

厚生労働省科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
陸上貨物運送業を対象とした Minds 参照型腰痛予防対策ガイドラインの策定と
予防対策の普及実装の推進
分担研究報告書

陸上貨物運送業における荷物取扱い作業の腰痛リスク評価のための
デジタルヘルステクノロジーの開発に関する研究

研究分担者 平内 和樹 （独）労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 主任研究員
研究分担者 瀬尾 明彦 東京都立大学システムデザイン学部 客員研究員

研究要旨

陸上貨物運送業における業務上腰痛の予防対策を社会実装するためには、現場の作業
者や管理者が容易に活用できるデジタルヘルステクノロジー（DHT）の構築が不可欠であ
る。本研究では、昨年度開発した荷物取扱い作業のリスク評価アプリに対してコンソーシ
アム等で指摘された「数値や運用方法が難解である」という課題を解決するとともに、作
業者の骨格特性（骨盤固有角：PI）に応じたテーラーメイド型介入を実現するための新た
な DHT ツールの開発を行った。

昨年度開発した荷物取扱い作業腰痛リスク評価アプリのユーザーインターフェース
（UI）を大幅に簡略化し、評価値を推奨質量上限（Recommended Weight Limit, RWL）
と腰痛リスク指標である持ち上げ指数（Lifting Index, LI）に絞り込んだ簡易版を構築し
た。RWL と LI だけでは、作業改善へ繋げることが難しいため、RWL 計算に用いた各乗
数のグラフ表示機能も追加した。加えて、導入促進のための動画マニュアルも作成した。

次に、スマートフォン等で簡易に PI を測定するための「PIE（骨盤固有角 PI 評価）ア
プリ」を新規に開発した。本アプリでは、画像処理ライブラリ（OpenCV）の Canny 法
を用いたエッジ検出により、臀部後縁の位置を実測ベースで抽出するアルゴリズムを導
入した。さらに、撮影画像に応じたエッジ検出の閾値を自動スキャンし、Hip-Knee Line
（HKL）角が一定値となる最適なパラメータを算出する自動調整機能を実装した。

これらの開発により、現場での腰痛リスク認知を促す簡易版評価アプリと、個人の解剖
学的特性をマルチデバイスで評価可能な PIE アプリの実装を達成した。

A. 研究目的

陸上貨物運送業（以下、運送業）における業務上腰痛の発生率は、全業種平均と比較して極めて高く、労働安全衛生上の喫緊の課題となっている。腰痛リスクの低減には、作業環境に基づいたリスクアセスメントとそれに基づく人間工学的対策が不可欠である。近年では姿勢推定アルゴリズムを応用することで、これらの評価をモバイルデバイスでも実行可能にするようなデジタルヘルステクノロジー（DHT）を活用した簡便な評価手法の開発が期待されている。

昨年度の研究において、我々はBlazePose¹⁾を用いた荷物取扱作業のリスク評価Webアプリケーションを開発した（図1）。しかし、産官学連携コンソーシアムのワークショップにおける現場担当者か

らのフィードバックでは、「数値が分かりにくく現場で危険性を認識しにくい」、「1つ1つの姿勢を個別に評価する運用のイメージが持てない」といった、社会実装における実用上の課題が明確となった。

一方で、骨盤固有角（Pelvic Incidence: PI）²⁾に着目した別の研究班の成果により、個人の骨格特性が荷物持ち上げ時の姿勢戦略に顕著な影響を与えることが明らかとなった。PIの大小に応じた個別最適化（テーラーメイド型）の動作指導は、一律の「正しい姿勢」の強要よりも有効である可能性が高いことが示唆されている。一方で、PIを簡易的に推定するアルゴリズムは提案されている³⁾ものの、モバイルデバイスでの評価についてはまだ十分に検討されていない。

