

令和 4 年 5 月 10 日現在

機関番号：82659

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15256

研究課題名（和文）深層学習による自動車事故時の歩行者画像を用いた傷害予測手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of injury severity prediction of pedestrian at car-pedestrian accidents using deep learning methodology

研究代表者

國富 将平（Kunitomi, Shouhei）

一般財団法人日本自動車研究所・安全研究部・研究員

研究者番号：10838014

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、これまでに構築した深層学習を用いた歩行者傷害予測手法を基に、予測対象者と予測傷害部位を拡大することで歩行者の体格差が予測モデルの精度に与える影響を明らかにするとともに、傷害部位単位での傷害予測を試みることである。提案手法において、歩行者の体格の違いが頭部傷害予測精度に影響を及ぼすことが確認された。また、体格差を起因とする頭部衝突エリアと歩行者情報量の違いによって、車両加害部位と画像に含まれる歩行者特徴量が変化し、予測精度に影響を与えたと考えられた。さらに頭部と脚部の傷害部位単位での傷害予測において、作成した予測モデルの正解率は88.2%であり、その高い傷害予測性能が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の先進事故自動通報システムにおける傷害予測アルゴリズムは、自動車前席乗員のみを対象としており、令和3年における日本の交通事故死者数の35.7%を占め、最も対策が必要とされる歩行者は適用外である。また、衝突時に様々な歩行姿勢や回避行動がとられる歩行者への予測精度は低く、その傷害予測が困難であることが報告されている。本研究結果は、提案する深層学習による画像認識を用いた歩行者傷害予測手法において、対象とする歩行者の体格差を考慮した対策の必要性を示すと同時に、歩行者の傷害部位単位での傷害レベル予測の実現性を示唆するものである。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to identify the effects of pedestrian physique differences on head injury prediction in car-to-pedestrian accidents via deep learning. In addition, we attempted to predict injuries in the pedestrian model on each body part level. The results using deep learning show that pedestrian physique differences affect the head injury prediction accuracies by 2.32-4.96 points. Factors that affected the prediction accuracy may include differences in head contact area and the amount of pedestrian information in the images for each model. Furthermore, the accuracy of our prediction model was 88.2% for head and leg injuries, which confirmed its high injury prediction performance.

研究分野：安全工学

キーワード：事故自動通報 傷害予測 歩行者 深層学習 画像認識

## 様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 ( 共通 )

### 1 . 研究開始当初の背景

現在の先進事故自動通報システム ( AACN ) の傷害予測アルゴリズムは、自動車乗員のシートベルトの装着有無や自動車の速度変化などのデータを基にロジスティック回帰分析を用いて、傷害レベルの予測を実施している。しかし、予測時に用いられる歩行者データは乏しく、衝突時に様々な歩行姿勢や回避行動をとる歩行者は、自動車乗員と比較して、その予測が困難な状態である [1]。現状の精度で AACN が普及した場合、救急医療用のドクターヘリやドクターカーの不必要な出動を招き、本来救命すべき患者に対して適切な緊急治療が実施されない恐れがある。このように適切な救命・救急体制の構築のためには予測精度の向上が必要不可欠である。

一方で、深層学習手法を用いた人工知能 ( AI ) に関する研究も世界中で盛んに行われている。深層学習手法は人間の脳神経回路を模した機械学習手法の 1 つであり、自動運転や医療診断等の幅広い分野において活用されている。中でも画像認識の分野では、深層学習手法の登場により、AI が自ら画像の特徴を抽出することが可能となった。これにより、画像認識精度は大幅に向上し、人間の認識精度を超えたとの報告もある。

そのため我々は、深層学習手法による画像認識の傷害予測アルゴリズムへの適用を試み、自動車対歩行者衝突事故シミュレーションより得られた歩行者衝突画像から頭部傷害レベルを 99.37% の精度で予測可能とした [2] [3]。しかし、この結果は、成人男性の頭部傷害のみを対象とした限定的な結果であり、実際の自動車事故の多種多様な形態における予測の検証までには至らなかった。

