

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・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（以下、運送業とする）における業務上腰痛は、全業種と比較しても多く発生している傾向にあり、腰痛予防対策の普及促進が喫緊の課題である。腰痛予防対策の普及促進を図るために、デジタルヘルステクノロジー (Digital Health Technology, DHT) の活用が期待されるが、腰痛一次予防に関する DHT 研究は十分とは言い難い。

現在はディープラーニングや AI (Artificial Intelligence) を応用した人間の姿勢推定手法（以下、姿勢推定 AI とする）が急速に発展し、スマートフォンなどで撮影した画像や動画から作業中の姿勢を捉え、腰痛リスクをより簡便に定量的に評価することが可能になると考えられる。そこで本研究では、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 DHT の開発に取り組む。

姿勢推定 AI を用いて既存の人間工学評価法で腰痛リスク評価を行うために必要な作業要因を数値化し、安全に取扱いできる荷物の質量の上限値を求め、実際の作業の荷物質量と比較することでリスク判定を行う Web アプリケーションの開発を行った。開発した Web アプリケーション（以下、本アプリとする）は、運送業で頻繁にみられる「荷物持ち上げ」、「荷物の運搬」、「押し引き」の3つの作業について、Google が開発した姿勢推定 AI である BlazePose を用いて画像や動画から評価できる。

また、運送業の現場によっては撮影が困難な場合も考慮して、目視および手入力による評価にも対応させた。アプリは、デバイスの種類や OS に問わず、腰痛リスクの評価を可能とするために Web アプリケーションとしたが、一部のデバイス・OS において機能が制限されることが明らかになった。予備実験による評価精度の検証の結果、全体的に腰痛リスクを過小評価する傾向にあった。これは、BlazePose による姿勢推定は単眼カメラの情報に基づくため、奥行情報を含めた3次元姿勢を推定の際に誤差が生じるためであり、改善が必要な作業条件を見落とさないために評価値の補正などの追加の対策が必要であることが示された。

## A. 研究目的

厚生労働省の労働災害統計によれば、最も多い業務上疾病は業務上腰痛であり、特に陸上貨物運送業（以下、運送業とする）の腰痛の年千人率（1年間の労働者1000人あたりの労働災害死傷者数）は0.41と、全業種平均の0.1に対して約4倍も高い。したがって、運送業で働く労働者に対する腰痛予防対策の普及促進は喫緊の課題である。

運送業における腰痛予防対策の普及促進を図るために、デジタルヘルステクノロジー（Digital Health Technology, DHT）の活用が期待されるが、メンタルヘルス対策に関連するDHT研究は多いものの、腰痛予防対策に関するDHT研究は十分とはいえない。腰痛のコントロールや重症化予防を目的とした二次予防に関するアプリケーション研究は多く行われているが、一次予防におけるDHT研究は多くない。腰痛一次予防のためには、リスクアセスメントを活用した人間工学的対策が重要であり、ISO11228-1 (JIS Z8505-1)<sup>1),2)</sup>では、重量物取扱いのリスク評価ツールが提供されている。特に、トラック運転手、荷役作業者は頻繁な荷物の積載作業などを行うため、これらの荷物取扱い作業による腰痛リスクを定量的に把握することが可能な簡便な手法の開発が望まれる。近年では、ディープラーニングやAI (Artificial Intelligence) を用いた人間の姿勢推定手法（以下、姿勢推定AIとする）が急速に発展し、作業者のモニタリングなどにも活用されつつある。これらの手法の中には、高性能な計算機を必要とすることなく、スマートフォンをはじめとするモバイルデバイスで実行可能な手法も提案されている。したがって、スマートフォン

などを利用して作業中の姿勢を捉え、腰痛リスクを定量的に評価することも可能になると考えられ、このようなDHTの普及は運送業の現場における腰痛リスクの可視化・評価、そして改善へとつながることが期待される。