以上の背景を踏まえ、本年度の研究では、

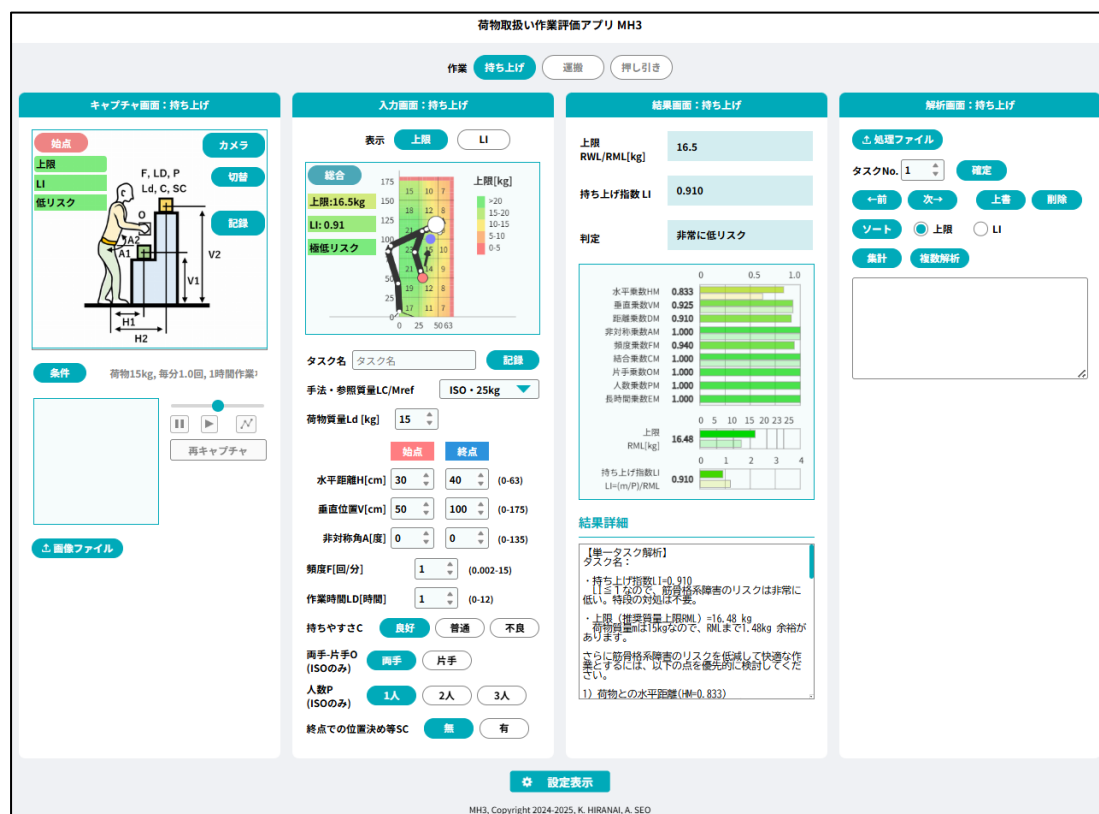


図1. 腰痛リスク評価アプリケーション（フル機能版）

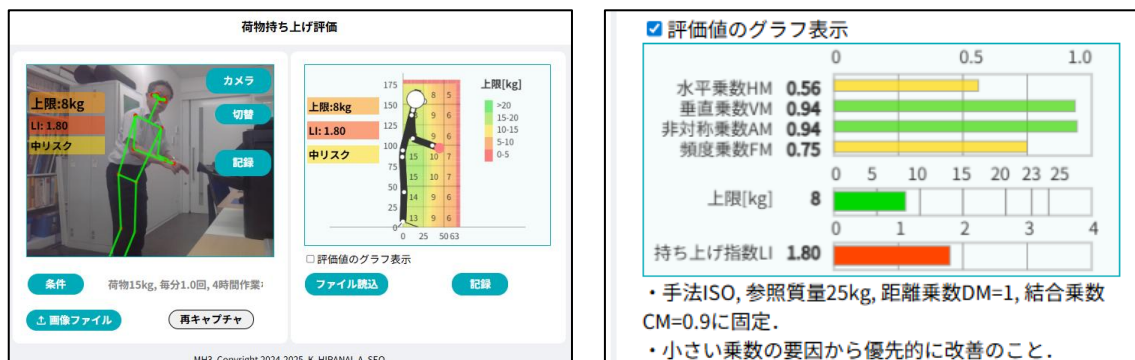


図 2. 腰痛リスク評価アプリケーション（簡易版）

※評価値のグラフ表示のチェックボックスを入れることで右のグラフが表示される。

DHT を用いた腰痛リスクアセスメントツールを拡充させることを目的とし、以下の2点の開発に取り組んだ。はじめに、現場での直感的な操作とリスク認知を可能にするため、評価指標を推奨質量上限（Recommended Weight Limit, LI）と持ち上げ指数（Lifting Index, LI）に絞り込んだ「荷物取扱い作業評価アプリ（簡易版）」の開発、および導入を促進するための動画マニュアルの整備を行った。次に、画像処理ライブラリ（OpenCV）によるエッジ検出アルゴリズムを実装し、カメラ画像から臀部後縁の位置を実測ベースで自動推定する「PIE（骨盤固有角 PI 評価）アプリ」を開発した。これらの開発により、現場主導での腰痛リスク評価と、個人の骨格特性に応じたテーラーメイド型介入を両立させる、実効性の高い腰痛予防支援システムの構築を目指す。

