

Title	屋外イベント参加者の熱中症リスク低減のための歩行速度に基づく避暑ルート選択支援システム
Sub Title	Heat stress mitigation route selection support system based on walking speed to reduce the risk of heat stroke for outdoor event participants
Author	大関, 燿(Ozeki, Yo) 神武, 直彦(Kohtake, Naohiko)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度システムエンジニアリング学 第373号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002024-0025

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2024 年度

屋外イベント参加者の熱中症リスク低減のための
歩行速度に基づく避暑ルート選択支援システム

大関 燿

(学籍番号：82333129)

指導教員 教授 神武 直彦

2025 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

Heat Stress Mitigation Route Selection Support
System Based on Walking Speed to Reduce the Risk
of Heat Stroke for Outdoor Event Participants

Yo Ozeki

(Student ID Number : 82333129)

Supervisor Naohiko Kohtake

March 2025

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

学籍番号	82333129	氏 名	大関 燿
論 文 題 目：屋外イベント参加者の熱中症リスク低減のための歩行速度に基づく避暑ルート選択支援システム			
近年、気候変動による気温上昇が進み、熱中症リスクが高まっている。夏季に屋外で開催されるイベントでは、多人数が高温環境下に集まるため、さらに集団災害発生のリスクが高まり、適切な熱中症対策が急務とされている。今回対象とする地域全体の屋外空間を回遊する屋外イベントは、参加者が複数箇所を移動し続ける特性上、日射を長時間浴びる機会が多く、熱中症リスクが高まりやすい。運営者は暑熱環境の整備を行う必要があるが、地域全体に設備を配置することには制約がある。また、参加者は連続した移動による熱中症リスクの蓄積を防ぐため適切な対策が求められるが、熱中症に対する意識が高かったとしても運動時に熱中症のリスクに気づく事が困難である事が指摘されている。関連研究として、夏季の屋外イベントにおけるルート提案に関して、ルート選択と救護所の配置を考慮した歩行者流動の最適化が、熱中症の発生リスクを抑制する可能性が示唆されている。また、暑熱環境における情報可視化が利用者の行動変容に与える影響について分析している研究では、現在、利用者がおかれている温熱環境や熱中症リスクに関する情報を可視化し、それを利用者に提示することで、熱中症リスクを低減する行動選択が促されることが明らかになっている。 本研究は、屋外イベント参加者が長時間の移動によって蓄積する熱中症リスクを正しく認識し、リスクに基づいて行動を選択できる仕組みを構築する事を目的とした。そこで本研究では蓄積する熱中症リスクをイベント参加者に対しこれから進むルートに基づいて可視化を行うことで、イベント参加者が熱中症に対して対策行動を実施できる避暑ルート選択支援システムを提案した。その特徴として、ルートの距離を算出するために歩行速度に着目をした。歩行速度に着目することで、利用者の歩行速度に基づいた運動負荷の算出が可能になった。結果的に、暑さ指数と活動量の関係について示した関連研究と比較することによって、利用者の暑熱下での移動できる距離が算出される。その距離をルートに合わせて可視化することによって、屋外イベント参加者が蓄積する熱中症リスクを把握し、屋外イベントの熱中症リスク低減に寄与できると考えた。 提案システムは、6つのモジュールと1つのデータベースで構成され、各モジュールが相互に連携することで、熱中症リスクの可視化とルート提案を実現する。ユーザー情報取得モジュールがユーザーの基本情報を収集し、WBGT 算出モジュールが環境データを基に熱中症リスクの基盤情報を提供する。これらを基に、熱中症リスク距離計算モジュールが暑熱下における移動が可能な距離を算出し、周遊イベント観光スポットデータベースが観光スポットや休憩所などの位置情報を提供する。ルート設計では、通常ルート設計モジュールが最短経路を生成し、避暑ルート設計モジュールがリスク増加前に休憩所を経由するルートを設計する。最後に、ルート提示モジュールが可視化されたリスク情報とともに両ルートを提示し、ユーザーの熱中症リスク低減の選択を支援する。これにより、本システムはユーザーが熱中症リスクを把握し、リスク低減行動を取ることを可能にする。 検証では、歩行速度に基づいたリスクの可視化の有効性を検証した。これまでは、利用者が現在のおかれている状態を可視化することで行動変容が促されていたが、これからの行動に対する可視化の有効性は検証されていなかった。そのため、本研究では、熱中症リスクの可視化の有無が熱中症を回避する行動やその行動に与える影響を明らかにするため、休憩回数・休憩時間の観察と休憩を行った理由を調査するためにヒアリング内容を分析した。その結果、熱中症の情報提示がありグループでは休憩回数と休憩時間が増加し、特に 30 代は 5 回の休憩を取るなどこまめな休憩を実施していた。一方、情報提示なしグループでは、20 代が一度も休憩を取らず、グループ平均においても休憩時間が 13 秒と短かった。さらに、ヒアリング内容の共起分析では、情報提示なしグループでは、「屋外」「身体」が決定要因になっているのに対し、情報提示ありグループでは「リスク」「熱中」「場所」などが休憩の決定要因となり、計画的な休憩が行われていた。これらの結果から、熱中症リスクの可視化は休憩行動を計画的なものへと変化させ、適切な予防行動を促す有効な手段であることが示唆された。			
キーワード (5 語)			
夏季イベント、可視化、行動変容、地理空間情報システム、熱中症リスク			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	82333129	Name	Yo Ozeki
Title Heat Stress Mitigation Route Selection Support System Based on Walking Speed to Reduce the Risk of Heat Stroke for Outdoor Event Participants			
Abstract In recent years, rising temperatures due to climate change have significantly increased the risk of heatstroke, particularly during outdoor summer events where participants experience prolonged sun exposure and continuous movement. While event organizers can implement heat mitigation measures, infrastructure limitations make it difficult to provide comprehensive cooling solutions across an entire event area. Participants must take personal preventive actions, yet even individuals with high heatstroke awareness struggle to recognize their accumulating risk in real time, delaying necessary countermeasures. Previous studies have shown that visualizing users' current heat exposure influences behavior, but the impact of visualizing future risk had not been thoroughly examined. This study evaluates whether visualizing accumulated heatstroke risk based on walking speed influences participant behavior, helping them make informed decisions before their risk escalates. The proposed system estimates how far users can travel before reaching dangerous heat exposure levels and presents heat-risk-aware route options to encourage safer navigation. To assess the system's effectiveness, we compared behavioral differences between groups with and without risk visualization, analyzing break frequency, break duration, and decision-making factors. By incorporating heat-aware navigation, we aimed to determine whether participants would proactively adjust their behavior based on risk anticipation rather than reacting solely to physical discomfort. The results showed that the information-provided group took more frequent and longer breaks, particularly among participants in their 30s, who rested five times, whereas in the information-not-provided group, participants in their 20s took no breaks, and the group's average break duration was only 13 seconds. KH Coder analysis of interview responses revealed a clear contrast in decision-making. Participants without risk visualization made break decisions based on physical fatigue, while those with information took breaks strategically, considering "risk," "heat," and "location" as key factors. This shift indicates that risk visualization transformed break-taking behavior from a reactive response to a preemptive heatstroke prevention strategy. These findings highlight that heatstroke risk visualization promotes proactive risk-avoidance behavior by enabling participants to anticipate and manage their heat exposure more effectively. Additionally, integrating heat-aware route selection helps users control their movement patterns and minimize unnecessary heat stress. Future studies will focus on validating these findings under varying environmental conditions and refining system accuracy and information presentation to enhance usability and practical application in outdoor event settings.			
Keywords (5 words) Geospatial Information System (GIS), Heat Stroke Risk, Summer Event, Visualization, Behavioral Change			

目次

第 1 章 はじめに	1
1.1 気温上昇に伴う熱中症リスクの増加	1
1.1.1 気候変動による気温上昇	1
1.1.2 気温の上昇と熱中症の関係性	4
1.2 熱中症被害の現状	7
1.2.1 近年の熱中症搬送者数の推移	7
1.2.2 夏季の大規模イベントにおける熱中症患者の発生状況	8
1.3 現状の対策	9
1.3.1 政府機関の熱中症対策	9
1.3.2 自治体の熱中症対策	11
1.3.3 民間による熱中症対策	12
第 2 章 課題の分析	14
2.1 屋外周遊型イベントの特徴	14
2.2 屋外周遊型イベントの課題	15
2.2.1 イベント運営者の課題	15
2.2.2 イベント参加者の課題	16
2.3 課題の総括	17
第 3 章 関連研究	18
3.1 暑熱下におけるルート選択	18
3.2 暑熱下における可視化された情報の提供と利用者の行動変容	19
3.3 移動時のリスク認知を促すナビゲーション	21
3.4 関連研究での解明点と未解明点	23
第 4 章 提案	25
4.1 本研究の目的	25
4.2 提案システムのコンセプト	25
4.3 提案システムによって実現したいシナリオ	27

4.3.1 AS IS (現状の課題)	27
4.3.2 TO BE (提案システムによる改善)	27
第 5 章 設計	2
5.1 システム構成	2
5.1.1 ユーザー情報取得モジュール	5
5.1.2 WBGT 算出モジュール	5
5.1.3 周遊イベント観光スポットデータベース	5
5.1.4 熱中症リスク距離計算モジュール	6
5.1.5 通常(最短経路)ルート設計モジュール	11
5.1.6 避暑ルート設計モジュール	12
5.1.7 ルート提示モジュール	12
5.2 本システムの機能の流れ	13
第 6 章 評価	16
6.1 検証方法	16
6.1.1 検証概要	16
6.1.2 プロトタイプによる実装	17
6.1.3 検証プロセス	20
6.2 評価方法	22
6.2.1 熱中症リスクの高まる距離の妥当性	22
6.2.2 熱中症予防行動の実践に対する有効性	22
6.3 データ収集方法	23
6.3.1 熱中症リスクの高まる距離の妥当性	23
6.3.2 熱中症予防行動の実践に対する有効性	24
6.4 結果	29
6.4.1 被験者の歩行時の移動データ	29
6.4.2 アンケート結果	36
6.4.3 ヒアリング結果	37
6.4.4 休憩回数	41
6.4.5 休憩継続時間	42

第 7 章 考察	44
7.1 休憩行動の質的・量的変化と情報提示の役割	44
7.2 社会実装における課題.....	45
7.2.1 暑熱下の検証によるシミュレーションの妥当性の確認	45
7.2.2 本システムの情報提示のあり方と今後の展望.....	46
第 8 章 まとめ	47
参考文献	51
謝辞	49

図目次

図 1 日本の年平均気温偏差の経年変化(1898～2024年)(データ出典[1])	2
図 2 全国(13 地点平均)の真夏日の年間日数(データ出典[2])	3
図 3 全国(13 地点平均)の猛暑日の年間日数(データ出典[3])	3
図 4 東京・名古屋・大阪の 3 都市の平均と 15 地点平均の年平均気温偏差の経年変化(データ出典[5])	4
図 5 日最高気温別熱中症搬送数(率)(2008 ～ 2021 年)(データ出典[17])	6
図 6 日最高暑さ指数別熱中症搬送数(率)(2008 ～ 2021 年)(データ出典[17])	6
図 7 年別熱中症搬送者数(データ出典[18])	7
図 8 熱中症による死亡者数(5年移動平均)の推移(データ出典[19])	8
図 9 イベント会場における暑熱環境の緩和(データ出典[27])	11
図 10 熱中症リスクの可視化マップの提供(筆者作成)	26
図 11 熱中症リスクを低減するためのルートを提示(筆者作成)	27
図 12 想定しているシナリオ(筆者作成)	1
図 13 システム構成図(筆者作成)	4
図 14 年齢に応じた相対的最大酸素消費量(mL/kg/分)([65]Table1,2 を参照し筆者作成)	10
図 15 機能の流れ(筆者作成)	15
図 16 本検証におけるスコープと検証手段(筆者作成)	19
図 17 ユーザーへのアンケート(筆者作成)	20
図 18 リスク把握時の被験者への表示画面(筆者作成)	21
図 19 ルート選択時の被験者への表示画面(筆者作成)	22
図 20 情報提示ありグループの実測値と予測値の移動時間の違い(筆者作成)	30
図 21 情報提示なしグループの実測値と予測値の移動時間の違い(筆者作成)	31
図 22 情報提示ありグループの実測値と予測値の歩行速度の違い(筆者作成)	32
図 23 情報提示なしグループの実測値と予測値の歩行速度の違い(筆者作成)	33
図 24 情報提示ありグループの実測値と予測値の熱中症リスクの高まる移動距離の違い(筆者作成)	35
図 25 情報提示なしグループの実測値と予測値の熱中症リスクの高まる移動距離の違い(筆者作成)	35
図 26 情報提供の有無による年代別の熱中症対策意識の増加数(筆者作成)	37

図 27 情報提示なしグループの休憩決定要因(筆者作成)	38
図 28 情報提示ありグループの休憩決定要因(筆者作成)	39
図 29 情報提供の有無による年代別の休憩回数(筆者作成)	42
図 30 情報提供の有無による年代別の休憩継続時間(筆者作成)	43

表目次

表 1 暑さ指数(WBGT)に応じた注意事項等(データ出典[16])	5
表 2「につぼんど真ん中祭り」での救護対応数(データ出典[25])	9
表 3 今年度における政府機関の取り組み([26]を参照し筆者作成)	10
表 4『Table 3. Gait patterns modified (1975)』([63]Table 3 を参照し筆者作成)	9
表 5 実験概要(筆者作成)	16
表 6 事前アンケート(筆者作成)	24
表 7 検証開始時アンケート(筆者作成)	26
表 8 事後アンケート(筆者作成)	27

第1章 はじめに

近年、地球温暖化の進行により気温が上昇し、それに伴い熱中症のリスクが高まっている。特に夏季の高温環境下では、熱中症による健康被害が深刻化しており、社会全体での対策が求められている。本章では、気候変動による気温上昇と熱中症の関係性を明らかにするとともに、近年の熱中症被害の実態や各政府機関や自治体、民間企業における対策の現状について整理する。