そこで本研究では、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DHTの開発に取り組む。具体的には、スマートフォンなどで撮影された写真や動画から姿勢推定AIを用いて既存の人間工学評価手法で腰痛リスク評価を行うために必要な作業要因を数値化し、算出された腰痛リスク評価指標に基づいて作業改善を実施するWebベースのアプリケーションの開発を行う。また本年度は、開発したアプリケーションの動作環境の調査、予備実験による精度検証を行う。

## B. 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DHTの開発

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DHTが満たすべき要件は以下の通りである。

- (1) スマートフォン・タブレット・PCで動作すること
- (2) 現場の作業をアプリにより動画または静止画で撮影すること
- (3) 姿勢推定AIを活用すること
- (4) 既存の人間工学評価法に基づく腰痛リスク評価値の算出が可能であること
- (5) 得られた評価値に基づいた作業改善が実施可能であること

要件(1)を満たすため、JavaScriptによるWebアプリケーションを採用した。スマー

トフォンやタブレットは現場で撮影しデータを収集する役割を持つとともに、簡易評価を可能にすることで現場手動での改善活動を促すことを目的としている。一方で、収集したデータの集計、高リスクの作業の抽出・順位付け、改善の効果予測のためにはPCの利用が推奨される。要件(2)は後述する要件(3)で姿勢推定AIを活用するために必要であるが、作業現場によっては撮影が困難な場合もあるため、目視のみで記録・評価も可能にする必要がある。姿勢推定AIはGoogleが開発した3次元姿勢推定アルゴリズムであるBlazePose<sup>3)</sup>を採用した。この姿勢推定AIは、他の手法と比較して計算コストが低く、スマートフォンなどのモバイルデバイスで実行可能である。さらに、JavaScriptが持つライブラリの1つである

TensorFlow.js に学習済みのモデルがあり、JavaScriptによる開発との親和性が高いことから採用した。

図1はPCで表示した場合の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Webアプリケーション(以下、本アプリとする)である。本アプリは、筆者らで主要な機能等の開発を行い、アプリケーションのデザインについては外部委託を行った。本アプリが対象とするのは、運送業でも頻繁にみられる代表的な荷物取扱い作業であり、腰痛リスクの高い「荷物の持ち上げ」、「荷物の運搬」、「押し引き」の3つの作業である。それぞれの作業に対して以下のツールを用いて評価する。

- 1) 荷物の持ち上げ評価：米国の労働安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health,