### 2 . 研究の目的

本研究の最終的な目標は、ドライブレコーダ画像を用いた深層学習手法による高精度な歩行者傷害予測の実現及び AACN への実装である。そのため本研究では、体格の異なる歩行者に生じた複数の傷害部位における傷害レベルを学習することで、従来手法では不可能であった傷害部位単位での傷害レベル予測を実現し、「傷害予測精度の飛躍的な向上」と「救急医療機関への各負傷者に応じた適切な傷害情報の提供」を目指す。具体的には、予測対象者を成人男性だけでなく、子供及び女性に広げ、さらに予測傷害部位を頭部と脚部に拡大する。これによって、歩行者の体格差が傷害予測精度に与える影響を明らかにするとともに、提案手法による人体の様々な傷害部位単位での傷害予測を試みた。

### 3 . 研究の方法

図 1 に研究方法の概要を示す。本研究では、まず自動車と歩行者の衝突事故を再現するため、車両モデルと歩行者モデルを新しく作成した。車両モデルは文献を基に部品単位から車両全体までモデルを開発し、その力学的特性を検証した。また、歩行者モデルは各関節の角度を調整することで衝突直前の歩行者姿勢を再現した。次に、これらのモデルを用いて、自動車対歩行者衝突事故シミュレーションを実施し、そこから得られた歩行者の衝突画像、頭部傷害基準値 ( Head Injury Criterion , 以下、HIC ) 及び脚部骨折情報より画像データセットを構築した。さらに、Convolutional Neural Network ( 以下、CNN ) を用いた予測モデルに画像データを入力することで、画像情報から歩行者モデルの傷害レベルを予測可能とする予測モデルを作成した。予測モデル作成後、評価指標を基に予測モデルの傷害予測性能を評価した。

本研究の自動車対歩行者衝突事故シミュレーションには MADYMO version 7.7 [4] を使用し、深層学習には Neural Network Console version 2.1.0 [5] を使用した。

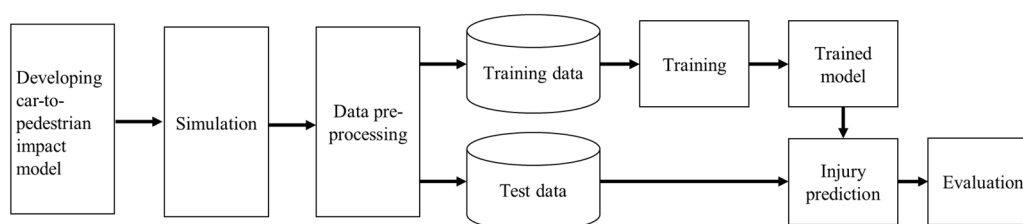


図 1 研究方法の概要

#### ( 1 ) 画像データセット構築に向けた自動車対歩行者衝突シミュレーション

深層学習で使用する画像データセットの構築に向けて、自動車と歩行者の衝突事故を再現した衝突シミュレーションモデルの作成及び解析を実施した。衝突シミュレーションは車両モデルと歩行者モデルから構成されており、車両モデルは、欧州自動車安全性能評価試験 ( Euro NCAP ) で使用されているファミリーカーモデルより車両形状を再現し、様々な文献データを基に同モデルの力学的特性を検証した ( 図 2 )。また、歩行者モデルでは、ボランティア実験から得られた姿勢データより、図 3 に示す衝突直前の歩行者姿勢を 420 パターン作成した。さらにこれら歩行者姿勢に加えて、歩行者モデルの体格や衝突速度、衝突位置などのパラメータを設定し、衝突シミュレーションを実施した。衝突シミュレーション実施後、同結果から歩行者衝突画像を抽出し、HIC ( HIC < 1000 或いは HIC ≥ 1000 ) 及び脚部傷害 ( 脚部骨折の有無 ) によるクラス分類を行う

ことで 45,360 枚の画像データからなる画像データセットを構築した。なお画像データは、車室内から撮影されたドライブレコーダ画像を模擬しており、RGB のカラー画像で 112×112 ピクセルとした。また、画像内に写る自動車モデルはすべて黒く塗り潰しており、先行研究[2]で最も予測精度が高かった衝突後 90ms の静止画像を用いた。

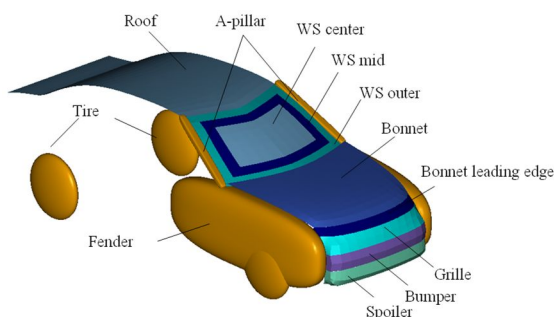


図2 車両モデル (ファミリーカー)