1.1 気温上昇に伴う熱中症リスクの増加

1.1.1 気候変動による気温上昇

昨今、日本において気候変動に伴う気温上昇が発生しており、気象庁は経年変化をデータで公表している。図 1に示した「日本の年平均気温偏差の経年変化」では、2023年の平均気温の基準値は、1991～2020年の30年平均値からの偏差は+1.29℃で、1898年の統計開始以降最も高い値となっている[1]。

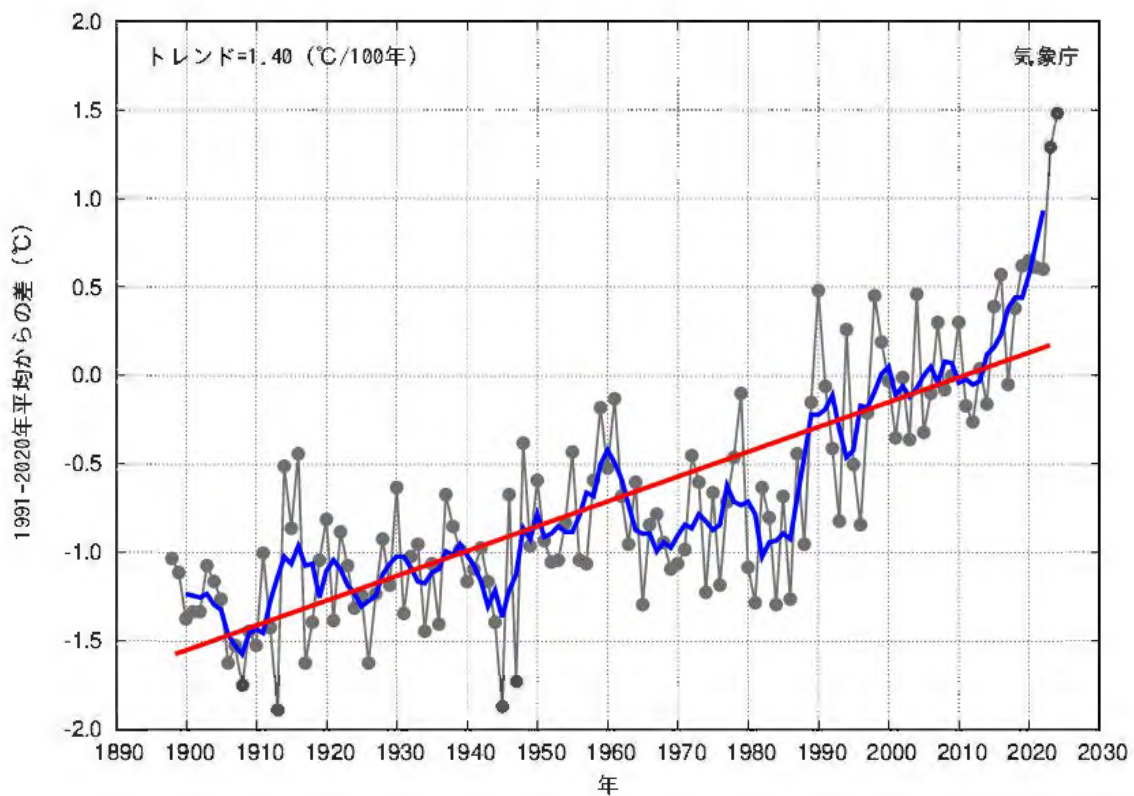


図 1 日本の年平均気温偏差の経年変化(1898～2024年)(データ出典[1])

近年、日本では極端現象の頻発しており、特に夏季の気温上昇が顕著である。極端現象とは、特定の基準を超える異常な気象現象のことで、例えば、日最高気温が35℃以上の猛暑日や1時間降水量50mm以上の強い雨などが含まれる[2]。特に、夏場における気温の上昇は急激な変化として多く現れ、全国の真夏日(最高気温30℃以上)の年間日数は増加傾向を示している。気象庁が公表している「全国(13地点平均)の真夏日の年間日数」から引用した図 2によると、統計期間1910～2023年において真夏日は100年あたり8日増加しており、この傾向は信頼水準99%で統計的に有意を示している[2]。

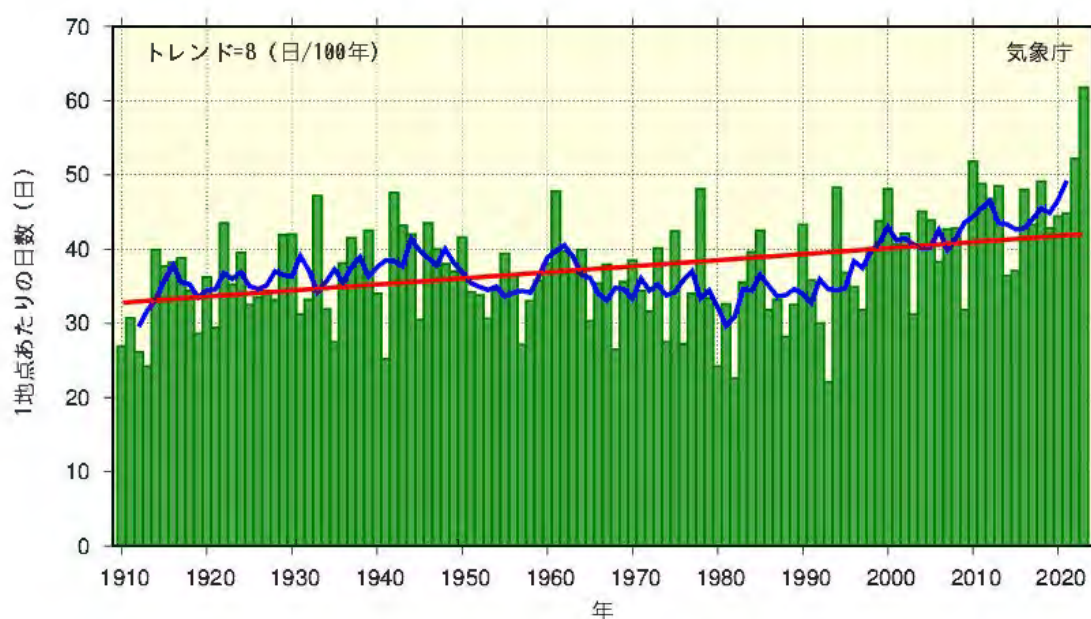


図 2 全国(13 地点平均)の真夏日の年間日数(データ出典[2])

同様に全国の猛暑日の年間日数も増加傾向を示している。気象庁は1910年から2023年まで猛暑日の年間日数のデータを公表しており、図 3の「全国の日最高気温35℃以上(猛暑日)の年間日数の経年変化」では、この100年で猛暑日は年間2.3日の増加傾向が見られる[3]。

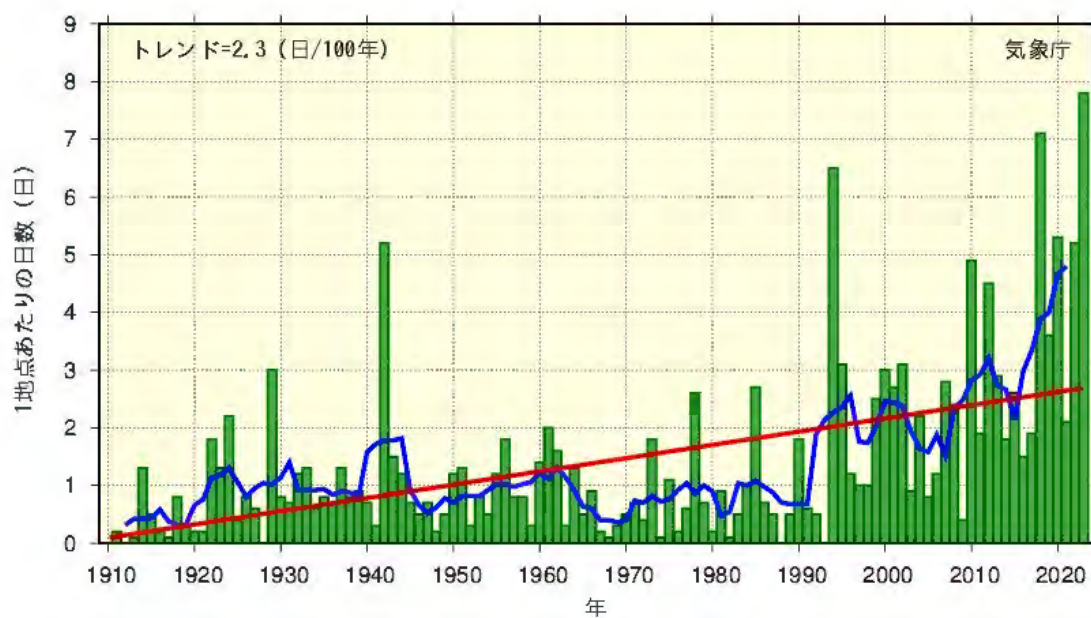


図 3 全国(13 地点平均)の猛暑日の年間日数(データ出典[3])

また都市部では気候変動に加え、都市化に伴うヒートアイランド現象による気温上昇も生じている[4]。気象庁によると、日本の大都市と、都市化の影響が比較的小さいとされる全国15地点を対象に、1927年から2023年における気温(平均気温、日最高気温、日最低気温)の変化を比較検証した図 4では、大都市の気温上昇量の方が大きく、観測地点ごとの差はあるものの、年平均気温では全国15地点の平均値より0.4~1.7℃高いことが確認された。

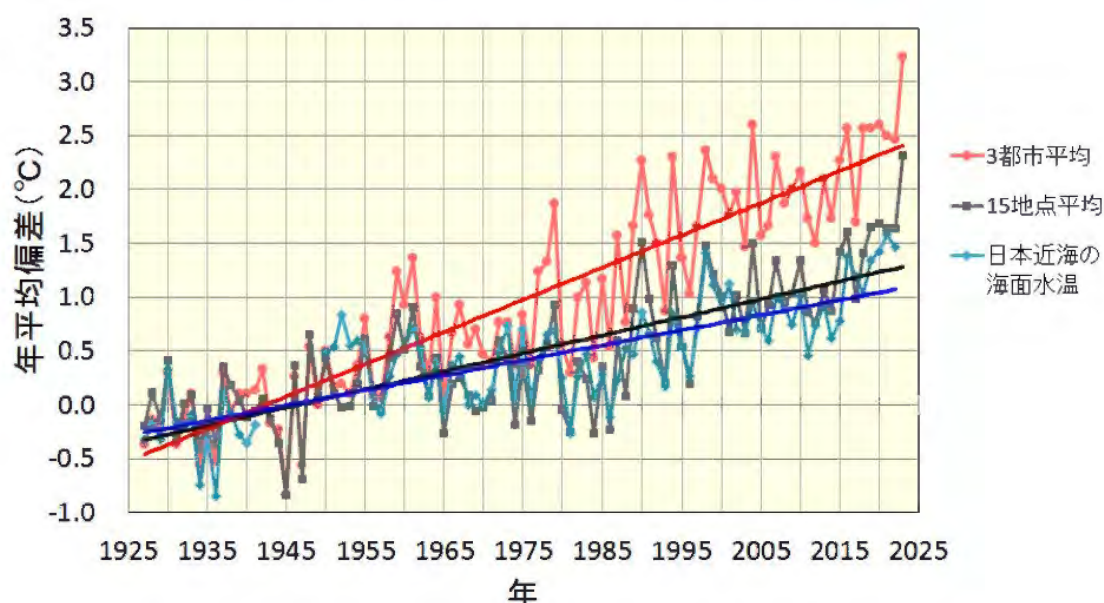


図 4 東京・名古屋・大阪の3都市の平均と15地点平均の年平均気温偏差の経年変化(データ出典[5])

1.1.2 気温の上昇と熱中症の関係性

前項では、日本における気温の上昇率に触れてきたが、気温は熱中症の発生に最も寄与する気象要素であることが、多くの研究により報告されている。例えば、Hajatらによってイギリスを対象に行われた研究では、高温に伴う死亡率の増加が確認されており[6]、さらにRuttanらによってアメリカを対象に行われた研究では40℃を超える高温環境下では死者数が顕著に増加することが示されている[7]。また、台湾でも出現率が5%未満の40℃を超える高温環境下では死亡率が上昇することがSungらによって報告されている[8]。加えて、熱波時には、特に都市中心部が高温状態になり、熱中症のリスクを増加させることがTomlinsonらの研究で明らかになっている[9]。さらに、イタリアでは熱波時に病院の入院患者が16%増加し、高温に伴う死亡率が増加することが報告されている[10]。熱中症予防のための指標としては、アメリカでは Heat Index(気温と湿度の多項式)[11]の指標を活用し[12]、イギリスやオーストラリアなどは気温を指標として使

用している[13] [14]。一方、夏期の湿度が高い日本では、気温だけでなく湿度も熱中症の増加に大きく寄与する。また、日射の影響も考慮する必要があることから、気温、湿度、風、輻射の気象条件を組み合わせた指標としてWet Bulb Globe Temperature(以下、WBGTとする。)が推奨されている[15]。またWBGTに対応する行動指針としては、表 1に示したような運動時および日常生活における注意事項が、日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3.1」(2021) や日本スポーツ協会スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック(2019)に示されている。

表 1 暑さ指数(WBGT)に応じた注意事項等(データ出典[16])

暑さ指数 (WBGT)による 基準域	注意すべき生活 活動の目安 ^{※1}	日常生活における 注意事項 ^{※1}	熱中症予防運動指針 ^{※2}
危険 31以上	すべての生活 活動でおこる 危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	運動は原則中止 特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。
厳重警戒 28以上 31未満		外出時は炎天下を避け室内では室温の上昇に注意する。	厳重警戒(激しい運動は中止) 熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20分おきに休憩をとり水分・塩分を補給する。暑さに弱い人は運動を軽減または中止。
警戒 25以上 28未満	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休憩を取り入れる。	警戒(積極的に休憩) 熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
注意 25未満	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。	注意(積極的に水分補給) 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。

国内における環境を示す指標と熱中症に対する関係性については、環境省によって2021年に調査が行われている。この調査では、北海道、東京都、愛知県、大阪府、福岡県を対象とし、各都道府県庁所在地(東京都については千代田区)を対象として分析が行われた。日最高気温と救急搬送者数の関係については、図 5に示したとおり、北海道以外の地域では日最高気温が30℃を超えると人口10万人あたりの1日の搬送数が増加し始め、気温が上昇するにつれて