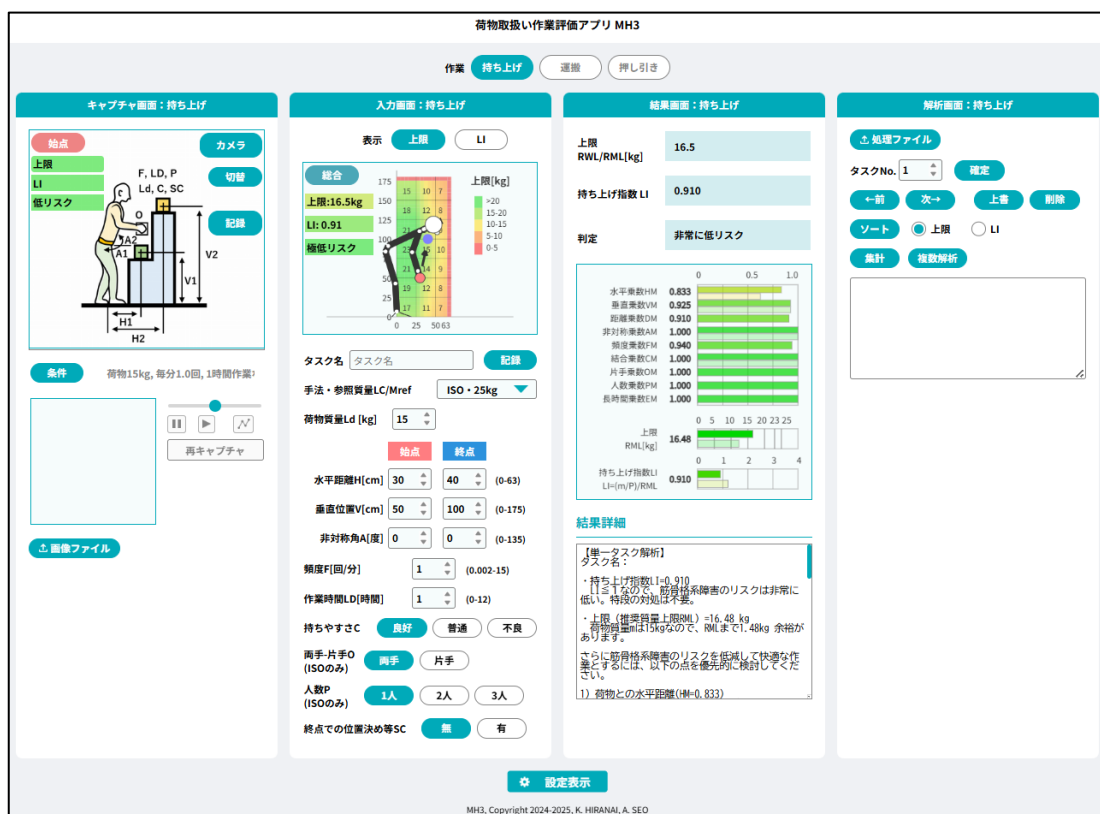


図1 開発した運送業における荷物取扱い作業の腰痛リスク評価のためのWebアプリケーション

NIOSH) の持ち上げ式 (NIOSH Lifting equation, NLE) <sup>4)</sup>、およびその発展形である ISO11228-1 (JIS Z8505-1) の持ち上げ式による評価 <sup>1, 2)</sup>

- 2) 運搬の評価 : ISO11228-1 (JIS Z8505-1) に含まれる運搬の評価式による評価 <sup>1, 2)</sup>
- 3) 押し引きの評価 : Snook & Ciriello の表 <sup>5)</sup> を拡張した Liberty-Mutual の押し引きの評価式 <sup>6)</sup> による評価

これらのツールは、作業要因は数値化して安全に取扱いができる荷物の質量の上限値を求める。この上限値を実際の作業での荷物質量と比較することでリスク判定を行う。また、数値化された作業要因により、個々の改善の順位付けや複合的な作業要因の改善による効果推定にも利用できる。どの作業の評価を行うかは、本アプリ上部の作業ボタンにより選択する。

本アプリはサイトのトップページに入ると、図 2 の左側の画面が表示される。本アプリには、「キャプチャ画面」、「入力画面」、「結果画面」、「解析画面」の 4 つの画面があるが、図 2 中の 1~5 のリンクをクリックして必要な画面のみが表示された状態で本アプリを起動する。スマートフォンなどは、姿勢のキャプチャや入力のみを利用し、タブレットでは、入力と評価またはキャプチャの 2 画面を並べて表示するなど、使用するデバイスや評価の目的に応じて使い分けすることができる。以下では、「荷物持ち上げ」の評価における各画面の機能について簡単に紹介する。

「キャプチャ画面」は、カメラによる撮影および BlazePose による姿勢の推定を行う。また、事前に撮影した画像ファイルの読み

込みも行う。スマートフォンなどでの簡易評価に対応するために、姿勢キャプチャ部分には簡易的な評価値が表示されるようになっている。

「入力画面」では、評価に必要な各作業要因を入力することができる。ここで事前に荷物質量を入力することで、正確な腰痛リスク評価値を算出できる。また、値を変更すると、直ちに評価値が再計算され、「結果画面」に表示される。

