AF Trial: SmartWATCHes for Detection of Atrial Fibrillation. *JACC: Clinical Electrophysiology* 2019, 5(2), <https://electrophysiology.onlinejacc.org/content/5/2/199>
53. 総務省統計局 統計データ 労働力調査 労働力調査ミニトピックス No.21 Available on: <https://www.stat.go.jp/data/roudou/tsushin/pdf/no21.pdf> (Accessed 7 Nov. 2020).
54. 清瀬一善 「バブル世代」は本当に特殊な就業意識を持つのか *Works Review* **2015** 10, 64-75.
55. Karimi, H., Taylor, T. R. B., & Goodrum, P. M. Analysis of the impact of craft labour availability on North American construction project productivity and schedule performance. *Management and Economics* **2017**, 35, 368–380.
56. Yuan, J.; Yi, W.; Miao, M.; Zhang, L. Evaluating the impacts of health, social network and capital on craft efficiency and productivity: A case study of construction workers in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2018**, 15, 345.
57. Ricci, J.A.; Chee, E.; Lorandeanu, A.; Berger, J. Fatigue in the US workforce: prevalence and implications for lost productive work time, *J. Occup. Environ. Med* **2007**, 49, 1–10.
58. Abdelhamid, T.S.; Everett, J.G. Physiological demands during construction work, *J.Constr. Eng. Manag.***2002**, 128, 427–437.
59. Schwatka, N.V.; Butler, L.M.; Rosecrance, J.R. An aging workforce and injury in the construction industry, *Epidemiol* **2012**, 34, 156–167.
60. U.S. Dept. of Labor (1991), *The Revised Handbook for Analyzing Jobs*, U.S. Dept. of Labor, Employment and Training Administration, Washington, DC, (ISBN: 1-56370-051-4).

61. Karwowski, W. (2001) International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, CRC Press, Boca Raton, FL, (ISBN: 0-7484-0847-9).
62. Wilson, J.R.; Sharples, S. (2015) Evaluation of Human Work, CRC Press, Boca Raton, FL, (ISBN: 9780415267571).
63. Åstrand, P.O.; Rodahl, K.; Dahl, H.A.; Strømme, S. (2003) Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise, Human Kinetics, Champaign, IL, (ISBN: 0-7360-0140-9).
64. McCambridge, J.; Witton, J.; Elbourne, D.R. Systematic review of the Hawthorne effect: new concepts are needed to study research participation effects, *J. Clin. Epidemiol* **2014**, 67, 267–277.
65. Martin, P.E.; Rothstein, D.E.; Larish, D.D. Effects of age and physical activity status on the speed-aerobic demand relationship of walking, *J. Appl. Physiol* **1992**, 73, 200–206.
66. Gatti, U.C.; Migliaccio, G.C.; Bogus, S.M.; Schneider, S. An exploratory study of the relationship between construction workforce physical strain and task level productivity, *Constr. Manag. Econ* **2014**, 32, 548–564.
67. Lee, W.; Migliaccio, G.C. Physiological cost of concrete construction activities, *Constr. Innov.* **2016**, 16, 281–306.
68. Garet, M.; Boudet, G.; Montaurier, C.; Vermorel, M.; Coudert, J.; Chamoux, A. Estimating relative physical workload using heart rate monitoring: a validation by whole-body indirect calorimetry, *Eur. J. Appl. Physiol.* **2005**, 94, 46–53.
69. Lounana, J.; Champion, F.; Noakes, T.D.; Medelli, J. Relationship between %HRmax, % HR reserve, %VO2max, and %VO2 reserve in elite cyclists, *Med. Sci. Sports Exerc* **2007**, 39, 350–357.
70. Abdelhamid, T.S.; Everett, J.G. Physiological demands during construction work, *Journal of Construction Engineering and Management* **2002**, 128, 427–437.
71. Hills, A.P.; Mokhtar, N.; Byrne, N.M. Assessment of physical activity and energy expenditure: an overview of objective measures, *Frontiers in Nutrition* **2014**, 1, 1–16.
72. Panton, L. B. Graves, J.E. Pollock, M.L. Garzarella, L.; Carroll, J.F.; et al. Relative heart rate, heart rate reserve, and VO2 during submaximal exercise in the elderly, *J. Gerontol. Ser. A Biol. Med. Sci.* **1996**, 51, 165–171.
73. Ilmarinen, J. Job design for the aged with regard to decline in their maximal aerobic capacity: part I-