搬送数がさらに増加する傾向が見られた。また、日最高WBGTと熱中症の関係を示した図 6では、28℃を超えると徐々に熱中症搬送者数が増加していることが明らかになった。

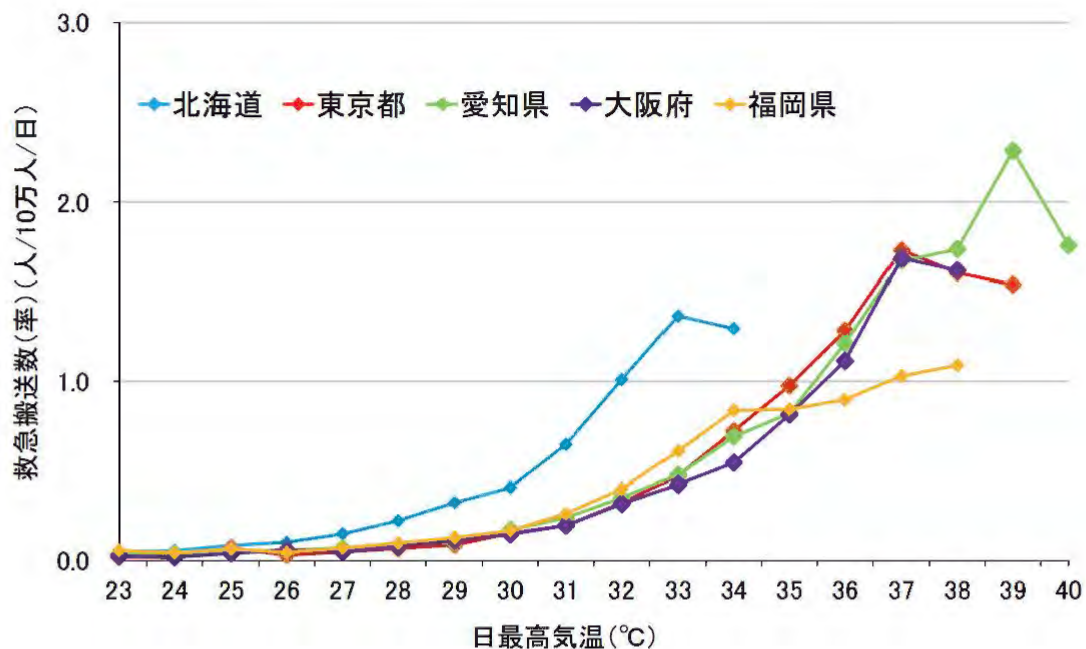


図 5 日最高気温別熱中症搬送数(率)(2008 ～ 2021 年) (データ出典[17])

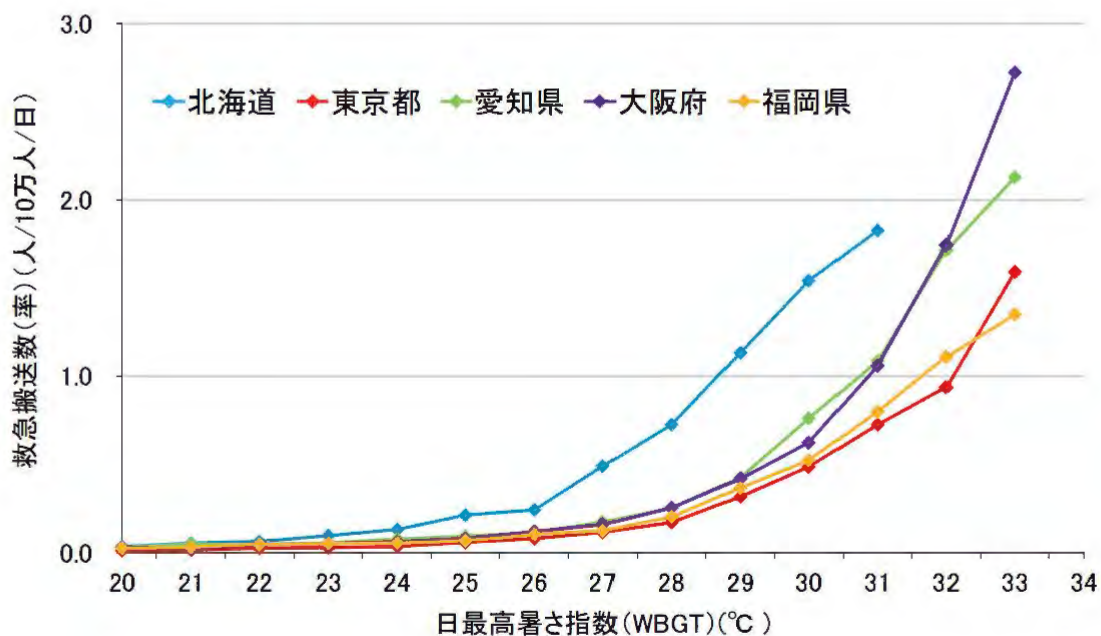


図 6 日最高暑さ指数別熱中症搬送数(率)(2008 ～ 2021 年) (データ出典[17])

1.2 熱中症被害の現状

前節では、近年の気温上昇と熱中症被害との関係について論じた。本節ではこれを踏まえ、熱中症被害の実態についてより詳細に説明する。

1.2.1 近年の熱中症搬送者数の推移

総務省消防庁の報告によると、図 7に示したとおり全国で熱中症で救急搬送された人数は、2010年(平成22年)以降大きく増加し、全国の2024年における熱中症救急搬送人数は、累計97,578人に達した[18]。この数値は、平成20年に調査が開始されて以来、最も多い搬送人員数である。

また環境省の報告[19]によると図 8に示したとおり熱中症による死亡者数は高い水準で推移しており、2018年から2022年までの死亡者数の5年移動平均は1,313人となった。このように熱中症による死亡者数は増加傾向が続いており、近年では年間1,000人を超える年が頻発する状況にある。

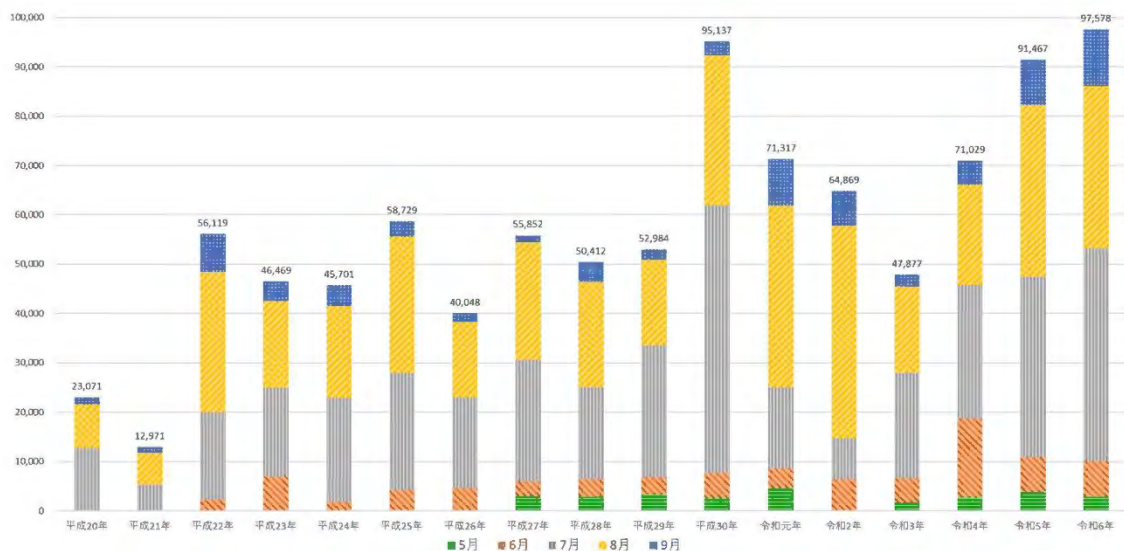


図 7 年別熱中症搬送者数(データ出典[18])



図 8 熱中症による死亡者数(5年移動平均)の推移(データ出典[19])

1.2.2 夏季の大規模イベントにおける熱中症患者の発生状況

特に、夏季の大規模イベントにおける熱中症被害が懸念されている。本研究における夏季の大規模イベントの考え方は、マスギャザリングの概念を基本とする。マスギャザリングの具体的な定義については、国際的に統一された基準は存在しないものの、日本集団災害医学会では、「一定期間、限定された地域において、同一目的で集合した多人数の集団」と定義されている[20]。各種スポーツ競技会や、地域振興を目的としたイベントや祭りなどがこれに該当し、集団災害発生のリスクが高い。このような集団災害発生のリスク因子としては、群衆サイズやイベントタイプ、気象条件や屋内・屋外といった環境条件、群衆の移動性、公衆衛生設備が大きく影響する[21]。また、被害として、熱中症や失神等の大量発生、観客席や橋の崩落、屋台などでの火災や爆発、暴動などによる多数傷病者の発生が懸念されている[23]。

オーストラリアで12か月間にわたり、延べ1,200万人を超える観客が参加した201件の大規模集会を対象とした調査では、参加人数1,000人につき、0.992人が救護所を受診し、また1,000人につき0.027人が熱中症の疑いで救急搬送されるといった報告がなされている[23]。

日本での事例として、横浜で開催された音楽イベントにおいては、熱中症とみられる症状で倒れる人が相次ぎ、36人が救急搬送され、そのうち7人は入院が必要な中等症以上の熱中症であった事例[24]や、愛知県名古屋市で毎年8月に開催される「につぼんど真ん中祭り」を対象とした環境省による調査では表 2に示したとおり、救護所を受診した人数のうち年平均で37.6%が熱中症の症状であった[25]事例が報告されている。

表 2「につぼんど真ん中祭り」での救護対応数(データ出典[25])

		参加者 (万人)	軽症 (現場対応等)	中等症 (救護所対応)	重症 (救急搬送)	熱中症 (疑いを含む)	救護所受付数 /万人	熱中症 /万人	熱中症 /受付数	搬送数 /万人	搬送数 /受付数
第7回	2005年	197	—	—	30		—			0.1523	—
第8回	2006年	180	30	25	2		0.32			0.0111	3.5%
第9回	2007年	185	35	44	9		0.48			0.0486	10.2%
第10回	2008年	140	22	20	1		0.31			0.0071	2.3%
第11回	2009年	209	21	18	1		0.19			0.0048	2.5%
第12回	2010年	210	28	21	3		0.25			0.0143	5.8%
第13回	2011年	196	35	13	2	12	0.26	0.0612	24.0%	0.0102	4.0%
第14回	2012年	198	25	27	3	36	0.28	0.1818	65.5%	0.0152	5.5%
第15回	2013年	153	27	5	3	11	0.23	0.0719	31.4%	0.0196	8.6%
第16回	2014年	220	22	18	3	14	0.20	0.0636	32.6%	0.0136	7.0%
第17回	2015年	180	29	14	1	13	0.24	0.0722	29.5%	0.0056	2.3%
第18回	2016年	220	28	9	5	16	0.19	0.0727	38.1%	0.0227	11.9%
第19回	2017年	225	25	12	3	17	0.18	0.0756	42.5%	0.0133	7.5%
第20回	2018年	221	45	47	7	—	0.45	—	—	0.0317	7.1%

1.3 現状の対策

前節では、日本全体における熱中症被害の実態と、夏季のイベントにおける被害状況について論じた。本節では、これらを踏まえ、熱中症被害に対する政府、自治体、民間の観点から講じられている対応策について概観する。

1.3.1 政府機関の熱中症対策

表 3に示したとおり国の各政府機関は、それぞれの役割や対象領域に応じた熱中症対策を展開しており、内閣府による自治体を通じた熱中症対策予防の普及活動や、文部科学省の学校教育活動等における熱中症事故防止通知と「チェックリスト」を含むガイドラインの作成など、その取り組みは多岐にわたる。以下に今年度に行われた政府機関の取り組みの一部を示す。

表 3 今年度における政府機関の取り組み ([26]を参照し筆者作成)

政府機関	日程	詳細
内閣府	通年	内閣府防災情報のページや各自治体への事務連絡にて、災害時における熱中症予防の普及啓発を実施
内閣府	災害発生時に都度	災害救助法が適用された都道府県に対し、避難所の運営における熱中症対策に留意するよう通知を発出
こども家庭庁	5 月 31 日	地方自治体に対して「教育・保育施設等におけるプール活動・水遊びの事故防止及び熱中症事故の防止について」を発出
こども家庭庁	4 月 26 日	ソーシャルメディアを活用した熱中症に関する注意喚起を実施
こども家庭庁	7 月 15 日～ 7 月 21 日	令和6年度「こどもの事故防止週間」において、熱中症予防法や対策法に関する広報啓発を実施
総務省 消防庁	4 月 29 日～	熱中症による救急搬送人員状況について毎週速報値を公表し、月ごとの確定値を発表
総務省 消防庁	6 月 12 日～	熱中症予防啓発ポスターを作成・配布し、HPやソーシャルメディアで警戒を呼びかけ
文部科学省	通年	学校安全ポータルサイトで「熱中症予防」特設ページを公開し、普及啓発を実施
文部科学省	4 月 30 日	学校教育活動等における熱中症事故防止通知と「チェックリスト」を含むガイドライン追補版を配付

神戸市では、日傘の普及を目的とした体験型イベントを開催し、普段日傘を利用しない市民に向けた啓発活動を行った。具体的にはサステナブルな日傘づくり体験を通じて、熱中症予防と環境問題への意識向上を同時に促す取り組みを実施した。このような活動は、環境配慮型ライフスタイルの普及にも貢献している[28]。

一方、熊谷市では自動販売機を活用したデジタルサイネージの導入を通じて、熱中症予防に関する情報発信を強化した。高齢者が利用する施設や人通りの多い場所に設置された自動販売機は、動画や画像を用いてクーリングシェルターの利用促進や暑さ対策の案内を行うことで、地域住民の行動変容を促した[29]。