「結果画面」は、各評価値と筋骨格系リスク低減のための優先的な改善案が提示される。

「解析画面」は、記録したタスクの評価結果の再表示、集計、持ち上げの場合の複数タスクの解析を行う場合に使用する。

### C. アプリケーションの動作環境の調査

本アプリはデバイス・OS・ブラウザに関係なく動作するかを検証するために、いくつかのデバイスで Web アプリケーションが実際に期待通りの動作を行うか調査した。

表 1 は本アプリの作動状況を OS、CPU、ブラウザソフトの観点からまとめたものである。Mac および iOS/iPadOS は、Google Chrome および Safari の利用のどちらにおいても、推定結果のダウンロードが正常に行われないことがあった。これは、Mac や iOS/iPadOS のダウンロードに関する権限が、Windows や Android とは異なるためである。特に、複数のファイルを同時にダウンロードする許可の確認が行われず、解析結果と画像の同時ダウンロードの際に、解析結果のテキストファイルしか保存されないなど機能が制限されることを確認した。また、Firefox は動作するが、その挙動が重か

った。また、いくつかの Android デバイスで追加の動作検証を行った。表 1 に示した Snapdragon 695 よりもベンチマーク上は高性能な CPU である MediaTek Kompanio 1300T を搭載した Android タブレットでは、動画の処理が重くなるような現象が見られ、動画解析に関する機能が制限されることが確認された。ただし、動画を用いない場合の処理（写真での評価やリアルタイムでの評価）は、動作が重い場合もあるが問題なく動作した。

#### D. 予備実験による評価精度の検証

本アプリの評価精度を検証するために、荷物持ち上げ作業を模した実験を行った。表 2 に示す水平距離、垂直距離を持ち上げ

開始点とした時の荷物持ち上げ姿勢を正面、斜め、側面から撮影し、本アプリにより持ち上げ指数（Lifting Index, LI）を推定した。その後、NLE のリスク評価区分に基づいて推定精度について、NLE の計算値と比較した。なお、NLE の計算において、取り扱う荷物質量は 10 kg、終点は水平距離 400 mm、垂直距離 1380 mm を仮定した。

表 2 はリスク評価区分に基づく推定精度を示す。過大評価した条件はセルを赤で、過小評価した条件はセルを青で塗りつぶしている。過大評価した条件は 2 条件のみで、全体的にリスクを過小評価する傾向にあった。また、側面からの撮影が LI の計算値とリスク評価区分が一致する傾向にあった。図 3 は過小評価された水平距離 630 mm、



図 2 Web アプリケーションのトップページと各画面の構成

表 1 Web アプリケーションの作動状況

OS	CPU	ブラウザソフト		
		Google Chrome	Firefox	Safari
Windows 10/11	Intel Core i5 第 8 世代以上	○	△ (動作が重い)	- (未対応)
Mac	Apple M1 以上	△ (制限あり)		△ (制限あり)
Android	Snapdragon 695 Google Tensor G2	○	△ (動作が重い)	- (未対応)
iOS/iPadOS	Apple M1, A11 Bionic	△ (制限あり)		△ (制限あり)

※グレーで塗りつぶされた箇所は未調査

垂直距離 1025 mm の正面から撮影されたときの推定結果である。BlazePose は単眼カメラの情報から 3 次元姿勢を推定する手法であり、奥行情報も推定している。したがって、正面からの撮影では体幹の傾きをうまく推定できず、水平距離が短くなったことで、持ち上げ可能な質量が増加したと推察される。過小評価をした条件は改善が必要な作業条件を見落とす可能性があるため、NLE の計算値に近づくような補正が必要であると考えられる。本予備実験の結果は、第 31 回作業関連性運動器障害研究会定例会にて報告している。

## E. 結論

運送業における荷物取扱い作業、特に「荷物持ち上げ」、「荷物の運搬」、「押し引き」による腰痛リスク評価のための、姿勢推定 AI を用いた DHT の開発を行った。開発したアプリケーションの動作要件について調査し、予備実験による評価精度の検証により、本アプリの課題等について明らかにした。

## F. 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，谷直道，榎原毅 (2024) 3 次元姿勢推定アルゴリズムによる NIOSH Lifting equation の簡易計算アプリケーションの提案. 第 31 回作業関連性運動器障害研究会定例会，一般演題，演題 1，2024 年 11 月 2 日.