- guidelines for the practitioner, *Int. J. Ind. Ergon.* **1992**, 10, 53–63.
74. Shimaoka, M.; Hiruta, S.; Ono, Y.; Nonaka, H.; Hjelm, E.W.; et al. A comparative study of physical work load in Japanese and Swedish nursery school teachers, *Eur. J. Appl. Phys. Occu. Phys.* **1997**, 77, 10-18.
75. Borg, G. (1998) Borg's Perceived Exertion and Pain Scales, Human Kinetics, Champaign, IL, (ISBN: 0-88011-623-4)
76. Norton, K.; Norton, L.; Sadgrove, D. Position statement on physical activity and exercise intensity terminology, *J. Sci. Med. Sport.* **2010**, 13, 496–502.
77. E-Stat Portal Site of Official Statistics of Japan. Ministry of Internal Affairs. Labour Force Survey. 2018. Available online: <https://www.e-stat.go.jp/en/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200531&tstat=00000011000;1&cycle=7&tclass1=000001040276&tclass2=000001040283&tclass3=000001040284> (accessed on 7 Oct. 2020).
78. Ministry of Health, Labour and Welfare, Reference Materials, Statistics Data on Construction Labor. Available online: <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000123846.html> (accessed on 7 Oct. 2020).
79. 豊田秀樹(1998) 構造方程式モデリングによる分析 (入門編) – 構造方程式モデリング, 朝倉書店
80. 豊田秀樹(2014) 構造方程式モデリングによる分析[R編] – 構造方程式モデリング, 東京図書
81. 朝野熙彦、鈴木督久、小島隆矢(2005) 入門構造方程式モデリングによる分析の実際, 講談社
82. Chen, Y.; McCabe, B.; Hyatt, D. Impact of individual resilience and safety climate on safety performance and psychological stress of construction workers: A case study of the Ontario construction industry, *Journal of Safety Research* **2017**, 61, 167–176.
83. Steiger, J. H. A note on multiple sample extensions of the RMSEA fit index, *Structural Equation Modeling* **1998**, 5, 411-419.
84. L. G. Grimm, P. R. Yarnold, 小杉考司 (訳) 研究論文を読み解くための多変量解析入門 応用篇: SEMから生存分析まで (2016), 北大路書房
85. Zheng, W.; McLerran, D.F.; Rolland, B.; Zhang, X.; Inoue, M. et al. Association between Body-Mass Index and Risk of Death in More Than 1 Million Asians. *N. Engl. J. Med. Overseas Ed.* **2011**, 364, 719–729.
86. Tanaka, H.; Monahan, K.D.; Seals, D. Age-predicted maximal heart rate revisited, *J. Am. Coll. Cardiol.* **2001**, 37, 153–156.

87. Hayes, B.E.; Perander, J.; Smecko, T.; Trask, J. Measuring Perceptions of Workplace Safety. *J. Saf. Res.* **1998**, *29*, 145–161.
88. The 2011 Workplace Employment Relations Study: First Findings (Fourth Edition). Available online: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/34814/11-804-wers6-workplace-study-2011-survey-of-employees.pdf (accessed on 7 Oct. 2020).
89. Survey of Employees (SEQ): Sixth Workplace Employment Relations Study 2011 (WERS6). Available online: <https://www.gov.uk/government/publications/the-2011-workplace-employment-relations-studywers> (accessed on 7 Oct. 2020).
90. Eaves, S.; Gyi, D.; Gibb, A. Building healthy construction workers: Their views on health, wellbeing, and better workplace design. *Appl. Ergon.* **2016**, *54*, 10–18.
91. Greenland, P.; Daviglius, M.L.; Dyer, A.R.; Liu, K.; Huang, C.-F.; Goldberger, J.J.; Stamler, J. Resting heart rate is a risk factor for cardiovascular and noncardiovascular mortality: The Chicago Heart Association Detection Project in Industry. *Am. J. Epidemiol.* **1999**, *149*, 853–862.
92. Love, P.E.D.; Edwards, D.J. Taking the pulse of UK construction project managers' health. *Eng. Constr. Arch. Manag.* **2005**, *12*, 88–101.
93. Morioka, I.; Miyai, N.; Miyashita, K. Hot environment, and health problems of outdoor workers at a construction site. *Ind. Health* **2006**, *44*, 474–480.
94. Acharya, P.; Boggess, B.; Zhang, K. Assessing Heat Stress and Health among Construction Workers in a Changing Climate: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 247.
95. Hakro, S.; Jinshan, L. Workplace Employees' Annual Physical Checkup and During Hire on the Job to Increase Health-care Awareness Perception to Prevent Disease Risk: A Work for Policy-Implementable Option Globally. *Saf. Health Work.* **2018**, *10*, 132–140.
96. Aktepe, A.; Ersoz, S. A quantitative performance evaluation model based on a job satisfaction-performance matrix and application in a manufacturing company. *Int. J. Ind. Eng.* **2012**, *19*, 264–277.
97. Goetz, K.; Musselmann, B.; Szecsenyi, J.; Joos, S. The influence of workload and health behavior on job satisfaction of general practitioners. *Fam. Med.* **2013**, *45*, 95–101.
98. McLain, D.L. Responses to health and safety risk in the work environment. *Acad. Manag. J.* **1995**, *38*, 1726–1743.