多治見市では、地域のケーブルテレビやコミュニティラジオを活用し、高齢者層への情報提供を行った。熱中症対策を講じた店舗を紹介する番組を制作し、熱中症が発生しやすい夏季に放送することで、インターネットを利用しない高齢者にも効果的に情報を届けた[30]。

これらの取り組みは、国の政府機関のマクロな取り組みに対し、それぞれの自治体が地域特性や課題を考慮しつつ、住民の意識変容や行動変化を促進する工夫を凝らしている点で特徴的である。

1.3.3 民間による熱中症対策

民間企業ではそれぞれの事業特性を活かし、多様な熱中症対策を実施している。ダイキン工業株式会社は、自社ホームページを通じて、熱中症予防行動に関する情報を広く発信し、快適な空間作りをサポートしている[31]。損害保険ジャパン株式会社は、熱中症による死亡や入院を補償対象とする「熱中症特約」を導入した保険商品を展開し、公式ウェブサイトやチラシを通じて予防行動の啓発を進めている[32]。パナソニックホールディングス株式会社は、エアコンや温湿度センサー搭載家電など、熱中症対策に役立つ製品を開発・販売するとともに、予防の重要性を訴求する広報活動やイベントの実施を行っている[33]。三菱電機株式会社は、パッションフルーツを使った緑の屋根の展開や、空調設備の適切な活用を呼び掛けている[34]。東急株式会社と株式会社東急パワーサプライは、節電行動と脱炭素を促進する「OFF&GO」プロジェクトを展開し、熱中症予防と環境負荷軽減の両立を目指している[34]。イオンモール株式会社は、施設内において熱中症予防を啓発する案内板やチラシを設置し、快適で安全な環境を提供するとともにクーリングシェルターとしての空間の提供を実施している[36]。

本章では、近年の気温の上昇が熱中症のリスクを高めており、熱中症被害が増加傾向にあること、特に夏季の大規模イベントにおける発生状況について整理し、熱中症のリスクに対し、政府機関、自治体、民間企業による熱中症対策の現状を述べた。これらを踏まえ、第2章では現状の課題をさらに分析し、夏季の屋外イベントにおけるより効果的な熱中症対策の必要性について論じていく。

第2章 課題の分析

近年、屋外で開催されるイベントの人気の高まる一方で、気温の上昇に伴い、熱中症による健康被害のリスクも増大している。特に屋外イベントの中でも屋外を徒歩で周遊するイベント(以下、屋外周遊型イベントとする。)は屋外での滞在時間が増えることに加え、歩き続ける事によって体温が上昇し、熱中症のリスクが高まる。本章では屋外イベントの中でも屋外周遊型イベントに焦点をあて、イベント運営者と参加者の双方が直面する課題を整理し、熱中症対策の現状とその限界について明らかにすることで、今後の効果的な対応策の検討に繋げる。

2.1 屋外周遊型イベントの特徴

本研究では、夏季に実施される屋外イベントの中でも屋外周遊型のイベントを対象とし、研究を行う。また「屋外周遊型イベント」を、特定の地域内において参加者が複数の地点を巡りながら活動を行うイベントとして定義する。イベントの効果は複合的であるが、地域振興の手段として行われるイベントの場合、地域内の回遊性向上をイベント効果の1つとして期待し実施されるケースが少なくない[37]。その理由は、地域の回遊性が向上することで、個々の施設、商店の集客力や、地域全体の認知度・魅力が高まるためである。また、訪問者はイベントの開催によって目的以外の場所も訪れる機会となり、訪問先で新たな出会いや経験を得られる。このようなイベントを体験することによって得られる心理的充足感が、将来の再訪意向を高めるとされている[38]。例えば、大阪府守口市で開催された「謎解き宝探しin守口市 江戸川乱歩が残した最後の小説」は、地域全体を舞台に謎解きの要素を組み込み、地域の歴史や文化を楽しみながら学べるイベントとして設計されている。このような体験型周遊イベントは、地域のストーリー性を活かしつつ参加者の興味を引き出す工夫がなされている[39]。

また、神奈川県横浜市港北区で実施された「第12回港北オープンガーデン」は、複数の庭園を巡りながら地域住民が育てた個人庭園を楽しむイベントであり、地域の自然や住民の取り組みを活かした特徴がある。参加者は徒歩で移動しながら地域全体を回遊することで、日常では気づきにくい地域資源に触れることができる[40]。さらに神戸市長田区で開催された「鉄板こなもん祭」は、商店街内を回遊する形式で実施されたイベントであり、複数の飲食店を巡りながら地域特産の料理を楽しむことができる。[41]。

周遊型イベントは、その移動距離に応じていくつかの形式に分類することができ、その特徴も異なる。近距離を周遊する形式では、商店街や街区を中心に短い距離を回遊するイベントが一般的であり、手軽に参加できる点が特徴である。一方で、まち全域を対象とした形式では、広範囲にわたる移動が必要となるが、地域全体の多様な魅力を体験できる利点がある。

例えば、長田区の「鉄板こなもん祭」は、商店街内を回遊する形式で実施されたイベントである。これに対して、港北区で実施された「港北オープンガーデン」は、全域を舞台とする形式のイベントである。

本研究では、これらの分類の中でも屋外での移動時間が長くなる地域全域を対象とした周遊型イベントに焦点を当てる。この形式の屋外周遊型イベントの特徴として、広範囲にわたる移動を伴うため、地域全体を活用した観光振興や経済活性化の可能性を提供する。しかし、大規模な屋外イベントを開催する際、特に高温にさらされやすい歩行者にとって、熱中症のリスクを軽減することの重要性が指摘されており[42]、熱中症を考慮した対策が重要となる。

2.2 屋外周遊型イベントの課題

2.2.1 イベント運営者の課題

前項で示した通り、屋外周遊型イベントは、参加者が複数の地点を巡る過程で屋外を移動し続ける特性を持ち、夏季に開催される場合には特に熱中症リスクが高まる可能性が高い。このようなリスクを減少させるため、地方自治体やイベント主催者が大規模な屋外イベントでさまざまな対策を行うことが必要不可欠となる。その中でも最も容易に実行可能な方法の一つは、イベントの開催時刻を早朝または夕刻に設定することである[43]。しかしながら、この手法には限界があり、早朝の開催は来場者数の減少をもたらす可能性があり、夜間の開催では運営コストの増加やリスクの上昇が懸念される[44]。

また、屋外での暑熱環境を緩和するための設備を配置することも解決策の1つとして考えられる。暑熱環境を緩和するための設備に関する研究も多く行われている。例えば、樹木や藤棚などの緑陰の利用に関する研究では、緑量の多い街路樹の下では、日向と比較してWBGTが約2℃低下する効果が示されている[45]。人工日除けに関する研究では、コンクリートや金属等の日射を透過しない材質が日射を全て遮り、オーニングやテントでは6～9割程度の日射を遮ることが確認されている[46]。地表面の保水化を活用した研究では、通常のアスファルト舗装と比

較して保水性舗装の表面温度が10～15℃低く、気温よりも5～12℃高い温度に保たれることが実証されている[47]。加えて、打ち水を行った場所ではWBGTが0.3℃低下することが報告されており、地表面の冷却が暑熱緩和に寄与する可能性が示唆されている[48]。水冷式ベンチに関する研究では、座面を27℃程度に保った水冷式ベンチに15分間着座することで、標準的有効温度(SET)が2.4～3.6℃低下することが明らかとなっており、水冷式ベンチが体感温度の改善に寄与する有効な手段であることが示されている[49]。これらの研究は、暑熱環境下での快適性向上や熱中症リスクの軽減に有効であることを示している。

しかし、今回対象としている周遊型イベントにおいて、地域全体に暑熱環境の緩和設備を設けることが理想であるが、コスト面を考慮すると現実的には暑熱環境を緩和する設備を連続的に設置することは困難である可能性が高い。

2.2.2 イベント参加者の課題

一方で、イベント参加者の視点で考えると、連続した移動によって蓄積する熱中症リスクを認識することが困難になる可能性がある。熱中症リスクを認識する難しさについて述べている研究では、尾崎平らによって2019年野球のクラブ活動時の熱中症の実態を明らかにするために、夏季の21日間の実態調査を行なった研究がある。尾崎らは体育会野球部の部員を対象に、熱中症に対する意識調査と熱中症の症状の有無、クラブ活動中の対処行動の有無、生活行動の内容の確認などを実施した。その結果、熱中症に関するリスクの認識や行動意図は高い傾向にあったが、それでも熱中症の症状が確認された。またその要因として、熱中症へのリスクの理解度が高くても、無意識のうちに自身の体調やWBGT、連続活動日数から熱中症の症状を引き起こされ、体調や疲労の蓄積による潜在リスクに気づくことは困難であることが明らかにされた[50]。

また、尾崎平、阪上勇登らによって2020年3月に人々の熱中症対策行動を促進するための構成要素を検討する事を目的として、インターネットを活用したWebアンケート調査を実施された。本調査は、大阪府大阪市および豊中市に在住する20歳以上の住民524名(男性262名、女性262名)を対象に、熱中症に関する関心、認識、意識、ならびに屋内外での熱中症対策行動についてヒアリングを行い、要因分析を行った研究では、若者群(64歳未満)における熱中症対策行動の実施には、行動の種類ごとに異なる要因が影響を与えていることが示された。特に、涼しい服装での外出や水分補給など、比較的实施率が高い行動(以下、「屋外上位行動」)に最も大きな影響を与えたのは「リスク受容」である。「リスク受容」とは暑さが厳しい環境下において、

自分が熱中症対策を実行できると評価する認識を指し、この認識が高いほど行動が促進される。一方、こまめに休憩を取る、冷却グッズを使用するなどの実施率が低い行動(以下、「屋外下位行動」)では、行動の実施に影響を与える要因として、「外力認知」の重要性が確認された。「外力認知」とは、自分のいる環境が熱中症を引き起こしやすい状況であることを認識する力を指し、この認識が深まることで、熱中症リスクを意識した行動が促進されることが明らかになった[51]。

2.3 課題の総括

本章では、屋外周遊型イベントにおける熱中症リスクの要因を整理し、運営者と参加者の双方が抱える課題を明らかにした。屋外周遊型イベントにおける熱中症リスクの課題を総括するとイベント運営者は、時間の調整や緑陰や人工日除けなどの暑熱環境を緩和するための整備を効果的に行うことが求められる。しかし、実際には屋外周遊型イベントを想定した際にイベント時間の調整や暑熱を緩和するための設備を地域全体に継続的に配置することに限界があることが示唆された。

次に参加者に関しては、連続した移動による熱中症リスクの蓄積が問題となるため、自身の熱中症リスクを正しく認識し、適切な対策を講じることが重要である。しかし、熱中症のリスク認識が困難であり、対策行動を実施するには、個々の「リスク受容」や「外力認知」を考慮しなければならないことが明らかになった。

これらの課題を踏まえ次章では、屋外周遊型イベントにおける熱中症リスクを軽減するための関連研究を整理しより効果的な熱中症対策の可能性について検討する。

第3章 関連研究

本章では、屋外周遊型イベントにおける熱中症リスクを軽減するための関連研究を整理し、その解明点と未解明点を明らかにする。前章で示したように、イベント運営者と参加者の双方が熱中症リスクを認識し、適切な対策を講じることが求められる。しかし、実際には暑熱環境を大幅に改善することは難しく、また参加者が自身の熱中症リスクを正確に把握し、適切な行動を取ることも容易ではない。近年、暑熱環境下でのルート選択、情報の可視化による行動変容の促進、リスク認知を促すナビゲーション技術など、多角的な研究が進められている。これらの研究を整理し、屋外周遊型イベントの特性に即した効果的な熱中症対策の可能性について検討する。

3.1 暑熱下におけるルート選択

暑熱下のルート選択に関する関連研究としては、Julian BrunsとJoachim Rußigによって2017年に実施された研究がある。都市部における歩行者の熱ストレスを軽減する方法として、ルート選定と最適な外出時間の選定を提案することを目的として行われた。具体的には、歩行者が日常的に行う活動の中で、熱ストレスを減少させるための最適な移動経路と、最も快適な外出時間を提案することに焦点を当てた。調査は、ドイツのカールスルーエ市をモデル都市として、地図データ(OpenStreetMap)と気象データ(ドイツ気象庁の気温と湿度)を使用して行われた。

Julianらの研究の方法は二段階から成り立っている。第一に、歩行者が最小限の熱暴露で目的地に到達できるように、熱ストレスを最小化するルートを計算する。この計算には、都市内の気温や湿度などの気象データを元に、最適な経路を選定するアルゴリズムを使用した。第二に、最適な外出時間を提案することで、日中の高温を避けた最適な時間帯を計算する。この方法は、特に朝や夕方に出出することを促すことを目的としている。

調査結果は、提案された方法が熱ストレスを大幅に軽減する可能性があることを示している。1,000組の出発地点と目的地点を対象に評価を行った結果、熱暴露は平均で約4.7%削減され、最大で25.97%の減少が確認された。移動距離の増加は最大5.76%にとどまり、熱ストレスを軽減するために追加される距離は許容範囲内であった。また、最適な外出時間を選ぶことで、熱ストレスは最大62.2%削減されることが確認された。

これらの結果は、都市部における歩行者の熱ストレス軽減に向けた実践的な手段として屋外での活動時の時間やルートを選択時に有効であり、屋外で活動を行う人にとって有益であることを示唆している[52]

また、2021年にYan Wuらによって発表された研究では、大規模な屋外イベントにおける熱中症リスクを低減させることを目的として実施された。具体的には、救護ステーションの配置、歩行者ルート、および救護ステーションへの供給量のスケジューリングを統合し、熱中症リスクを低減する方法を提案した。対象イベントとして、東京オリンピックを事例として取り上げ、熱中症リスクを最小化するための最適化モデルを構築し、シミュレーションでその効果を検証している。

本研究では、歩行者の流れ、施設配置、道路ネットワーク、および気象データなどの多様な情報源を統合し、混合整数非線形計画法(MINLP)を用いて、歩行者のルート、救護ステーションの位置、および供給量を最適化するアプローチを採用した。熱中症リスクの評価指標としては、WBGT、空視率(SVF)、歩行者密度が用いられ、これらの指標を基に定量的に評価している。