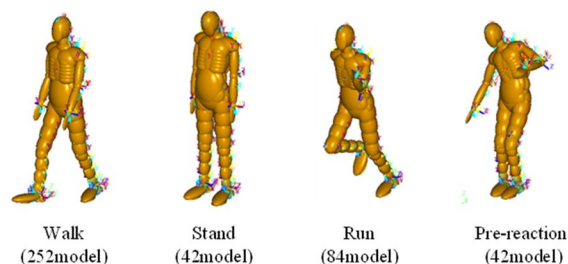


図3 歩行者モデル例

## (2) 歩行者モデル頭部傷害予測及び体格差による予測精度への影響確認

歩行者モデルの頭部傷害予測は、自動車対歩行者衝突シミュレーション結果を基に作成した画像データセットと深層学習手法を活用した予測モデルを用いて実施した。画像データセットは、学習データとテストデータに大別され、前者はモデルの学習と適合及びパラメータの決定、後者は未知のデータに対するモデルの予測性能評価に使用した。深層学習には、Visual Geometry Group 16 (VGG 16)モデル[6]をベースに、batch normalization と average pooling を各畳み込み層の後に導入し、活性化関数を Swish、最適化手法を momentum に変更した予測モデルを使用した。また、体格の異なる 3 つの歩行者モデル (AM50: 成人男性, 6Y0: 6 歳児, AF05: 小柄女性) ごとの学習データに対して、学習を実施することで、各歩行者モデルに対応した頭部傷害予測モデルを作成した。さらに、これら予測モデルのテストデータに対する予測性能を評価した。得られた各予測モデルの頭部傷害予測と評価結果を分析することで、歩行者モデルの体格の違いが、深層学習を用いた傷害予測の精度に及ぼす影響について確認した。

## (3) 頭部及び脚部傷害レベル予測への応用と判断根拠の考察

これまでに構築してきた傷害予測モデルに対して、脚部を新しく予測対象に加えることで、成人男性歩行者モデルの頭部と脚部を対象とした画像情報による部位単位での傷害レベル予測を試みた。また適合率と再現率、F 値、正解率を用いて予測モデルの傷害予測性能評価を実施した。さらに、予測モデルの判断根拠を理解するため、Shapley Additive exPlanations (SHAP) [7]を適用し、モデルの予測結果に対する各特徴量の寄与を求めることによって、傷害予測時にモデルが着目する画像内の特徴を特定した。

## 4. 研究成果

### (1) 歩行者モデル体格差が頭部傷害予測精度に及ぼす影響

表 4 に傷害予測モデルの各歩行者モデルの頭部傷害に対する正解率、アンダートリアージ、オーバーリアージを示す。本検討で作成した予測モデルの正解率は、AF05 が最も高く 93.25%、続いて AM50 が 90.61%、6Y0 が 88.29%であった。また、各歩行者モデルの挙動と衝突画像の分析結果から、歩行者モデルの体格差によって車両の頭部衝突エリア (図 4) と画像内の歩行者情報量に違いが生じることを明らかにした (図 5)。これら結果は、本提案手法が成人男性だけでなく、子供や小柄女性の頭部傷害予測に対しても高い予測性能を有することを示しており、多様な歩行者に対する有効性が示唆された。また、体格差を起因とする頭部衝突エリアと歩行者情報量の違いによって、車両加害部位と画像に含まれる歩行者特徴量が変化し、予測精度に影響を与えたと考えられた。

表 1 傷害予測モデルの予測性能評価結果

Model	Accuracy	Undertrriage	Overtrriage
AM50	90.61 %	10.50 %	8.62 %
AF05	93.25 %	5.99 %	7.09 %
6Y0	88.29 %	14.96 %	9.65 %
Average	90.72 %	10.48 %	8.46 %