99. Gyekye, S.A. Workers' Perceptions of Workplace Safety and Job Satisfaction. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* **2005**, 11, 291–302.
100. Kim, C.W.; McInerney, M.L.; Alexander, R.P. Job satisfaction as related to safety performance: A case for a manufacturing firm. *Coast. Bus. J.* **2002**, 1, 63–71.
101. Bergheim, K.; Nielsen, M.B.; Mearns, K.; Eid, J. The relationship between psychological capital, job satisfaction, and safety perceptions in the maritime industry. *Saf. Sci.* **2015**, 74, 27–36.
102. Aziri, B. Job satisfaction: A literature review. *Manag. Res. Pract.* **2011**, 3, 77–86.
103. Mullins, J.L. *Management and Organisational Behaviour*, 7th ed.; Pearson Education Limited: Harlow, UK, 2005.
104. Shevchuk, A.; Strebkov, D.; Davis, S.N. Skill mismatch and work–life conflict: The mediating role of job satisfaction. *J. Educ. Work.* **2019**, 32, 181–195.
105. Vieira, J.A.C. Skill mismatches and job satisfaction. *Econ. Lett.* **2005**, 89, 39–47.
106. Phonthanukitithaworn, C.; Naruetharadhol, P.; Ketkaew, C. Skill Development and Job Satisfaction: Workers' Perspectives in Thailand's Industrial Sector. *Knowl. Manag. Int. J.* **2017**, 17, 1–10.
106. Bos, J.T.; Donders, N.C.G.M.; Bouwman-Brouwer, K.M.; Van Der Gulden, J.W.J. Work characteristics and determinants of job satisfaction in four age groups: university employees' point of view. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **2009**, 82, 1249–1259.
107. International Labour Office. Report V–Skills for improved productivity, employment growth and development. In *International Labour Conference, 97th Session*; International Labour Office: Geneva, Switzerland, **2008**.
108. Abiodun, P.-C.M.; Kanda, J. Reaping just what is sown: Low- skills and low-productivity of informal economy workers and the skill acquisition process in developing countries. *Int. J. Educ. Dev.* **2017**, 56, 11–27.
109. Vänni, K.J.; Virtanen, P.; Luukkaala, T.; Nygård, C.-H. Relationship Between Perceived Work Ability and Productivity Loss. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* **2012**, 18, 299–309.
110. Baik, S.J.; Song, H.-D.; Hong, A.J. Craft Your Job and Get Engaged: Sustainable Change-Oriented Behavior at Work. *Sustainability* **2018**, 10, 4404.
111. Palei, S.K.; Das, S.K. Logistic regression model for prediction of roof fall risks in bord and pillar workings

- in coal mines: An approach. *Saf. Sci.* **2009**, 47, 88–96.
112. Bjerkan, A.M. Health, environment, safety culture and climate-analyzing the relationships to occupational accidents. *J. Risk Res.* **2010**, 13, 445–477.
113. Frone, M.R. Predictors of work injuries among employed adolescents. *J. Appl. Psychol.* **1998**, 83, 565-576.
114. Fay, D.; Frese, M. The Concept of Personal Initiative: An Overview of Validity Studies. *Hum. Perform.* **2001**, 14, 97–124.
115. Parker, S.K.; Williams, H.M.; Turner, N. Modeling the antecedents of proactive behavior at work. *J. Appl. Psychol.* **2006**, 91, 636–652.
116. Spychala, A.; Sonnentag, S. The dark and the bright sides of proactive work behaviour and situational constraints: Longitudinal relationships with task conflicts. *Eur. J. Work. Organ. Psychol.* **2011**, 20, 654-680.
117. Bindl, U.K.; Parker, S.K. Proactive work behavior: forward-thinking and change-oriented action in organizations. In *APA Handbooks in Psychology. APA Handbook of Industrial and Organizational Psychology, Selecting and Developing Members for the Organization*; Zedeck, S., Ed.; American Psychological Association: Washington, DC, USA, 2011; Volume 2, pp. 567–598.
118. Obakpolo, P. Improving interpersonal relationship in workplaces. *IOSR J. Res. Method Educ.* **2015**, 5, 115-125.
119. Kendall, D.L.; Salas, E. Measuring team performance: Review of current methods and consideration of future needs. *Sci. Simul. Hum. Perform.* **2004**, 5, 307–326.
120. Andersson, D.; Rankin, A.; Diptee, D. Approaches to team performance assessment: A comparison of self-assessment reports and behavioral observer scales. *Cogn. Technol. Work.* **2017**, 19, 517–528.
121. Brown, T.; Moore, M. (2012) Confirmatory factor analysis. In *Handbook of Structural Equation Modeling*; Hoyle, R.H., Ed.; Guilford Press: New York, NY, USA.
122. Islam, M.D.M.; Faniran, O.O. Structural equation model of project planning effectiveness. *Constr. Manag. Econ.* **2005**, 23, 215–223.
123. Doloi, H.; Iyer, K.; Sawhney, A. Structural equation model for assessing impacts of contractor's performance on project success. *Int. J. Proj. Manag.* **2011**, 29, 687–695.
124. Fornell, C.; Larcker, D.F. Evaluating structural equation models with unobservable variables and

measurement error. *J. Mark. Res.* **1981**, 18, 39–50.