シミュレーションにおいては、オリンピック開催期間中の2週間を対象として検証を行い、熱中症リスクが顕著に低減することが確認された。特に、オリンピックのスケジュール、太陽放射強度、救護ステーションの数が熱中症リスクに対して重要な影響を与えることが示された。本研究から、供給量の最適化や救護ステーションの数の増加により、リスクを一層低減できることが明らかとなり、最適なルートと供給量のスケジューリングが、熱中症予防において重要であることが示唆された。[53]

3.2 暑熱下における可視化された情報の提供と利用者の行動変容

暑熱下における可視化された情報の提供と利用者の行動変容に関する関連研究として、柴田祥江らにより2018年に実施された研究がある。本研究は、高齢者の夏期における室内温熱環境とその影響を調査することを目的として行われた。具体的には、高齢者の住宅内における室内温熱環境の状況を把握し、室内温熱環境に対する意識および行動を明らかにするとともに、体感温度の認識(温度の見える化)が高齢者の行動変容に与える影響を検討した。調査は、74軒の住宅において5カ所の温湿度測定を実施し、その結果、居間や寝室などの室内温熱環境が高温に達しており、熱中症が発生する危険性があることが確認された。また、調査対象者の77.3%が熱中症対策に高い関心を示しており、最も多く実施されていた対策行動は「水分補給」(96%)であったが、「エアコンの使用」は42.7%にとどまっていた。

体感温度の認識(温度の見える化)が高齢者の行動変容に与える影響の検証では、被験者に温湿度計を配布し住民が自身の体感温度を把握した後、体感温度認識に基づく熱中症対策への意識と行動の変化を調査した。結果として体感温度を把握した後には、行動に変化が見られ、特に「エアコンの使用率」が60%に増加した。これらの結果は、体感温度を認識することが高齢者の行動に実際の変化をもたらす有効な手段であることを示唆している。

本研究により、体感温度の「見える化」が高齢者にとって有効な熱中症対策の手段となる可能性が示され、住宅環境の改善が高齢者の行動変容に寄与することが確認された。[54]

また、山口大学の岡田博嗣らによって行われた研究では、都市建築環境におけるCDF(数値流体解析)結果の可視化情報に関する情報エントロピーを最小化することを目的として行われた。具体的には、都市部の風環境を対象とし、CFD解析を用いて得られたシミュレーション結果がどのように直感的に理解されるか、またその可視化情報が都市計画者やクライアント、さらには市民に対して効果的に伝わるための表示方法を検討した。調査は、CFD解析に基づく風環境の可視化画像を使い、参加者に対してその風の強弱に関する直感的な印象を評価させるという方法で行われた。

実験は2回に分けて行われ、第1回目では、CFD解析結果から得られた可視化画像における色の配色やベクトルの長さ、コンターの数などが風の強弱に対する印象に与える影響を調査した。これにより、特に色配色が強風をより強調して感じさせる傾向があることが確認された。逆に、風速が弱い領域においても色の配色を変更することで、強い印象を与えることができることが明らかとなった。第2回目の実験では、第1回目の結果をもとに、特に色配色の影響をさらに深く掘り下げ、強風区域と弱風区域での印象の違いがどのように認識されるかを詳細に分析した。

実験結果からは、色配色の変更が直感的に風の強さに対する理解に大きな影響を与えることが示された。特に、色の逆転(例えば、弱風区域を赤色で表示すること)が風の強さの印象に顕著な変化をもたらすことが確認された。また、ベクトルの長さやコンターの数など、他の視覚的要素も風環境の強さに対する印象に影響を与えることがわかった。このことは、都市設計や建築設計において、非専門家に対しても直感的に理解されやすい可視化情報を提供するためには、可視化の方法を慎重に選定する必要があることを示唆している。

本研究により、都市風環境に関するCFD解析結果を可視化する際に、その情報エントロピーを最小化するための表示方法が重要であることが示された。また、情報の視覚的な表現方法

が、市民に対して都市の風環境を直感的に理解させるための有効な手段となり得ることが確認された。[55]。

深谷恭平らによって2023年に行われた研究では、東京・丸の内および大手町地区において、温熱環境情報の可視化とその対策情報が屋外空間の利用に与える影響を調査した。本研究の目的は、温熱環境情報とその対策情報を視覚的に提供することが、屋外空間の利用者の行動にどのように影響を与えるかを明らかにすることにあった。具体的には、提供された情報が利用者の移動行動や滞留行動にどのような変化をもたらすかを観察し、安全で快適な空間の利用を促進する方法を検討した。

研究は、丸の内地区のMarunouchi Street Park (MSP)と、大手町のホトリア広場を対象地に選定し、温熱環境情報とその対策情報を提供した場合としなかった場合で、利用者の行動にどのような違いが生じるかを調査した。丸の内地区では、温熱環境情報その対策情報が提供された利用者は、提供されなかった利用者と比較して、移動を伴う行動変容が見られ、特に快適な空間への移動が促進された。また、大手町においても情報提供を受けた利用者は、より快適な空間を選択する傾向が強くなった。

この研究の結果は、現在、被験者が置かれている温熱環境の可視化された情報とそれを対策するための情報提供が屋外空間での行動変容を促進し、安全で快適な空間利用を導く有効な手段となることを示唆している。特に、利用者に温熱環境に関する情報を提供することで、彼らが快適な場所を選び、移動する意識が高まることが確認された。この結果は、今後の都市空間の設計や情報提供の方法に対する重要な示唆を与えた[56]。

3.3 移動時のリスク認知を促すナビゲーション

リスク認知を促すルートナビゲーションの関連研究としては、宇田川真之らによって実施され、自動車移動中の来訪者に対する防災情報提供の改善を目的として行われた研究がある。この研究の目的は、特に災害発生時に自動車で移動する来訪者に対して効果的に防災情報を提供するシステムを評価し、その有効性を実証することであった。具体的には、カーナビゲーションシステムを用いて、地震や津波、大雨に対する警戒情報や避難指示をどのように伝達するか実験を行った。

実験は2019年3月に実施され、41名の被験者を対象に行われた。実験では、カーナビゲーションシステムを用いて、気象情報や避難指示を音声、文字、地図情報を通じて提供した。これ

により、自動車移動中の運転者が受ける情報の理解度や行動変容を観察した。実験の結果、大雨シナリオや津波シナリオにおいて、カーナビを通じて提供された避難指示が、実際に運転者の避難行動を促進することが確認された。

特に、避難指示エリアを地図上で表示することが、視覚的に直感的に理解しやすく、運転中の運転者にとって有効であったことが示された。また、音声での指示も効果的に運転者に情報を伝達し、危険エリアからの退避を促進する役割を果たした。しかし、被験者ごとに避難行動に対する意向には差が見られ、自動車を使って避難することを希望する者と徒歩で避難することを希望する者が存在した。このため、汎用的な行動指針を提供することの重要性が浮き彫りとなった。さらに、自治体間で提供される防災情報の仕様のばらつきが、情報伝達の理解を妨げる可能性があることが明らかとなり、情報提供の標準化が求められる結果となった。また、車両から降りて徒歩で避難する際に、携帯端末やスマートフォンと連携した情報提供が重要であることも確認された。

本研究の結果、自動車移動中の来訪者に対する防災情報提供の有効性が示され、特にカーナビゲーションシステムを活用した情報提供が、運転者の行動変容に寄与する可能性があることが確認された。今後の実用化に向けては、情報仕様の標準化や、徒歩避難時の情報提供手段の改善が求められることが明らかになった。[57]

また、佐藤翔輔らによって行われた、石巻市中心市街地における来街者を対象とした津波避難誘導に関する実験を通じて、避難行動の特性及び避難誘導手段の効果を評価することを目的として実施された研究がある。実験は2015年2月2日および3日の2日間にわたり、18名の市外からの訪問者を対象に行われた。実験の目的は、津波避難場所への避難行動における誘導手段として口頭インストラクションおよび津波避難誘導サインの効果を比較検討することである。

実験は、出発地である料亭「八幡家」から3つの異なる津波避難場所(羽黒山、不動尊、日和山)への避難を被験者に指示し、避難行動を観察した。実験は2つの条件下で実施された。1日目には津波避難誘導サインが設置されていない状態で、2日目には同サインを設置した状態で実験が行われた。被験者には、ウェアラブルカメラとGPSロガーが装着され、移動経路や行動の記録が行われた。

実験結果において、まず移動距離および移動時間に関する顕著な差異が観察された。津波避難誘導サインが設置されていない場合、避難に要する移動距離は平均で998.8mであり、一方、サインが設置された場合は657.8mに短縮された。目的地ごとの移動距離を比較すると、

最も移動距離が短かったのは羽黒山であり、次いで不動尊、日和山の順となった。移動時間については、サインありの場合が平均8分、サインなしの場合が約7分であり、サインの有無による時間差は予想よりも小さかった。

また、迷った箇所の数に関しても差異が観察された。津波避難誘導サインが設置された場合、迷った箇所は平均0.56箇所であったのに対し、サインが設置されていない場合は1.89箇所となり、サインが設置されていることによって迷いが少なくなることが確認された。目的地別に見ると、日和山への避難が最も迷った箇所数が多かったことが明らかとなった。これらの実験結果から、津波避難誘導サインは設置されているだけでは必ずしも有効に機能しないことが示唆された。具体的には、サインの位置や視認性、サイズに関する問題が浮き彫りとなり、これらの要素が避難誘導に与える影響についてさらなる検討が必要であることが確認された。さらに、口頭インストラクションにおいては、地域固有の名称や表現を避け、より普遍的で明確な案内が求められることが分かった。

本研究の成果は、来街者向け津波避難誘導の改善に向けた重要な知見を提供するものであり、津波災害時における来街者の安全を確保するためには、津波避難誘導サインや口頭案内の質の向上が不可欠であることを示している。[58]

3.4 関連研究での解明点と未解明点

先行研究では、都市部における暑熱下の歩行者の熱ストレスを軽減するために、ルート選択の最適化や時間の調整を行うことで熱中症リスクを低減できることが示された[52]。加えて、夏季の屋外イベントの開催時に、救護ステーションの最適配置や歩行者流動の最適化を図ることで、熱中症リスクを大幅に抑制できる可能性も示されている[53]。さらに、温熱環境と熱中症リスクに関する情報を可視化し、それを利用者に提示することで、利用者自身が快適な場所を選んだり、行動を変容させたりする効果があることが複数の調査から明らかとなっている[54][56]。

一方で、夏季の屋外イベントにおける熱中症リスクの低減を想定した際に、以下のような未解明点を明らかにする必要がある。第一に、夏季の屋外イベント時における暑熱対策としてイベント運営者の視点での環境構築がなされているが、イベント参加者の視点に立ち、イベント参加者が構築された環境に対して熱中症に対して行動変容を行う要因を基に行動を促進するような対策を行う必要がある。第二に、被験者が現在おかれている温熱環境や熱中症リスクの可視化の情報とその対策行動を提示することによって、どのような行動変容につながるかは明らかにな

っているが、屋外周遊型イベントにおいてはこれからおこる未来の熱中症リスクに対し可視化された情報とその対策行動を提示することで対象者に対しどのような行動変容に与える影響を明らかにする必要がある。

第4章 提案

本章では、夏季の屋外周遊型イベントにおける熱中症リスクを低減するためのシステムを提案する。具体的には、熱中症リスクを予測・可視化し、適切な行動を促す仕組みを構築し、参加者の自主的な対策を支援する。本章では、システムのコンセプトや実現したいシナリオについて詳しく述べる。

4.1 本研究の目的

前章の未解明点を踏まえ、本研究では夏季の屋外イベントにおける、これから起こる熱中症リスクに対し、可視化された熱中症リスク情報とその対策行動を提示することで対象者の行動変容に与える影響を明らかにする。

4.2 提案システムのコンセプト

本研究の目的を踏まえ、屋外イベント参加者の熱中症リスク低減のための歩行速度に基づく避暑ルート選択支援システム(以下、本システムとする。)を提案する。本システムは、暑熱環境下における屋外イベントにおいて、個人の性別・年代・歩行速度に基づいて算出された蓄積する熱中症リスクを可視化し、適切な対策行動を促すことで、人々の行動変容を促進することを目的とする。本研究で歩行速度に着目した理由として、暑熱環境下では活動量が増加するほど熱中症リスクが高まることが知られており[15]、歩行速度を指標とすることで、個々の活動量を推定し、より精度の高いリスク評価が可能になると考えた。また、歩行速度は性別や年代によって異なるため、それらの要素を考慮したリスク評価を行うことで、利用者の実態に即した対策を提示できる点も本システムの特徴である。さらに、年代ごとの相対的な代謝量も考慮することで、より個人に即した避暑ルートの提案が可能となる。

本システムは、熱中症リスクの可視化と行動支援の2つの仕組みにより、ユーザーに対して歩行速度に基づく避暑ルート選択を支援する。

まず、1つ目の仕組みは、ユーザーの熱中症リスクを可視化し、直感的に自分のいる環境が熱中症を引き起こしやすい状況であることを把握させる。具体的には、ユーザーから入力された年代、性別、希望する歩行速度と外部から入力されるWBGT値を基に、熱中症リスクが高まる距

離を推定し、個人ごとの熱中症リスクを図 10のように可視化(危険エリア:赤、警戒エリア:黄、安全エリア:青)する。これにより、本システムはユーザーに対して自分自身の熱中症リスクを直感的に理解させ、蓄積した熱中症リスクからユーザーがいつ、どこで危険な状況になるのかを把握させる。



図 10 熱中症リスクの可視化マップの提供(筆者作成)

2つ目の仕組みは、ユーザーが適切なタイミングで熱中症に対して対策行動を取ることを支援するものである。熱中症対策行動の実施には、自身が熱中症対策を実行できるという認識が高いほど行動が促進されることが示されている[51]。そこで、本システムでは、熱中症になるリスクが高まる前に休憩所に立ち寄るルートを図 11のように、適切な行動を支援する。具体的には、1つ目の仕組みで可視化された熱中症リスクを基に、休憩が必要なタイミングを予測し、ユーザーに適切な休憩ポイントを示すことで、リスクが高まる前に適切な休憩を取るよう誘導する。これにより、ユーザーが自身の熱中症リスクを認識し、予防的な行動を自ら選択できるようになり、結果として熱中症リスクの低減につながることが期待される。