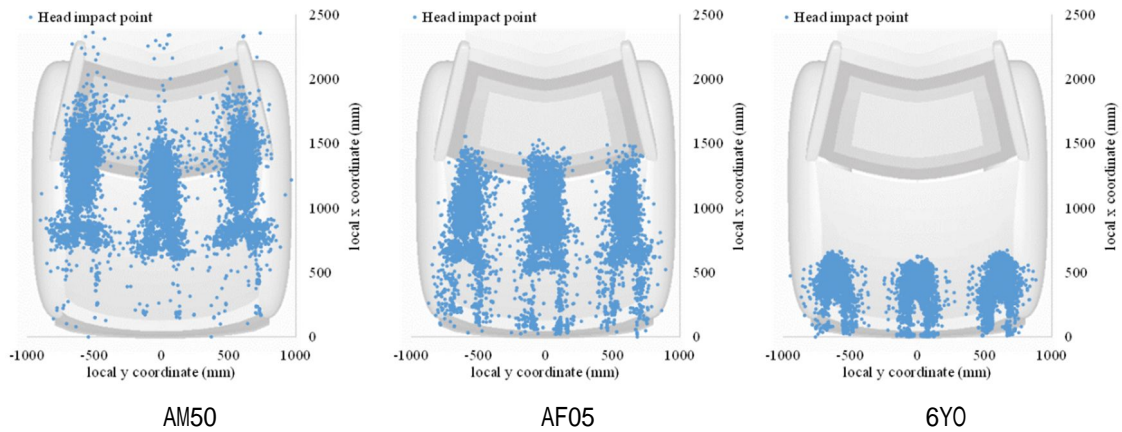


図 4 頭部衝突位置の分布

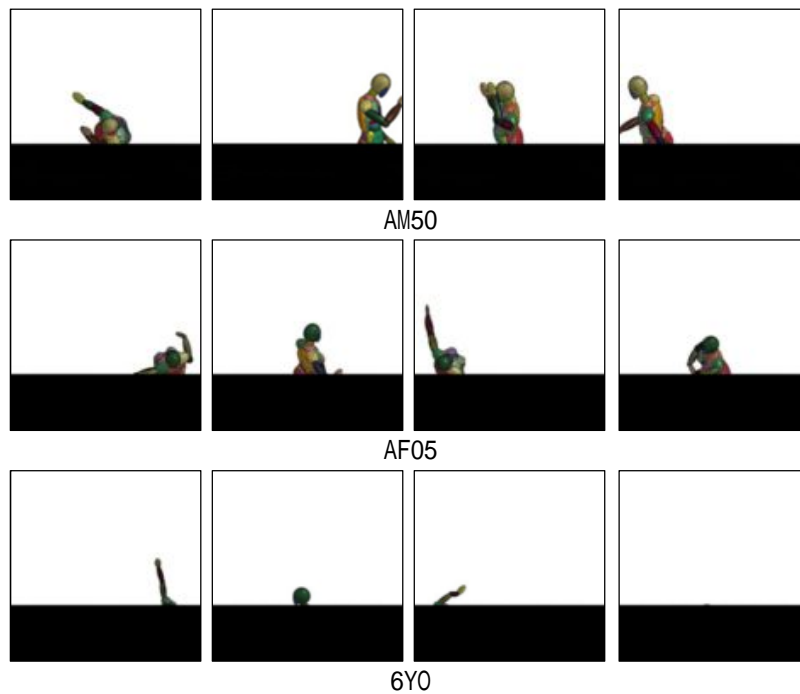


図 5 各歩行者モデルの画像データ例

(2) 頭部及び脚部の傷害部位単位での傷害予測と予測結果の解釈

頭部と脚部の傷害部位単位での傷害レベル予測に関して、作成した予測モデルの正解率は 88.2% であり、その高い傷害予測性能が確認された。しかしながら、一部クラスの各評価指標値は低く、同予測モデルによる傷害予測が困難であった。この要因として、学習データ数の不足によって学習が不十分となったことが推察される(表 2)。予測モデルの判断根拠の考察では、各クラスを正しく予測した画像に対して SHAP を適用することで予測モデルが着目する画像内の特徴を抽出した。その結果、立位姿勢時の歩行者モデル頭部、自動車モデルとの衝突による肩の傾斜、肘をつく腕部の挙動及び衝突時の腕部の跳ね上げや身体への巻き付きが濃い赤色で表示され(図 6)、これら挙動が各クラスにおける予測確率の増加に対して寄与の高い特徴であることが示された。

本研究結果から、深層学習による画像認識と歩行者衝突画像を用いることで、歩行者の傷害部位単位での傷害レベル予測の実現性が示唆された。また、予測モデルは衝突時の歩行者モデルの顔部と肩部、腕部における特定の挙動に着目することで、予測を実施している可能性があることが明らかとなった。

