第Ⅳ部門　　TTC を用いた暑熱環境下における歩行者飛び出し時の運転挙動の分析

立命館大学理工学研究科　　学生員　○八十島　将
立命館大学理工学部　　正会員　　塩見　康博
立命館大学理工学部　　非会員　　李　明香

1. 背景と目的

近年，地球温暖化の進行に伴い，平均地上気温は上昇を続けており，今後のさらなる上昇も予測されている[1]．気温の上昇は，交通に影響を与えており，Parks et al.[2] は，年平均気温が 1.5℃高い年に 1600 件以上事象者数が増加し，その内 46%は交通事故であると報告している．こうした交通事故の増加は，車室内の暑熱環境への暴露による認知判断能力の低下に起因する可能性がある．しかしながら，暑熱環境下における認知判断能力の低下が運転挙動に与える影響については未解明である．

そこで，本研究では，任意の気温と湿度に制御可能な恒温恒湿室で，歩行者飛び出しシナリオを含むドライビングシミュレータ（DS）実験を実施する．その結果より，TTC（Time to Collision）を比較することで，暑熱環境下での運転挙動特性の変化を定量的に明らかにする．

2. 実験概要

本研究では，暑熱環境下における運転挙動変化を定量的に測定するために，恒温恒湿室で湿度は 50%で一定とし，温度は 25/ 28/ 31℃に設定し，DS 実験を実施する．DS 環境は Unity により構築し，ハンドルおよびペダルは Logicool 社の Driving Force G29 を使用する．なお本実験は，立命館大学の人を対象とする医学系研究倫理審査委員会の承認を受け，実験参加者からインフォームドコンセントを取得した上で実施する．

2.1 実験フロー

実験の流れを**図 1** に示す．実験では，まず普段の運転習慣に関する設問を含むアンケートへ回答してもらう．次に，外気暴露による潜熱の影響を排除し，気温変化への反応を統一するために 25℃，50%の部屋で 20 分間安静待機してもらう．待機終了後は，25/28/31℃の条件を被験者ごとに設定し，約 30 分間の DS 走行を実施する．走行では，日本の道路交通法に則り，制限速度 50km/h での走行を要請する．また，歩行者視認時には，ハンドルに設置されているボタンを押してもらう．なお，本稿では脳波測定と認知判断テストは分析対象外とする．

2.2 走行シナリオと被験者の選定条件

走行空間は，5×5 マスで一辺が 400m の格子状都市とする．また，**図 2** に示す 2 種類のシナリオとそのダミーシナリオが，各 3 回ずつ出現するようにランダムに配置する．シナリオ 1（S1）は信号のない横断歩道からの方向者の飛び出しシナリオ，シナリオ 2（S2）は路駐車両からの歩行者の飛び出しシナリオである．両シナリオとも歩行者の 36m 手前を被験者操作車両が通過してから 1 秒後に 4km/h で歩行者が動き始めるように設定する．

被験者は，普通自動車免許を 2 年以上保有し，月に一度以上運転する男女で，19~75 歳を選定条件とする．また，実験前日の睡眠が普段より 2 時間以上短い人や，実験前日・当日に飲酒・喫煙をした人等は除外対象とする．

3. 結果と考察

3.1 実験結果と走行軌跡

実験は，2026 年 5 月 12～30 日に実施され，21～71 歳の男女 32 名が参加した．原則として参加者には 2 度の来場を要請したため，最終的なサンプルサイズは 54 となった．内訳の詳細は，**表 1** に示す．

図 3 に 25℃で実施した走行での 1 回目の S1 を含むリンク全体の走行軌跡を示す．個々の走行軌跡を薄いグレ

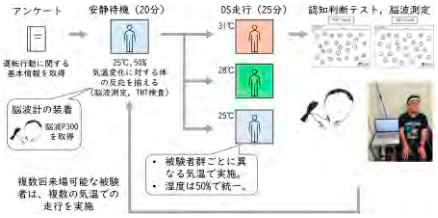


図 1　実験フロー

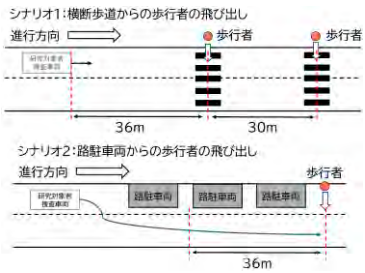


図 2　設定シナリオ

Sho YASOJIMA, Yasuhiro SHIOMI, Myonghyang LEE
E-mail: ce0086vi@ed.ritsume.ac.jp

一の線で表示している．中央の太線は各環境温度における平均的な走行軌跡を示しており，ブレーキ操作の量に比例して赤色が強くなるように可視化した．また，図中の Ave Button は，平均的な歩行者認知距離を表しており，Brake Start は，ブレーキ操作が開始された位置を表している．どちらも歩行者までの距離で表記している．