図 11 熱中症リスクを低減するためのルートを提示(筆者作成)

4.3 提案システムによって実現したいシナリオ

4.3.1 AS IS (現状の課題)

現状では図 12のようにイベント時にマップを活用しながら蓄積される熱中症リスクの時間的・空間的変動を正確に把握することが困難である。屋外イベントでは、多様な参加者が異なる移動経路を取るため、個々の移動状況を考慮した熱中症リスクの管理は一層困難となる。この問題により、熱中症の発生リスクが高まり、参加者の安全確保が十分に行われない可能性がある。さらに、従来の熱中症予防対策は、会場全体に対する一律の注意喚起や、事前の気象情報に基づく一般的な指示にとどまり、個々の参加者の年齢、性別、歩行速度などの特性を考慮したリスク評価がなされていない。その結果イベント運営者が適切なリスク管理を行うことが難しくなる。

4.3.2 TO BE (提案システムによる改善)

本研究では、これらの課題を解決するため、個人の年齢、性別、歩行速度、WBGT値などの要因を考慮した熱中症リスクの可視化を避暑ルートの選択の支援を行うシステムを提案する。本システムでは、図 12に示すように、熱中症リスクを直感的に把握できるマップを提供する。この

マップにより、ユーザーは自身の熱中症リスクを具体的に認識し、いつ、どこでリスクが高まるかを事前に理解することが可能となる。

さらに、本システムは可視化されたリスク情報を活用し、熱中症リスクが高まる前に休憩を促す避暑ルートを提示する機能を有する。これにより、ユーザーは熱中症リスクが最小化された安全なルートを選択し、イベントを快適かつ安全に楽しむことが可能となる。

本システムの導入により、従来の一律的なリスク管理ではなく、個々の特性に応じた熱中症リスク評価と予防策の提供が可能となる。

ASIS



What
個々の移動状況を考慮したリスク管理が困難

Who
屋外イベントの参加者

When
屋外イベント開催時

Where
屋外イベント会場

Why
既存のマップでは、熱中症リスクを把握・予測できない

個人の年齢・性別・歩行速度などを考慮したリスク評価ができない



TOBE



What
個々の移動状況を考慮したリスク管理が容易

Who
屋外イベントの参加者

When
屋外イベントの開催時

Where
屋外イベント会場

Why
熱中症リスクを可視化したマップにより、参加者は自身のリスクを直感的に予測できる

個人の年齢・性別・歩行速度などを考慮しリスクの高まる前に適切な休憩を促す避暑ルートを提示し、安全なルート選択を支援する

第5章 設計

本章では、まずシステムの全体構成を示し、その後、各構成要素について詳述する。最後に、本システムの機能の流れを示し、全体の動作プロセスを整理する。

5.1 システム構成

本節ではシステムの構成要素の概要とその詳細について順に述べていく。本システムは図13に示したとおり以下の6つの主要なアルゴリズムと1つのデータベースから構成されており、各構成要素は相互に連携し、ユーザーに対し熱中症リスク情報の提供と、安全な移動をサポートする仕組みを実現している。構成要素の概要は以下の通りである。

1. ユーザー情報取得モジュール

ユーザーが入力した年代、性別、歩行速度、参加する周遊イベント名といった情報を管理し、他のモジュールに対し情報を出力する。

2. WBGT算出モジュール

気温や湿度、輻射熱の外部データを基に、対象エリアのWBGTを計算する。計算されたWBGTは、熱中症リスク推定やルート設計に活用される。

3. 熱中症リスク距離計算モジュール

WBGT算出モジュールおよびユーザー情報取得モジュールから提供されたデータを基に、個人ごとの熱中症リスクが高まる移動距離を算出する。

4. 屋外周遊型イベント観光スポットデータベース

イベントに関連する観光スポットの位置情報(経度、緯度)、周辺の休憩所の位置情報(経度、緯度)を管理し、通常ルート設計やリスク低減ルート設計に必要なデータを提供する。

5. 通常(最短経路)ルート設計モジュール

最短経路を基に設計された通常(最短経路)ルートを生成する。ユーザー情報取得モジュールから入力された情報を基に対象地区のマップデータ、道路データ、観光スポット位置情報を統合してルート計算を行う。

6. 避暑ルート設計モジュール

通常ルート設計モジュールから得られた最短距離データに加え、熱中症リスク距離計算モジュールによって出力された、熱中症リスクが高まる距離データを基に熱中症リスクが高まる前に休憩所による避暑ルートを設計する。

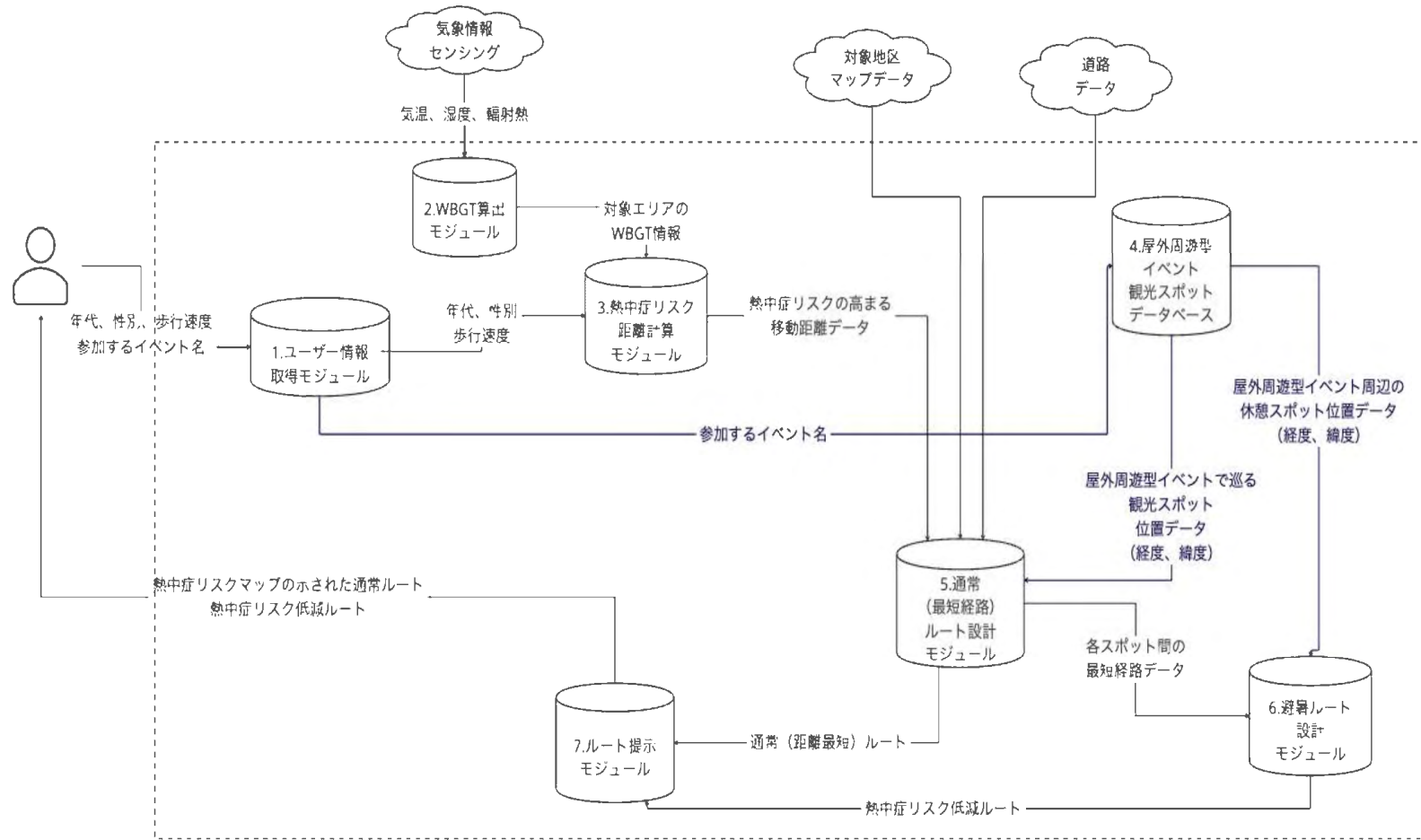
7. ルート提示モジュール

通常ルートと避暑ルートの両方をユーザーに提示する。熱中症リスクが可視化された情報を併せて提供することで、ユーザーが熱中症リスクを減らす行動を選択できるよう支援する。

本システムは、入力された歩行速度に基づきユーザーが暑熱環境下における移動できる距離を算出し、これからおこる熱中症のリスクに対する個人の活動量に即した視覚的なアプローチを提案し、それを解決する行動を支援する点が強みとなる。

歩行速度に基づきユーザーが暑熱環境下における移動できる距離を算出する工夫については熱中症リスク距離計算モジュールにて、直感的に理解しやすいインターフェース(危険エリア:赤、警戒エリア:黄、安全エリア:青)を通じてユーザーがいつ、どこで危険になるのかの情報を提示する工夫については、ルート提示モジュールにて後述する。

図 13 システム構成図 (筆者作成)



5.1.1 ユーザー情報取得モジュール

「ユーザー情報取得モジュール」は、ユーザーが入力した基本情報(年代、性別、歩行速度、参加する周遊イベント名)を収集し、他のモジュールが情報処理に必要なデータを提供する役割を果たす。まず、ユーザーはシステムのインターフェースを通じて、年代、性別、希望する歩行速度、および参加イベント名を入力する。次に、入力されたデータのうち、年代、性別、歩行速度データは熱中症リスク距離計算モジュールに、参加イベント名は屋外周遊型イベント観光スポットデータベースに入力され、熱中症リスクが高まる距離計算や観光場所を参照する際のデータとして使用される。

5.1.2 WBGT 算出モジュール

「WBGT算出モジュール」は、暑熱環境下での熱中症リスクを評価するための温熱環境把握の役割を果たす。

本研究では、先述の通り日本における熱中症対策の指標としてWBGTが多く使用されていることから、本システムにおいてもWBGTの指標を採用し温熱環境を把握する。

本モジュールは、外部から収集した気温(T_g)や湿度(T_a)、輻射熱(T_{nwb})のデータを基に、日射のある屋外でのWBGTの算出式(1)[59]からWBGTを算出し、その結果を熱中症リスクの距離推計のプロセスに活用することを目的としている。黒球式熱中症指数計などの気象センシング技術を活用して、対象エリアの最新の気温および湿度、輻射熱データを収集する。収集されたデータは、地理情報を基にして対象地域に対応するものを特定し、WBGT計算に必要な基礎データとしてモジュール内に取り込まれる。算出されたWBGT値はモジュール内で記録され、熱中症リスク距離推計モジュールに出力される。また、一定の時間間隔でデータの更新と再計算を行うことで、常に最新のWBGT値が利用可能な状態が維持される。

$$WBGT = 0.7T_{nwb} + 0.2T_g + 0.1T_a(1)$$

5.1.3 周遊イベント観光スポットデータベース

本システムにおける「周遊イベント観光スポットデータベース」は、イベントに関連する観光スポットの位置情報(経度、緯度)と観光周辺地域の休憩スポットの位置情報(経度、緯度)を管理し、通常ルート設計およびリスク低減ルート設計に必要な基礎データを提供する役割を担って

いる。このデータベースと連携したアルゴリズムは、ユーザーの入力に基づき観光スポットの位置情報を取得し、それを用いて効率的かつ安全な移動計画を設計する。

まず、ユーザーが参加予定の周遊イベント名を入力すると、本データベースはその情報をもとに観光スポットデータベースを検索し、関連する観光スポットの位置情報(経度、緯度)を抽出する。このデータベースは、イベントごとの観光スポットの位置情報を事前に整理して管理しており、ユーザーが指定したイベントに対応するスポット情報を取得できるよう設計されている。

5.1.4 熱中症リスク距離計算モジュール

本モジュールでは、歩行速度に基づき、暑熱環境下におけるユーザーの移動可能な距離を算出する。移動可能な距離の算出のために、「ユーザーがいつ熱中症になるのか」および「どこで熱中症になるのか」を明らかにすることが必要である。本研究では、これらを評価するために以下の4つの要素を活用し算出している。

A) WBGT(暑さ指数)と身体活動量の関係に基づく時間の算出

暑熱環境下での熱中症リスクを評価するにあたり、WBGT値と身体活動量(Ex)の関係を基に、熱中症危険領域に達するまでの時間を算出する。本プロセスにおいて、ユーザーの歩行速度から運動強度(METs)を求める必要があるが、この計算にはBの歩行速度とMETsの関係性を活用する。

B) 歩行速度と METs への割り当て

ユーザーが入力した歩行速度に基づいて15歳から64歳未満の男女の平均的な安静時座位の酸素消費量を1とした際の代謝当量を示した運動強度(METs)を算出する。歩行速度として阿久津らの歩行速度データを用い、METsの割り当てには国立健康・栄養研究所のMETs表を用い、歩行速度ごとに適切なMETs値を割り当てる。

C) 年代別相対的最大酸素消費量の算出

Bで割り当てられるMETsから算出される熱中症リスクをより詳細に評価をするために、性別や年齢ごとに異なる相対的最大酸素消費量を考慮する。この指標はDで移動距離を算出する際の補正值としての役割を果たす。

D) 熱中症リスクの高まる移動距離の算出

A、B、Cの評価結果を統合することで、ユーザーごとの移動可能な距離を算出するプロセスである。歩行速度、運動時間、および年代別相対的最大酸素消費量を組み合わせることで、個人に最適化された熱中症リスク評価を実現する。

以下では、これらの4つの要素について詳細に説明し、それぞれの役割と具体的な計算プロセスを明らかにする。

A) WBGT と身体活動量の関係に基づく時間の算出

日本におけるWBGTと身体活動量の関係について述べた研究としては、寄本明らの研究が挙げられる。寄本明らは、WBGTの程度と運動時の温熱ストレスに関する実験結果からWBGT 26℃以上の環境下において、150W/m²の運動を1時間、WBGT 30℃以上で250W/m²の運動を1時間継続させることによって、心拍数、運動終了時の食道温およびその上昇度、体重減少量および体重減少率がWBGT値22℃の時と比較し、有意な差を示していることから150W/m²の運動ではWBGT30～32.5℃の範囲以上で、250W/m²の運動では26～30℃の範囲以上で暑熱障害発生の危険性が高くなることを明らかにした[60]。