深層学習手法を用いた画像認識による歩行者傷害予測に関する研究成果の詳細は、今後、学術雑誌や国際学会で公表していく予定である。

表2 画像データセットのクラス定義と予測性能評価結果

Class	HIC	Leg	Precision	Recall	F-Measure
Class 1	<1000	No fracture	0.945	0.967	0.955
Class 2	<1000	Fracture	0.762	0.732	0.746
Class 3	≥1000	No fracture	0.389	0.189	0.254
Class 4	≥1000	Fracture	0.886	0.899	0.893
Average			0.746	0.697	0.712
Accuracy			0.882		

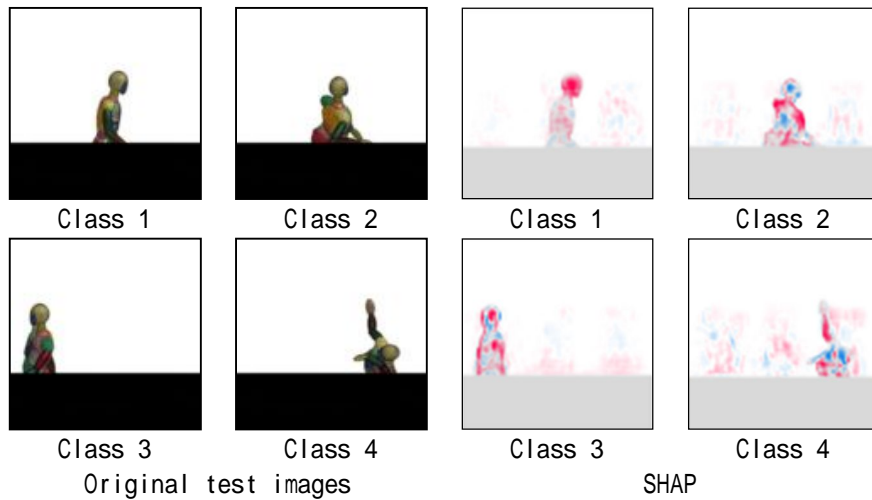


図6 SHAP を用いた特徴抽出結果

(赤色：予測確率を増加させる特徴，青色：予測確率を減少させる特徴)

<引用文献>

- [1] Nishimoto, et al., Serious injury prediction algorithm based on large-scale data and under-triage control, Accident Analysis & Prevention 98, (2017)
- [2] Kunitomi, et al., Prediction of Head Injury Severity for Pedestrians in Car-Pedestrian Accidents using Deep Learning Methodology. Proceedings of IRCOBI Conference Proceedings, (2018)
- [3] 國富ら，深層学習手法を用いた自動車衝突事故時の歩行者頭部受傷レベルの予測精度向上に関する研究，自動車技術会論文集 (2018)
- [4] MADYMO, Theory Manual 2017 Version7.7, TASS B.V.,Rijswijk-The Netherlands, (2017)
- [5] Sony, Neural Network Console version 1.7.0, (2020)
- [6] imonyan K, Zisserman A., Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, arXiv preprint arXiv:1409.1556, (2014)
- [7] LUNDBERG, Scott M, LEE, Su-In, A unified approach to interpreting model predictions, neural information processing systems, p4768-4777, (2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kunitomi Shouhei, Takayama Shinichi	4. 巻 22
2. 論文標題 Effect of pedestrian physique differences on head injury prediction in car-to-pedestrian accidents using deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Traffic Injury Prevention	6. 最初と最後の頁 S82 ~ S86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15389588.2021.1981886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shouhei Kunitomi, Shinichi Takayama, Masayuki Shirakawa	4. 巻 64
2. 論文標題 Application of Deep Learning Methods for Pedestrian Collision Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Stapp Car Crash Journal	6. 最初と最後の頁 291-321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kunitomi Shouhei
2. 発表標題 Effect of Pedestrian Physique Differences on Head Injury Prediction in Car-to-pedestrian Accidents Using Deep Learning
3. 学会等名 Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國富 将平
2. 発表標題 マルチモーダル深層学習による子供歩行者頭部傷害予測
3. 学会等名 2021年度 人工知能学会全国大会 (第35回)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 衝突傷害予測方法，衝突傷害予測システム及び先進事故自動通報システム	発明者 國富将平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-028113	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------