125. Pallant, J. *SPSS Survival Manual*; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA, **2013**.
126. Hair, J.F.; Hult, G.T.M.; Ringle, C.M.; Sarstedt, M. *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling*, 2nd ed.; SAGE Publications: New York, NY, USA, **2017**.
127. Hair, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. *Multivariate Data Analysis*; Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2006; Volume 6.
128. Wu, X.; Yin, W.; Wu, C.; Luo, X. The Spillover Effects on Employees' Life of Construction Enterprises' Safety Climate. *Sustainability* **2017**, 9, 2060.
129. Ong, T.F.; Musa, G. Examining the influences of experience, personality and attitude on SCUBA divers' underwater behaviour: A structural equation model. *Tour. Manag.* **2012**, 33, 1521–1534.
130. Cooney, M.T.; Vartiainen, E.; Laakitainen, T.; Juolevi, A.; Dudina, A.; Graham, I.M. Elevated resting heart rate is an independent risk factor for cardiovascular disease in healthy men and women. *Am. Hear. J.* **2010**, 159, 612–619.
131. Liira, J.; Matikainen, E.; Leino-Arjas, P.; Malmivaara, A.; Mutanen, P.; Rytönen, H.; Juntunen, J. Work ability of middle-aged Finnish construction workers—A follow-up study in 1991–1995. *Int. J. Ind. Ergon.* **2000**, 25, 477–481.
132. Imarinen, J.; Tuomi, K.; Klockars, M. Changes in the work ability of active employees over an 11-year period. *Scand. J. Work. Environ. Health* **1997**, 23, 49–57.
133. Berg, T.I.J.V.D.; Alavinia, M.; Bredt, F.J.; Lindeboom, D.; Elders, L.A.M.; Burdorf, A. The influence of psychosocial factors at work and lifestyle on health and work ability among professional workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Heal.* **2008**, 81, 1029–1036.
134. Crawford, J.; Graveling, R.A.; Cowie, H.A.; Dixon, K. The health safety and health promotion needs of older workers. *Occup. Med.* **2010**, 60, 184–192.
135. Van Dalen, H.P.; Henkens, K.; Schippers, J. Productivity of older workers: Perceptions of employers and employees. *Popul. Dev. Rev.* **2010**, 36, 309–330.
136. Spector, P. E. (1997) *Job Satisfaction: Application, Assessment, Causes and Consequences* (pp. 8–10). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
137. Department for Business Innovations and Skills. 2011 Workplace employment relations study (2011).

Available

online:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/34814/11-804-wers6-workplace-study-2011-survey-of-employees.pdf (accessed on 7 Oct. 2020).

138. Department for Business, Energy and Industrial Strategy. The 2011 Workplace Employment Relations Study (WERS). (2014). Available online: <https://www.gov.uk/government/publications/the-2011-workplace-employmentrelations-study-wers> (accessed on 7 Oct 2020).
139. Yperen, N. W. V.; Wortler, B.; Jonge, K. K. M. Workers' intrinsic work motivation when job demands are high: The role of need for autonomy and perceived opportunity for blended working. *Computers in Human Behavior* **2016**, *60*, 179–184.
140. Huang, W. Y.; Hsu, C. C. Research on the motivation and attitude of college students' physical education in Taiwan. *Journal of Physical Education and Sport* **2019**, *19*, 69–79.
141. Cuberos, R. C.; Ortega, F. Z.; Molero, P. P.; Knox, E.; Bolados, C. C.; Garofano, V. V.; & Molina, J. J. M. Relationship between healthy habits and perceived motivational climate in sport among university students: A structural equation model. *Sustainability* **2018**, *10*, 938.
142. Kim, M., & Beehr, T. A. Challenge and hindrance demands lead to employees' health and behaviours through intrinsic motivation. *Stress and Health* **2018**, *34*, 1–12.
143. Dagenais-Desmarais, V.; Leclerc J. S.; Londei-Shortall, J. The relationship between employee motivation and psychological health at work: A chicken-and-egg situation? *Work and Stress* **2018**, *32*, 147-167.
144. Gerber, M.; Puhse, U. Review article: Do exercise and fitness protect against stress-induced health complaints? A review of the literature. *Scandinavian Journal of Public Health* **2009**, *37*, 801–819.
145. Hee, O. C.; Kamaludin, N. H.; Ping, L. L. Motivation and job performance among nurses in the health tourism hospital in Malaysia. *International Review of Management and Marketing* **2016**, *6*, 668–672.
146. Ohrnberger, J.; Fichera, E.; Sutton, M. The dynamics of physical and mental health in the older population. *The Journal of the Economics of Ageing* **2017**, *9*, 52–62.
147. Gerber, M.; Puhse, U. Review article: Do exercise and fitness protect against stress-induced health complaints? A review of the literature. *Scandinavian Journal of Public Health* **2009**, *37*, 801–819.
148. Bos, J. T., Donders, N. C. G. M., Bouwman-Brouwer, K. M., & van der Gulden, J. W. J. Work characteristics and determinants of job satisfaction in four age groups: University employees' point of