また、尾崎平らは運動時における熱中症のリスクと公園利用者の身体活動量の関係について分析するため、運動強度を示す単位であり、安静時座位の酸素消費量を1METsとした時の代謝当量を示したMetabolic Equivalents of Task(以下、METsとする)を、各健康遊具の利用時とウォーキング時の身体活動ごとのMETs量を示した表より割り当て、METと滞在時間(hr)の積(MET×hr)から身体活動量(Ex)を算定し、WBGTと身体活動量の関係による危険領域(暑熱障害が発生する危険性が大きいとされる領域)を寄本の結果を基に作成している[61]。

なお、1METの基準は、日本建築学会の日本建築学会環境基準により、椅子座安静時の代謝量を50kcal/m²・hとした際に国際単位系(SI)単位に変換され、58.2W/m²=1METとし定義さ

れている[62]。本研究においても上記の定義に基づき、寄元らによって明らかになった 150W/m^2 の運動ではWBGT $30\sim 32.5^\circ\text{C}$ の範囲以上で、 250W/m^2 の運動では $26\sim 30^\circ\text{C}$ の範囲以上で暑熱障害発生の危険性が大きくなることに基づき W/m^2 をMETsに変換し身体活動量を算出した。

上記を踏まえ、本研究では、寄本らの研究を基にWBGTと身体活動量の関係値から、一定の暑熱環境下における熱中症リスクの高まる身体活動量(E_x)を定義し、ユーザーから入力された歩行速度に基づく運動強度(MET)を割り当てることで、熱中症リスクの高まる時間を算出する。これらの計算は以下の式に基づいて行われる。

まず、身体活動量(E_x)は以下の式で計算される

1. 身体活動量の計算式

$$E_x(\text{ml/kg}) = \text{MET}(\text{ml/kg/min}) \times \text{時間}(\text{min}) \quad (2)$$

この(2)の式を基に、特定の暑熱環境下での熱中症危険領域に入る時間を求めるため、以下のようにWBGTごとに異なる条件を代入する。

2. WBGTが $26\sim 30^\circ\text{C}$ の場合

この条件下では、寄元の研究から熱中症の危険領域に入る身体活動量(E_x)が4.3とされているため、(2)の式を用いて時間を求める

熱中症危険領域に入る時間($26 < \text{WBGT} < 30$)

$$\text{時間} = 4.3 (= e_x) / \text{METs} \quad (3)$$

3. WBGTが 30°C 以上の場合

この条件下では、熱中症の危険領域に入る身体活動量(E_x)が2.6と定義されているため、(2)の式を用いて時間を求める。

熱中症危険領域に入る時間($\text{WBGT} \geq 30$)

$$\text{時間} = 2.6 (= e_x) / \text{METs} \quad (4)$$

B)歩行速度とMETs への割り当て

歩行速度の基準値として、本研究では表 4に示した阿久津邦男の年代、性別ごとの歩行速度に関する調査データ[63]を採用した。採用理由としては、同研究が首都近郊において50mおよび100mの直線コースを用いた歩行調査データに基づいており、日常的な歩行速度を示しているためである。

表 4『Table 3. Gait patterns modified (1975)』([63]Table 3を参照し筆者作成)

年代	男性歩行速度 (km/h)	女性歩行速度 (km/h)	男性歩行速度 (m/min)	女性歩行速度 (m/min)
10-19	4.746	4.536	79.1	75.6
20-29	5.184	4.452	86.4	74.2
30-39	5.424	4.182	90.4	69.7
40-49	4.944	4.488	82.4	74.8
50-59	4.512	3.786	75.2	63.1
60-69	4.014	3.57	66.9	59.5
70-79	3.456	3.174	57.6	52.9

また、歩行速度に基づくMETs値の割り当てに関しては、以下の手順で実施した。

1. データの参照

国立健康・栄養研究所が提供するMETs表[64]を使用し、平らで固い地面を歩行する際の運動強度(METs値)を参照した。これは、15歳から64歳未満の男女の平均的な安静時座位の酸素消費量を基準としており、日本国内での身体活動のエネルギー消費量を評価する標準的な指標となっている。

2. 近似式の導出

表4の5つのMETs値をもとに、歩行速度とMETs値の間の関係を近似する線形式を導出した。以下はその近似式である。

$$METs = 1.21 \times \text{歩行速度 (km/hr)} + 0.447 \quad (5)$$

この近似式により、ユーザーが入力した任意の歩行速度に対応するMETs値を算出可能とした。

C) 年代別相対的最大酸素消費量(mL/kg/分)の算出

本システムでは、各歩行速度に対応するMETs(mL/kg/分)を基準とし、ユーザーから入力された性別、年齢、および希望する歩行速度を考慮して、個別の熱中症危険領域距離を算出する。その際、性別、年齢によって最大酸素消費量(mL/kg/分)は異なるため、年代別の相対的最大酸素消費量を考慮する必要がある。

本研究では、延べ男性54,611名、女性24,100名の平均値および標準偏差を抽出し、それらを統合することで推定平均値と分布を算出しているAkiyamaらの研究[65]を採用した。以下にAkiyamaらによって明らかになった年代、性別毎の最大酸素消費量の相対比を算出しグラフ化したものを図 14に示す。

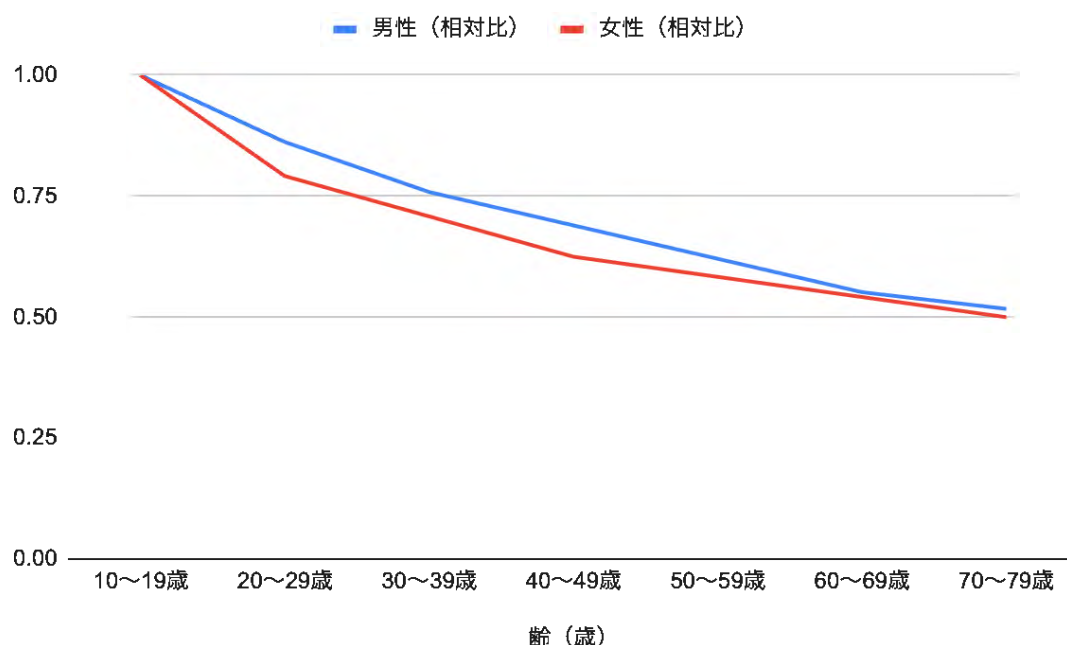


図 14 年齢に応じた相対的最大酸素消費量(mL/kg/分) ([65]Table1,2 を参照し筆者作成)

D) 熱中症リスクの高まる移動距離の算出

AからCを踏まえ、どこで熱中症になるのかを明らかにするため熱中症リスクの高まる移動距離を以下の式に基づき算出した。

1. 熱中症リスクの高まる移動距離の算出式

$$\begin{aligned} \text{熱中症リスクの高まる移動距離} &= \text{ユーザーの歩行速度} \times \text{時間} \\ &\quad \times \text{年代別相対的最大酸素消費量 (5)} \end{aligned}$$

2. WBGTが26～30℃の場合

熱中症リスクの高まる移動距離($26 < \text{WBGT} < 30$): $Dl30[\text{m}]$

$$Dl30 = Ws \times 4.3 (= ex) / METs \times \text{年代別相対的最大酸素消費量 (6)}$$

3. WBGTが30℃以上の場合

熱中症リスクの高まる移動距離($\text{WBGT} \geq 30$): $Dm30[\text{m}]$

$$Dm30 = Ws \times 2.6 / METs \times \text{年代別相対的最大酸素消費量 (7)}$$

上記の式から算出された熱中症リスクの高まる移動距離データは、通常（最短経路）ルート設計モジュールへ入力される。

5.1.5 通常（最短経路）ルート設計モジュール

通常ルート設計モジュールは、観光スポット間の移動を効率的に行うため、最短経路化に基づいたルート計画を実行する役割を担っている。本モジュールのアルゴリズムは、対象地区の地図データ、道路データ、観光スポットの位置情報（経度、緯度）を統合し、最短の移動経路を算出する。

アルゴリズムはまず、観光スポットデータベースから対象イベントに関連する観光スポットの位置情報（経度、緯度）を取得する。この位置情報は、訪問予定の観光スポットを特定し、移動計画の基本要素として利用される。同時に、対象エリアの地図データと道路データを参照し、移動可能な経路を特定するための空間情報を準備する。

次に、これらの情報を統合し、観光スポット間の最短経路を計算するために、ダイクストラ法を用いた。ダイクストラ法とは、重み付きグラフ上で特定の始点から他のすべての地点までの最短距離を計算するアルゴリズムである。この手法は、始点からの距離が最も短いノードを逐次選択し、隣接ノードへの距離を更新するプロセスを繰り返すものである[66]。各経路に設定された移動距離や時間を正の重みとして用いることで、観光スポット間の最適な移動ルートを効率的に算出し、ユーザーに利便性の高いルート提案を行うことを可能とするため今回はこの手法を活用した。

計算結果として生成される通常ルートは、ユーザーが指定した観光スポットを効率的な順序で巡る移動経路を提供する。このルート設計は最短経路化に基づいており、移動時間や労力を

最小限に抑えることを目指している。また、この通常ルートは、後続の避暑ルート設計モジュールにも活用される。

5.1.6 避暑ルート設計モジュール

避暑ルート設計モジュールのアルゴリズムは、暑熱環境下で移動者の安全性を確保しつつ、目的地への効率的な到達を支援することを目的として設計されている。このアルゴリズムは、通常(最短経路)ルート設計モジュールから得られる最短距離データに加え、熱中症リスク距離計算モジュールから入力される、熱中症リスクが高まる距離データや、周遊イベント観光スポットデータベースから入力される休憩場所データなど、複数のデータを統合し、リスクを最小化する代替ルートを生成する。アルゴリズムの最初のステップでは、出発地と目的地を設定し、通常ルート設計モジュールから提供される最短経路を初期ルートとして生成する。この初期ルートは、移動効率を重視して設計されているが、熱中症リスクの考慮が不十分である可能性があるため、次のステップでリスク評価との比較が行われる。次に、生成された初期ルートの各セグメントについて、熱中症リスク値を評価する。この評価は、熱中症リスク距離計算モジュールを通じて得られるリスク値を基盤として行われ、熱中症リスク距離計算モジュールから入力された熱中症リスクが高まる距離データが設定された閾値を超える区間を特定する。特定されたリスクの高い区間に対しては、周遊イベント観光スポットデータベースから入力された休憩場所データ(例:コンビニエンスストア、カフェ、公共施設など)の位置情報を参照し、休憩ポイントを挿入することでリスクを低減するルートを構築する。次に、移動効率を維持する観点から、全体の距離および移動時間の増加を最小限に抑えつつ、熱中症リスク軽減効果を最大化するルート設計を実施する。

5.1.7 ルート提示モジュール

本モジュールでは、ユーザーが移動計画において効率性と安全性を考慮し、最適な行動を選択できるよう、通常ルートと避暑ルートの両方を提示し、熱中症リスクを把握させる機能を備えている。このアルゴリズムは、設計されたルートがユーザーにとって直感的かつ分かりやすく理解できるように、視覚的な情報提示に工夫を凝らしている。まず、通常ルートとリスク低減ルートを生成した後、これらのルート情報は地図上に視覚的に表示される。移動ルートは太線で強調され、それぞれのルートが明確に識別できるよう設計されている。さらに、ルート上の熱中症リス

ク値を可視化することで、ユーザーが各区間のリスクを一目で把握できるよう配慮している。この可視化では、熱中症リスク距離計算システムから入力された熱中症リスクが高まる距離を超える区間を危険エリアとし、赤色に設定し、危険エリアの侵入する前に警戒エリアと設定し黄色として設定し、それ以前の安全エリアが青と設定し、危険箇所の視認性を向上させている。加えて、地図上には利用可能な地域資源（例：コンビニエンスストア、カフェ、公共施設など）の位置をアイコンで表示する。この機能により、ユーザーは休憩可能なポイントを容易に確認でき、必要に応じてリスク軽減のための休憩計画を柔軟に立てることができる。最終的に、システムは通常ルートとリスク低減ルートの選択肢を可視化された熱中症リスクを基に比較できる形でユーザーに提示する。これにより、ユーザーは自身の移動の効率性と安全性のバランスを考慮した行動計画を自ら選択できるようになる。このプロセスを通じて、本システムはユーザーのリスク認知を向上させるとともに、自律的な行動選択を支援する。本アルゴリズムの特徴は、視覚的な情報提示を通じて複雑なリスク情報を直感的に理解できる形でユーザーに提供する点にある。これにより、暑熱環境下において安全で効率的な移動を支援するだけでなく、ユーザーの行動変容を促進する役割を果たしている。