B. 荷物取扱い作業評価アプリの簡易化およびマニュアル整備

昨年度開発した荷物取扱い作業評価アプリ（フル機能版）に対し、産官学連携コンソーシアムでのワークショップ等で得られた

「現場での運用が困難である」との意見および「数値が分かりにくい」との懸念点を踏まえ、以下の改良を実施した。

ユーザーインターフェース (UI) の簡略化:

現場での迅速な評価を可能にするため、図2に示すようなカメラキャプチャを中心とした画面構成に変更し、表示する評価値を上限値（RWL）および LI に絞り込んだ簡易版アプリを構築した。

改善支援機能の追加:

上限値の提示のみでは具体的な改善策の立案が困難であるため、評価値算出の根拠となる一部の乗数（水平距離、垂直距離など）をグラフ表示する機能を実装し、優先的に改善すべき要因を視覚的に把握可能とした。

教育用動画マニュアルの作成:

アプリの操作方法およびリスク評価の考え方を周知するため、8 ページ、7 分間の動画マニュアルを作成し、Web サイト上に公開した。

C. 骨盤固有角 (PI) 推定アプリケーション (PIE アプリ) の開発

個人の骨格特性に応じたテーラーメイド型介入を実現するため、スマートフォン等の汎用デバイスで骨盤固有角 (Pelvic Incidence: PI) を簡易に測定可能な Web アプリケーション (以下、PIE アプリ) を開発した。

推定アルゴリズム：

BlazePose で取得した関節座標と画像処理ライブラリである OpenCV を用いた実測ベースの推定手法を導入した。具体的には、Canny 法によるエッジ検出 (Canny edge detection) を用いて、股関節から臀部方向へのエッジ探索および平滑化処理を行い、最も後方に位置する臀部後縁座標を抽出す

るアルゴリズムを実装した。

基準点の設定と判定ロジック：

3 点の基準点のうち、膝関節および股関節位置については、従来通り BlazePose による推定値を使用した。抽出された 3 点の位置関係から、Hip-Knee Line (HKL) 角を算出し、PI の程度を 3 段階 (小、中、大) で自動判定する機能を実装した。

エッジ検出の最適化機能：

エッジ検出のパラメータ (閾値) を自動的に最適化する機能を実装し、閾値を 10 から 300 の間でスキャンすることで HKL 角が一定値となる箇所を求める自動調整を実現した。これにより、ユーザーによる煩雑な手動調整を排した測定が可能となった。

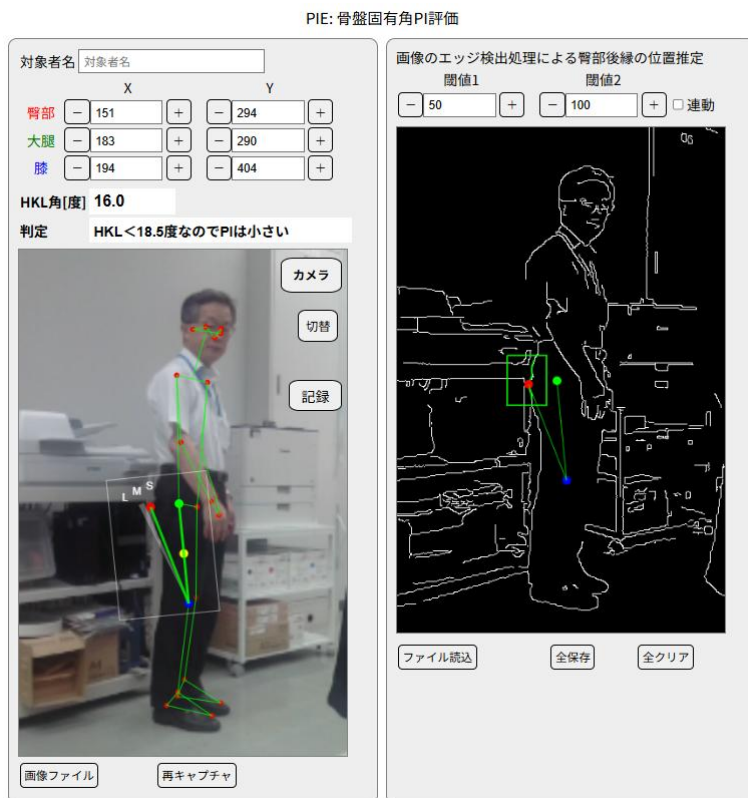


図 3. 骨盤固有角推定アプリ (PIE)