- view. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **2009**, 82, 1249–1259.
149. Kuranchie-Mensah, E. B.; Amponsah-Tawiah, K. Employee motivation and work performance: A comparative study of mining companies in Ghana. *Journal of Industrial Engineering and Management* **2016**, 9, 255–309.
150. Cardoso, P.; Dominguez, C.; Paiva, A. Hints to improve motivation in construction companies. *Procedia Computer Science* **2015**, 64, 1200–1207.
151. Kaufmann, N.; Schulze, T. More than fun and money. Worker motivation in crowdsourcing – A study on mechanical Turk. In *Proceedings of the Seventeenth Americas Conference on Information Systems* **2011**. Atlanta, GA: Association for Information Systems.
152. Feibel, A.; Peter, R.; Swart, E.; March, S. Developing an extended model of the relation between work motivation and health as affected by the work ability as part of a corporate age management approach. *International Journal of Environments Research and Public Health* **2018**, 15, 779.
153. Kase, R.; Saksida, T.; Miheli, K. K. Skill development in reverse mentoring: Motivational processes of mentors and learners. *Human Resource Management* **2018**, 58, 57–69.
154. Hartmann, A. The role of organizational culture in motivating innovative behaviour in construction firms. *Construction Innovation* **2006**, 6, 159–172.
155. Kanungo, R., & Mendonca, M. (1994). Introduction: Motivational models in developing countries. In R. Kanungo, & M. Mendonca (Eds.), *Work Motivation: Models for Developing Countries* (pp. 14–26). New Delhi: Sage Publications.
156. Hasan, A.; Baroudi, S.; Elmualim, A. Rameezdeen, R. Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management* **2018**, 25, 916-937.
158. Dougan, G.; Thomas, A. M.; Christina G. C. Generational difference: An examination of work values and generational gaps in the hospitality workforce. *International Journal of Hospitality Management* **2008**, 27, 448–458.
159. Santos, S.; Cox, K. Workplace adjustment and intergenerational differences between matures, boomers, and Xers. *Nursing Economics* **2000**, 18, 7–13.
160. Hammill, G. (2005). Mixing and managing four generations of employees. *FDU Magazine Online*, Winter/Spring, <https://portal.fdu.edu/newspubs/magazine/05ws/generations.htm>

161. Dougan, G.; Thomas, A. M.; Christina G. C. Generational difference: An examination of work values and generational gaps in the hospitality workforce. *International Journal of Hospitality Management* **2008**, *27*, 448–458.
162. Detsimas, N.; Coffey, V.; Sadiqi, Z.; Li, M. Workplace training and generic and technical skill development in the Australian construction industry. *Journal of Management Development* **2016**, *35*, 486–504.
163. Tabassi, A. A.; Ramli, M.; Bakar, A. H. A. Effects of training and motivation practices on teamwork improvement and task efficiency: The case of construction firms. *International Journal of Project Management* **2012**, *30*, 213–224.
164. Mittal, A.; Dhiman, R.; Lamba, P. Skill mapping for blue-collar employees and organisational performance: A qualitative assessment. *Benchmarking: An International Journal* **2019**, *26*, 1255–1274.
165. Khan, M. I. The impact of training and motivation on performance of employees. *Business Review* **2010**, *7*, 84–95.
166. International Labour Office. (2008). Report V – Skills for improved productivity, employment growth and development. Geneva, Switzerland: International Labour Office.
167. Turner, A. How does intrinsic and extrinsic motivation drive performance culture in organizations? *Cogent Education* **2017**, *4*, 1337543.
168. Shahzadi, I.; Pirzada, S. S.; Nasreen, S.; Khanam, F. Impact of employee motivation on employee performance. *European Journal of Management and Business Economics* **2014**, *6*, 159–166.
169. Ghoddousi, P.; Bahrami, N.; Chileshe, N.; Hosseini, M. R. Mapping site based construction workers' motivation: Expectancy theory approach. *Australasian Journal of Construction Economics and Building* **2014**, *14*, 60–77.
170. Al-Abbadi, M. G.; Agyekum-Mensah, G. The effects of motivational factors on construction professionals productivity in Jordan. *International Journal of Construction Management* **2019**.
171. Manolopoulos, D. An evaluation of employee motivation in the extended public sector in Greece. *Employee Relations* **2008**, *30*, 63–85.
172. Aydin, A. Impact of performance appraisal on employee motivation and productivity in Turkish forest products industry: A structural equation modeling analysis. *Drvna Industrija*, **2018**, *69*, 101–111.