3.2 TTC の算出と統計解析

3.1 の走行軌跡から得られた歩行者認知時点を起点，設置した歩行者を通過した時点を終点として，被験者が操作する車両から歩行者までの距離を，走行速度で除することによりシナリオごとに TTC を算出した．解析対象のノード・実施温度ごとの平均的な TTC を時系列にまとめたものを**図 4, 5** に示す．**図**中の★は，TTC の極小値の最小値を表しており，以降これを本稿における最小 TTC と定義する．

図 4, 5 より，最小 TTC の出現時間は S1 では温度上昇とともに遅れるが，S2 では早まる傾向が確認できる．この傾向の統計的有意性を確認するために，3 群（25/ 28/ 31℃）を対象に Kruskal-Wallis 検定（有意水準 5%）を実施した．結果，S1 では有意な差が認められた（$p = 0.0115$）が，S2 では有意性が確認されなかった($p = 0.4351$)．**図 3** のような走行軌跡の解析から，S1 で温度の上昇にともない歩行者認知位置が早まることをあわせて考えると，高気温下では視認性の高い事象（S1）への注意が高まる可能性を示唆している．

また最小 TTC の値は，S2 では S1 に比べて全体的に低く，S1 では 31℃，S2 では 28℃で最小値となった．この傾向についても統計的有意性を確認するために前述と同様の条件で Kruskal-Wallis 検定を行ったが，有意性は確認されなかった．これは、最小 TTC の値が環境温度よりもシナリオの潜在的な危険度（見通しの良否など）に強く依存しており、これが S2 で全体的に低い値を示した要因と考えられる。

4. 結論

本研究では，暑熱環境が運転行動に及ぼす影響を TTC の観点から定量的に検証した．結果，視認性の高い事象においてのみ，高温環境下で最小 TTC 出現までの時間が有意に遅れることを確認した．これは高気温によるリスク意識等から運転者の注意が高まり，視認性の高い事象対して通常より早期の認知・回避行動が可能となる可能性を示唆している．一方，最小 TTC の値は，気温よりもシナリオ自体の構造に強く依存している可能性が示された．今後は，解析の精緻化を進めると共に，道路の視覚環境と温度条件の相互作用の解明や，環境変化に応じた安全運転支援の要件検討へと発展させる必要がある．

参考文献

1) IPCC, AR6 Synthesis Report Climate Change 2023: Summary for Policymakers | IPCC, 2023.
2) Parks et al., Anomalously warm temperature are associated with increased injury deaths.

表 1　被験者の内訳

	25℃	28℃	31℃
若年（24 歳以下）	15	11	12
中高年（25 歳以上）	3	7	6
合計	18	18	18

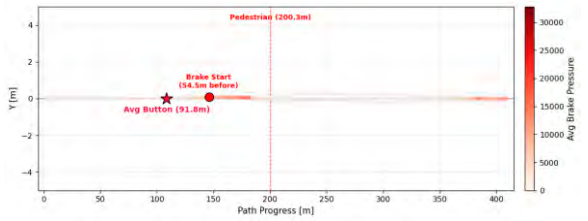


図 3　走行軌跡（25℃ / S1 / 1st）

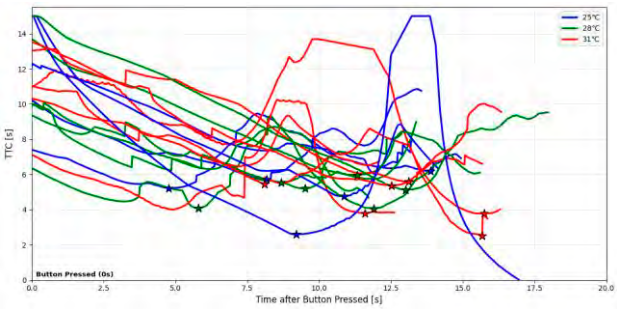


図 4　S1 TTC 時系列グラフ

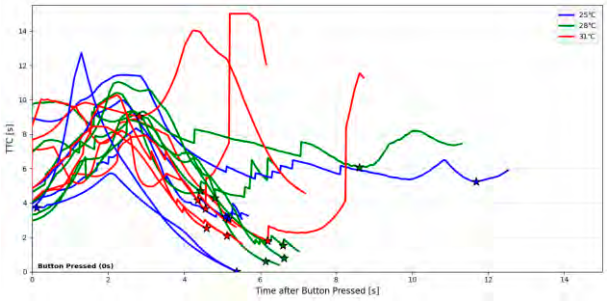


図 5　S2 TTC 時系列グラフ

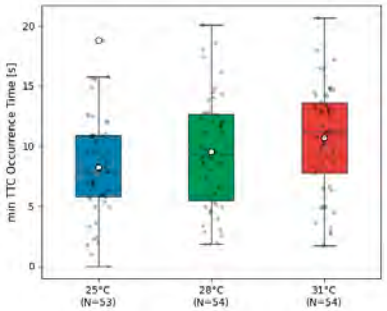


図 6　S1 最小 TTC 出現時間の分析（N=161, p=0.0115）