システム構成と動作環境：

現場での多様なデバイス利用を想定し、JavaScript を用いた Web アプリケーション形式を採用した。OpenCV および BlazePose の学習済みモデルをブラウザ上で実行することで、PC のみならず、スマートフォンやタブレットでの動作を可能とした。

実証実験：

実証の結果、静止画およびカメラ画像から HKL 角（例：18.6 度や 20.9 度）を算出し、それに基づいた PI の程度（小、中、程度など）の自動判定が可能であることを確認した。

D. 本年度の成果まとめ

本年度の研究では、産学官連携コンソーシアムでの指摘を受けた荷物取扱い作業評価アプリの改良と、PI の計測に基づくテーラーメード型腰痛予防対策の推進を図るためのアプリの新規開発を行った。

まず、荷物取扱い作業評価アプリの簡易化については、コンソーシアムでの現場担当者の反応を踏まえて、数値を最小限(RWL と LI) とした。ただし、作業改善への議論へとスムーズに移行するために、乗数のグラフ表示機能はフル機能版からそのまま残すこととした。これにより、簡易版アプリによる即時のリスク把握と、フル機能版を用いた詳細なリスク評価と改善策の検討という 2 つの場面で利用できる腰痛リスク評価アプリの基盤を構築した。

次に、新規開発した PIE アプリは、BlazePose と OpenCV のエッジ検出を用いることで、モバイルデバイスで PI を簡易的

に測定することを可能にした。これにより、個人の解剖学的特性を考慮したテーラーメード型の腰痛予防対策が現場で利用しやすくなると期待される。閾値の自動調整機能の実装により、画像鮮明度の差異による測定誤差を最小限に抑えることができ、専門知識を持たない現場担当者による測定を支援することができると考えられる。

以上の通り、本年度の開発により、作業環境の条件による腰痛リスクと、個人の解剖学的特性の把握を現場レベルで簡易に測定する基盤を構築することができた。一方で、簡易測定のレベルでは姿勢推定アルゴリズム特有の推定誤差による評価リスクの精度や、繰り返し測定を行うと推定間の誤差により評価結果が異なるなどの課題がある。現場で運用を進めるためには、これらのアルゴリズムの限界について周知することが必要である。また、新規開発した PIE についてもまだ十分に妥当性が検討されているとは言えない。今後は、より多くのサンプルデータを収集し、専門医等による目検判定値（真値）との比較を通じて、自動推定値の精度および安定性を検証する必要がある。

E. 研究発表

1. 発表論文

該当無し

2. 学会発表

平内和樹，瀬尾明彦（2025）姿勢推定アルゴリズムを応用した簡易腰痛リスク評価アプリケーションの開発，第 66 回日本人間工学会シンポジウム「日本人間工学会が挑む腰痛予防の新たなカタチ」～Minds 参照型予防対策ガイドラインの策定と普及実装

～”，日本人間工学会第 66 回大会. 2025 年 5 月 23 日.

平内和樹 (2025) 作業負担を可視化するデジタルヘルスアプリ：3 次元姿勢推定アルゴリズムを用いた腰痛リスクアセスメントツールの紹介. 軽労化研究会定例会, 12 月 2 日.

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

参考文献

- 1) Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., Zhu, T., Zhang, F., & Grundmann, M. (2020). BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking. In arXiv [cs.CV]. arXiv. <http://arxiv.org/abs/2006.10204>
- 2) Legaye, J., Duval-Beaupère, G., Hecquet, J., & Marty, C. (1998). Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society, 7(2), 99–103. <https://doi.org/10.1007/s0058600500>

- 3) Yamada, S., Ebara, T., Uehara, T., Matsuki, T., Kimura, S., Satsukawa, Y., Yoshihara, A., Aoki, K., Inada, A., & Kamijima, M. (2022). Can hip-knee line angle distinguish the size of pelvic incidence?-development of quick noninvasive assessment tool for pelvic incidence classification. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1387. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031387>