173. Yoon, H. J.; Sung, S. Y.; Choi, J. N.; Lee, K.; Kim, S. Tangible and intangible rewards and employee creativity: The mediating role of situational extrinsic motivation. *Creativity Research Journal* **2005**, *27*, 383–393.
174. Barg, J. E.; Ruparathna, R.; Mendis, D.; Hewage, K. N. Motivating workers in construction. *Journal of Construction Engineering* **2014**, 703084.
175. Inceoglu, I.; Segers, J.; Bartram, D. Age-related differences in work motivation. *Journal of Occupational and Organizational Psychology* **2012**, *85*, 300–329.
176. Mickel, A. E.; Barron, L. A. Getting “more bang for the buck” symbolic value of monetary rewards in organizations. *Journal of Management Inquiry* **2008**, *17*, 329–338.
177. Hornby, P., & Sidney, E. (1998). Motivation and health service performance. WHO/EDUC/88-196. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
178. Karatepe, O. M. High-performance work practices and hotel employee performance: The mediation of work engagement. *International Journal of Hospitality Management* **2013**, *32*, 132–140.
179. van Beek, I.; Hu, Q.; Schaufeli, W. B.; Taris, T. W.; Schreurs, B. H. J. For fun, love, or money: What drives workaholic engaged and burned-out employees at work? *Applied Psychology* **2012**, *61*, 30–55.
180. Putra, E. D.; Cho, S.; Liu, J. Extrinsic and intrinsic motivation on work engagement in the hospitality industry: Test of motivation crowding theory. *Tourism and Hospitality Research* **2015**, *17*, 228–241.
181. Deci, E. L.; Koestner, R.; Ryan, R. M. A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological Bulletin* **1999**, *125*, 627–668.
182. Frey, B. S.; Jegen, R. Motivation crowding theory. *Journal of Economic Surveys* **2001**, *15*, 589–611.
183. Cameron, J.; Pierce, W. D. Reinforcement reward and intrinsic motivation: A meta-analysis. *Review of Educational Research* **1994**, *64*, 363–423.
184. Eisenberger, R.; Cameron, J. Detrimental effects of reward: Reality or myth? *American Psychologist* **1996**, *51*, 1153–1166.
185. Vänni, K. J.; Virtanen, P.; Luukkaala, T.; Nygård, C.-H. Relationship between perceived work ability and productivity loss. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* **2012**, *18*, 299-309.
186. Nyambegera, S. M.; Gicheru, C. N. Extrinsic and intrinsic factors influencing employee motivation: Lessons from AMREF Health Africa in Kenya. *International Journal of Business and Social Research* **2016**,

6, 20–31.

187. Fredrickson, B. L. The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. *American Psychologist* **2001**, *56*, 218–226.
188. Nadler, R. T.; Rabi, R.; Minda, J. P. Better mood and better performance: Learning ruledescribed categories is enhanced by positive mood. *Psychological Science* **2010**, *21*, 1770–1776.
189. Adair, J.G. The Hawthorne effect: A reconsideration of the methodological artifact. *J. Appl. Psychol.* **1984**, *69*, 334–345.
190. Zhang, Y.; Song, S.; Vullings, R.; Dwaipayan Biswas, D. et al. Motion Artifact Reduction for Wrist-Worn Photoplethysmograph Sensors Based on Different Wavelengths 2019, *Sensors*, *19*, 673.
191. Parsons, K. Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application. *Ind. Health* **2006**, *44*, 368–379.
192. Agresti, A. (2007) *An Introduction to Categorical Data Analysis*; John Wiley and Sons: New Jersey, NJ, USA, pp.99–136.
193. Hosmer, D.W.; Lemeshow, S. (2000) *Applied Logistic Regression*; John Wiley and Sons: New York, NY, USA.
194. Daoud, J. Multicollinearity and Regression Analysis. *J. Phys. Conf. Ser.* **2017**, *949*, 012009.
195. Onder, S.; Mutle, M. Analyses of non-fatal accidents in an opencast mine by logistic regression model— A case study. *Int. J. Inj. Control Saf. Promot.* **2017**, *24*, 328–337.
196. Uh, H.W.; Mertens, B. J.; Wijk, J. H.; Houwelingen, H.C.; Houwing-Duistermaat, J. Model selection based on logistic regression in a highly correlated candidate gene region. *BMC Proc.* **2007**, *1*, S114.
197. Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman, J. (2001) *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* New York; Springer: Berlin, Germany.
198. Smith, T.J.; Cornelius McKenna, C.M. A Comparison of Logistic Regression Pseudo R Indices. *Mathematics* **2013**, *39*, 17–26.
199. Bewick, V.; Cheek, L.; Ball, J. Statistics review 14: Logistic regression. *Crit. Care* **2005**, *9*, 112–118.
200. Mbach, H.I.; Nduka, E.C.; Nja, M.E. Designing a Pseudo R-Squared Goodness-of-Fit Measure in Generalized Linear Models. *J. Math. Res.* **2012**, *4*, 148–154.
201. Hammert, G.A.J.; Schons, L.M.; Wieseke, J.; Schimmelpfennig, H. Log-likelihood-based Pseudo-R² in Logistic Regression: Deriving Sample-sensitive Benchmarks. *Sociol. Methods Res.* **2016**, *4*, 507–531.