## G. 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

表2 リスク評価区分に基づく推定精度 ※赤：過大評価、青：過小評価

水平距離	垂直距離	LI 計算値 (評価区分)	Web アプリ推定値			
			正面	斜め	側面	平均
350	190	1.14 (低い)	1.67 (中程度)	1.54 (中程度)	1.25 (低い)	1.49 (低い)
500	190	1.63 (中程度)	1.71 (中程度)	1.54 (中程度)	1.63 (中程度)	1.63 (中程度)
630	190	2.05 (高い)	1.73 (中程度)	1.60 (中程度)	1.64 (中程度)	1.67 (中程度)
350	750	0.91 (非常に低い)	0.62 (非常に低い)	0.89 (非常に低い)	0.58 (非常に低い)	0.69 (非常に低い)
500	750	1.30 (低い)	0.58 (非常に低い)	0.87 (非常に低い)	1.17 (低い)	0.87 (非常に低い)
630	750	1.64 (中程度)	1.34 (低い)	1.54 (中程度)	1.35 (低い)	1.41 (低い)
350	1025	0.93 (非常に低い)	0.54 (非常に低い)	0.54 (非常に低い)	0.89 (非常に低い)	0.66 (非常に低い)
500	1025	1.34 (低い)	0.54 (非常に低い)	0.53 (非常に低い)	1.19 (低い)	0.75 (非常に低い)
630	1025	1.68 (中程度)	0.65 (非常に低い)	1.27 (低い)	1.39 (低い)	1.10 (低い)

NLE によるリスク評価区分：

$LI \leq 1.0$	$1.0 < LI \leq 1.5$	$1.5 < LI \leq 2.0$	$2.0 < LI \leq 3.0$	$LI > 3.0$
リスクは非常に低い	リスクは低い	リスクは中程度	リスクは高い	リスクは非常に高い

### 参考文献

- 1) ISO, ISO 11228-1:2021 Ergonomics - Manual handling - Part 1: Lifting, lowering and carrying.
- 2) JIS Z8505-1:2025, 人間工学—手作業による取扱い—第1部：持ち上げ、持ち下げ及び運搬, 日本規格協会, 2025.1.20
- 3) 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>
- 4) Waters, TR., Putz-Anderson, V., Garg, A., "Applications manual for the

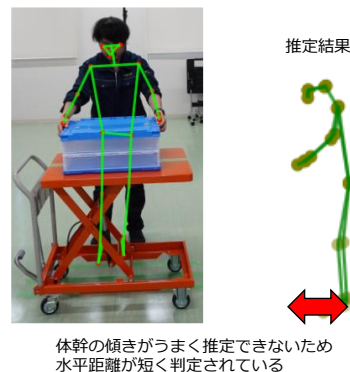


図3 過小評価した条件の一例：水平距離 630 mm、垂直距離 1025 mm、正面から撮影

revised NIOSH lifting equation", DHHS (NIOSH) Publication No. 94-110 (Revised 9/2021), DOI: <https://doi.org/10.26616/NIOSH/PUB94110revised092021>

- 5) Snook, S.H. and V.M. Ciriello, "The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces", *Ergonomics*, 34, 9, pp.1197-1213, 1991, doi: 10.1080/00140139108964855.
- 6) Jim R. Potvin, Vincent M. Ciriello, Stover H. Snook, Wayne S. Maynard and George E. Brogmus, "The Liberty Mutual manual materials handling (LM-MMH) equations", *Ergonomics*, 64, 8, pp.955-970,2021, doi: 10.1080/00140139.2021.1891297