202. Guo, H.; Yu, Y.; Xiang, T.; Li, H.; Zhang, D. The availability of wearable-device-based physical data for the measurement of construction workers' psychological status on site: From the perspective of safety management. *Autom. Constr.* **2017**, *82*, 207–217.
203. Nagelkerke, N.J.D. A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika* **1991**, *78*, 691–692.
204. Lee, W.; Lin, K.; Seto, E.; Migliaccio, G.C. Wearable sensors for monitoring on-duty and off-duty worker physiological status and activities in construction. *Autom. Constr.* **2017**, *83*, 341–353.
205. Matsuura, H.; Mukaino, M.; Otaka, Y.; Kagaya, H.; Aoshima, et al. Validity of simplified, calibration-less exercise intensity measurement using resting heart rate during sleep: A method-comparison study with respiratory gas analysis. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* **2019**, *11*, 27
206. She, J.; Nakamura, H.; Makino, K.; Ohyama, Y.; Hashimoto, H. Selection of Suitable Maximum-heart-rate Formulas for Use with Karvonen Formula to Calculate Exercise Intensity. *IJAC* **2015**, *12*, 62–69.
207. Lounana, J.; Campion, F.; Noakes, T.D.; Medelli, J. Relationship between %HRmax, %HR Reserve, %VO₂max, and %VO₂ reserve in elite cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2007**, *39*, 350–357.
208. Buller, M.J.; Latzka, W.A.; Yokota, M.; Tharion, W.J.; Moran, D.S. A real-time heat strain risk classifier using heart rate and skin temperature. *Physiol. Meas.* **2008**, *29*, 79–85.
209. Miller, V.S.; Bates, G.P. The Thermal Work Limit Is a Simple Reliable Heat Index for the Protection of Workers in Thermally Stressful Environments. *Ann. Occup. Hyg.* **2007**, *51*, 553–561.
210. Yeheyis, M.; Reza, B.; Hewage, K.; Ruwanpura, J. Y.; Sadiq, R. Evaluation motivation of construction workers – A comparison of fuzzy rule based model with the traditional expectancy theory. *Journal of Civil Engineering and Management* **2016**, *22*, 862–873.
211. Brandenburg, S.G.; Haas, C.T.; Byrom, K. Strategic Management of Human Resources in Construction. *Journal of Management in Engineering* **2006**, *22*.
212. Tabassi, A.A.; Baker, A.H.A. Training, motivation, and performance: The case of human resource management in construction projects in Mashhad, Iran. *IJPM* **2009**, *27*, 471–480.
213. Siew, R. Human Resource Management in the Construction -Industry Sustainability Competencies. *AJCEB* **2014**, *14*, 87–103.
214. Hsu, S.H.; Lee, C.-C.; Wu, M.-C.; Takano, K. A cross-cultural study of organizational factors on safety:

- Japanese vs. Taiwanese oil refinery plants. *Accid. Anal. Prev.* **2008**, 40, 24–34.
215. Arditi, D.; Gunaydin, H.M. Total quality management in the construction process. *Int. J. Proj. Manag.* **1997**, 15, 235–243.
216. Caballero, Y.; Ando, T.J.; Nakae, S.; Usui, C.; Aoyama, T.; Nakanishi, M.; Nagayoshi, S.; Fujiwara, Y.; Tanaka, S. Simple Prediction of Metabolic Equivalents of Daily Activities Using Heart Rate Monitor without Calibration of Individuals. *IJERPH* **2014**, 11, 5333–5348.
217. Nakanishi, M.; Izumi, S.; Nagayoshi, S.; Kawaguchi, H.; Yoshimoto, M.; Shiga, T.; Ando, T.; Nakae, S.; Usui, C.; Aoyama, T.; et al. Estimating metabolic equivalents for activities in daily life using acceleration and heart rate in wearable devices. *Biomed. Eng. Online* **2018**, 17, 100.

付録資料

付録1. 建設労働者の仕事意識に関するアンケート

建設労働者への意識アンケート内容を以下に示す。質問に【記述回答】と記載したものは直接記述してもらい、その他は5段階リッカート尺度にて回答を得た。

【問1】あなたの年齢、身長、体重、性別、職位を教えてください。【記述回答】

【問2】あなたの現在の職種、その職種の実務経験の年数を教えてください。【記述回答】

【問3】あなたの安静時の心拍数を教えてください。

1. ~69回/分 2. 70~79回/分 3. 80~89回/分 4. 90~99回/分以上 5. 100回/分以上

【問4】WS1：私は仕事のための専門スキルを持っています。

【問5】WS2：私は仕事の装置や道具を使用することに熟練しています。

【問6】WS3：私は仕事の能力を持っています。

【問7】FS1：会社は労働環境の安全を考慮しています。

【問8】FS2：会社は職場の環境温度に考慮しています。

【問9】FS3：私は睡眠や休養が取れています。

【問10】JS1：私は仕事において自信があります。

【問11】JS2：私は会社や上司から評価されています。

【問12】JS3：私は健康的に仕事に取り組んでいます。

【問13】TP1：仕事において、上司や同僚の支援は重要です。

【問14】TP2：仕事において、上司や同僚と共感することは重要です。

【問15】TP3：上司や同僚と協力して仕事をすることは重要です。

【問16】TP4：周囲とのコミュニケーションは重要です。

【問17】PWB1：私は仕事において自分の強みを持っています。

【問18】PWB2：私は仕事に対して意欲的に取り組んでいます。

【問19】PWB3：私は仕事のプレッシャーを受けても普段通り働きます。

【問20】PWB4：私は道徳的なことを意識して働いています。

付録2. 建設労働者の動機付けに関するアンケート

建設労働者への動機付けのアンケート内容を以下に示す。質問に【記述回答】と記載したものは直接記述をしてもらい、その他は5段階リッカート尺度にて回答を得た。

【問1】あなたの年齢、身長、体重、性別、職位を教えてください。【記述回答】

【問2】あなたの現在の職種、その職種の実務経験の年数を教えてください。【記述回答】

【問3】あなたの安静時の心拍数を教えてください。

1. ~69回/分 2. 70~79回/分 3. 80~89回/分 4. 90~99回/分以上 5. 100回/分以上

【問4】WS1：私は仕事の専門スキルを持っています。

【問5】WS2：私は仕事の装置や道具を使用することに熟練しています。

【問6】WS3：私は仕事の能力を持っています。

【問7】WS4：私は仕事の経験があります。

【問8】WIM1：私は今の仕事をすることが楽しい。

【問9】WIM2：私は働くことを楽しんでいます。

【問10】WIM3：私は仕事に誇りを持っています。

【問11】WIM4：私は働くことに喜びを感じます。

【問12】WEM1：私は昇進の機会があります。

【問13】WEM2：私は会社や上司から評価されています。

【問14】WEM3：私は報酬（収入）に満足しています。

【問15】WEM4：私は労働環境の安全に満足しています。

【問16】WEM5：私は仕事でプレッシャーを受けても普段通り働けます。

【問17】WEM6：私は計画的な仕事に満足している。

【問18】TP1：仕事において、上司や同僚の支援は重要です。

【問19】TP2：仕事において、上司や同僚と共感することは重要です。

【問20】TP3：上司や同僚と協力して仕事をすることは重要です。

【問21】TP4：周囲とのコミュニケーションは重要です。

【問22】TP5：私は仕事の納期に間に合わせて働きます。

付録 3.

構造方程式モデリングの分析、評価で用いた R 言語の各コマンドを以下に記述する。

- 必要な library の読み込み

```
library(lavaan)      …SEM では必須
```

```
library(sem)        …SEM では必須
```

```
library(psych)      …因子分析用
```

```
library(semPlot)    …パス図描画用
```

```
library(MASS)       …ファイル出力
```

- 先頭行、先頭列の読み飛ばしによる CSV データの読み込み

```
X.MAR1 <- read.csv("分析対象ファイル名", header=T, row.names=1)
```

- モデル (model_name) にて CSV (X.MAR1) を完全最尤推定で SEM 分析する場合

```
Fit_model_name.MAR1.FIML <- sem(model=model_name, data=X.MAR1,  
                                missing="fiml")
```

- 標準化推定値の表示

```
standardizedsolution(object=fit_model11dd.MAR1.FIML)
```

- 適合度指標、標準誤差、母数検定、信頼区間の表示

```
summary(object=fi_model11dd.MAR1, fitmeasure=TRUE)
```

- semPlot によるパス図表示

```
semPathes(object=fit_model_name.MAR1,whatLabels="stand",label.cex=**,sizeLat=5.  
           0,style="lisrel",ncharNodes=4 )
```