5.2 本システムの機能の流れ

本システムは図 15に示した流れに基づき、以下の機能で構成される。

1. ユーザー情報を取得する機能
2. 気温、湿度を取得する機能
3. WBGT(湿球黒球温度)を計算する機能
4. 熱中症リスクが高まる距離を計算する機能
5. 観光スポット位置データ(経度、緯度)を取得する機能
6. 通常(最短経路)ルートを設計する機能
7. 通常(最短経路)ルートを提示する機能
8. 避暑ルートを計算する機能
9. 避暑ルートを提示する機能

本システムは、暑熱環境下における移動中の熱中症リスクを低減し、ユーザーの安全かつ効率的な移動を支援することを目的として、以下のプロセスに基づいて動作する。

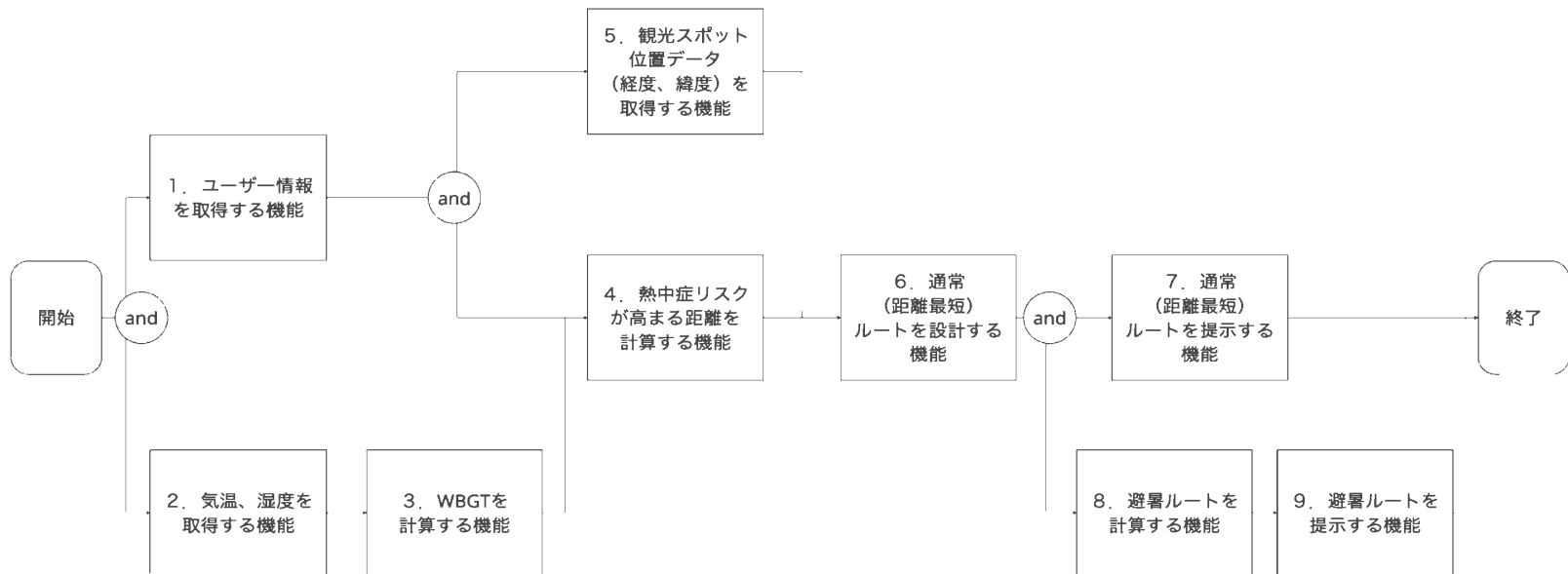
まず、システムはユーザー情報(年齢、性別、歩行速度など)を取得する機能を通じて、個別化されたリスク評価のための基礎データを収集する。この情報は、以降のプロセスにおいて個別適応型のリスク計算を実現するための重要な要素である。同時に、現地の気温および湿度を取得する機能を用いて環境データを収集し、それを基にWBGT(湿球黒球温度)を計算する。WBGTは、熱中症リスクの定量的評価に用いられる国際的に認知された指標であり、リスク推定する上での環境を設定する役割を果たす。

次に、システムは、取得されたユーザー情報およびWBGTを統合し、蓄積した熱中症リスクが高まる移動距離を計算する。この計算は、ユーザーの属性や環境条件に基づいて動的に行われ、リスクの発生タイミングや発生箇所を事前に特定することを可能にする。

さらに、観光スポットの位置情報(経度、緯度)を取得し、これらの情報を基に通常(最短経路)の移動ルートを設定する機能を実行する。この通常ルートは、効率性を重視した移動計画を提供する一方で、システムは同時に、熱中症リスクを考慮したリスク低減ルートの計算を行う。リスク低減ルートの設計においては、移動中のリスク発生箇所を回避することを主眼とし、ユーザーに安全性を重視した代替ルートを提示する。

最終的に、システムは通常ルートおよび避暑ルートをそれぞれ提示し、ユーザーがこれらの選択肢を比較・検討することで、移動の効率性と安全性を考慮した適切な行動計画を選択できるよう支援し終了となる。

図 15 機能の流れ (筆者作成)



第6章 評価

6.1 検証方法

本検証の目的は、熱中症リスクの可視化システムの妥当性および有効性を検証することである。システムが算出した熱中症リスク距離の妥当性を、実際の移動データと比較し評価するとともに、熱中症リスクの可視化が被験者の行動変容を促すかをアンケートや行動観察を通じて有効性を確認する。

6.1.1 検証概要

本検証では、以下の表 5に示した通り、検証は2025年1月20日から1月23日にかけて、被験者は20代、30代、40代の各年代から2名ずつ、計6名で構成され、屋外周遊型イベントを想定した設定で検証が行われた。この検証は、熱中症リスクが可視化された通常ルートと避暑ルートが示されたマップ(以下、熱中症リスクマップとする)の提示有無によって比較検証を行い、提示した被験者(以下、情報提示有り被験者)、と提示しなかった被験者(以下、情報提示無し被験者)の2つの条件分けて検証を行った。

表 5 実験概要(筆者作成)

項目	内容
実験区分	比較対象実験 (熱中症リスクマップ提示の有無)
実施環境	対面
実験対象人数	6 人
対象者	20 代 2 人、30 代 2 人、40 代 2 人
実施日	1 月 20 日～23 日
実験対象地区	横浜市港北区
対象模擬イベント	横浜七福神巡り

	横浜市内の 7 つの寺院（東照寺、正覚院、蓮勝寺、金蔵寺、興禅寺、西方寺、菊名池畔妙蓮寺境外社）を巡る総距離は約 20 キロメートルに及び、1965 年に制定され、2025 年には 60 周年を迎える歴史あるイベントであり、健康祈願や福を授かるために多くの人が訪れる。
行動内容	対象イベントのルートの一部を散策

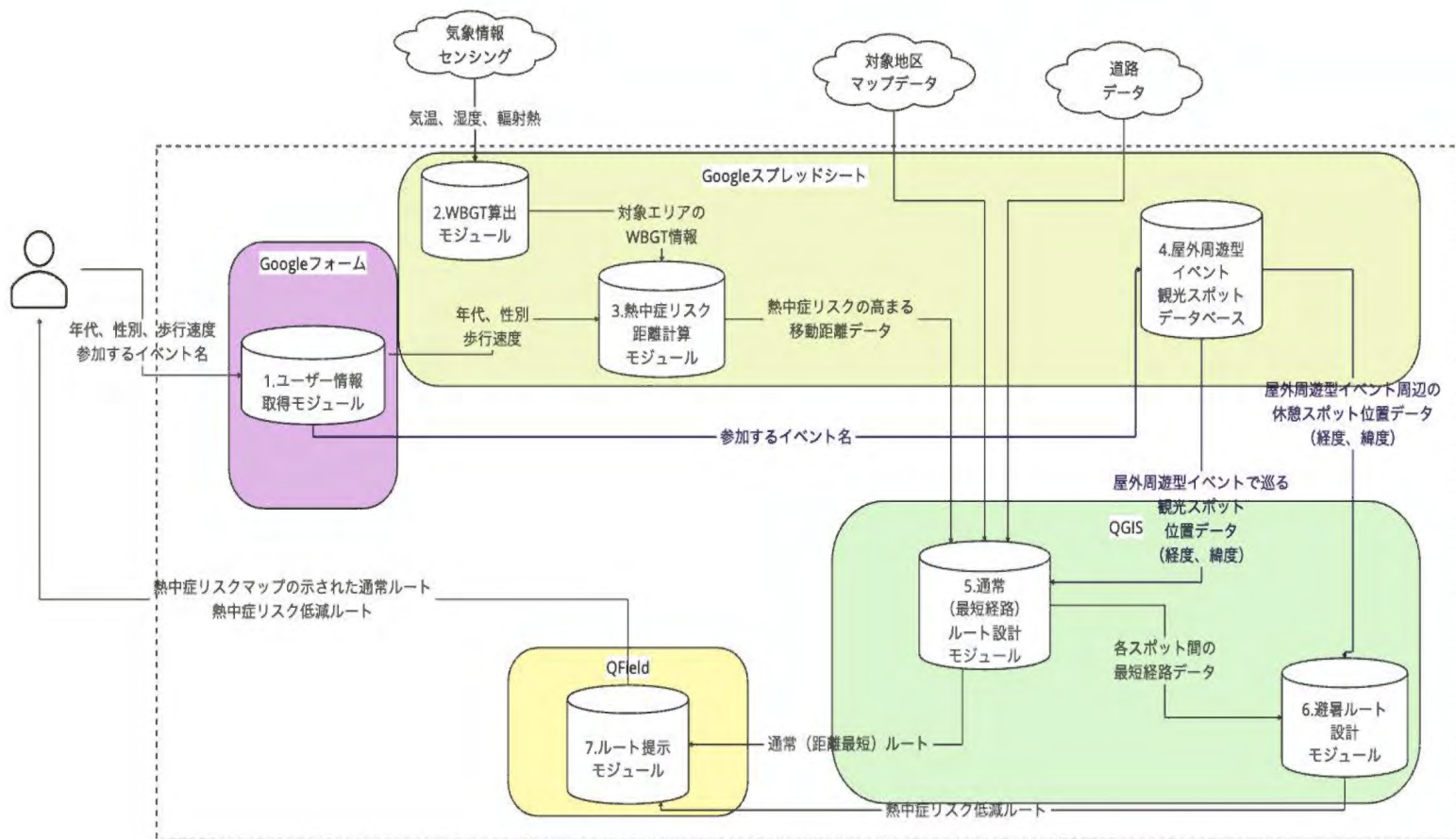
6.1.2 プロトタイプによる実装

プロトタイプの実装は、設計で記載したシステム図に基づき図 16に示すように代替ツールを用いて実行し、開発段階における技術的制約やコスト面でのリソースの限界を考慮した結果、運用時とは異なる条件を設定している。運用時との差異は以下の通りである。

- a. 本検証において、ユーザー情報取得アルゴリズムはGoogleフォームを活用し、参加するイベント名は本検証において事前に設定を行い、本検証において入力を行わない。
- b. WBGT値は事前に設定したものを熱中症リスク計算処理アルゴリズムに対して手動で入力を行う。
- c. 熱中症リスク距離計算システムはGoogleスプレッドシートを活用し、手動で入力を行いWBGTは、26より大きくWBGTより小さい30と想定し以下の算出式に基づいて熱中症リスクの高まる移動距離データを算出する。
 - i. 熱中症危険領域距離(26<WBGT<30): DI30[m]の算出
$$DI30 = \text{歩行速度} \times 4.3 / METs \times \text{年代別相対的代謝量}(6)$$
- d. 周遊イベント観光スポットの位置情報は、事前に設定を行うため 周遊イベント観光スポットデータベースは本検証において、活用しない。

- e. 通常(最短経路)ルート設計システムは地理空間情報システムであるQuantum GIS(以下QGISとする)を活用し、検証を行う。また、手動での周遊イベント観光スポットの位置情報データと事前に設定した、対象地区マップデータ、道路データの入力を行う。
- f. 避暑ルート設計システムはQGISを活用して行う。また通常(最短経路)ルート設計システムから出力された各スポット間の最短経路データは手動にて入力を行う。
- g. ルート提示システムから被験者へのルートの提供はスマートフォンのアプリケーションであるQfieldを活用し、QGIS上で可視化された情報の提供を行う。

図 16 本検証におけるスコープと検証手段(筆者作成)



6.1.3 検証プロセス

本検証プロセスは、6つのプロセスから実行される。被験者の基本情報の取得から始まり、情報提示有り被験者には、熱中症リスクマップの提示を行い、情報提示無し被験者には、リスクが可視化されていないマップを提示を行う。その後、被験者は指定ルートをもとに周遊を開始し、移動ログを記録しながら散策を進める。最終的に、目的地到着後に周遊を終了し、被験者は収集した移動データを実施者に共有することで検証を完了する。

1. 検証開始時アンケートによる性別、年代、歩く速さの把握

アンケートから被験者から性別、年代、歩く速さ(ゆっくり、普通、速い)の入力がなされる。

図 17 ユーザーへのアンケート(筆者作成)

2. 性別、年代、歩く速さ、WBGTの値に基づく危険な距離の算出

Googleスプレッドシートを活用し以下の算出式に倣い、性別、年代、歩く速さ、WBGTの値に基づく熱中症リスクが上昇する危険な距離の算出がされる。

i. 熱中症危険領域距離(26<WBGT<30): DI30[m]の算出

$$DI30 = \text{歩行速度} \times 4.3 / \text{METs} \times \text{年代別相対的代謝量(6)}$$

3. 算出された距離に基づく危険領域の可視化と表示

地理空間情報システムであるQGISを使用しプロセス2で算出された値の情報を可視化を行う。イベントの被験者が進むルートデータに50m間隔でポイントレイヤを作成し、熱中症リスクの距離データから危険エリアの可視化(危険エリア:赤、警戒エリア:黄、安全エリア:青)を行い、図 18のように色付けされた地図をQfieldで被験者に表示する。



図 18 リスク把握時の被験者への表示画面(筆者作成)

4.被験者に対するルートの提案

図 19のように被験者に対して通常のルートマップと熱中症リスクを低減する避暑ルートを提示し所要時間を伝え、ユーザーから希望するルートの入力が行なわれる。

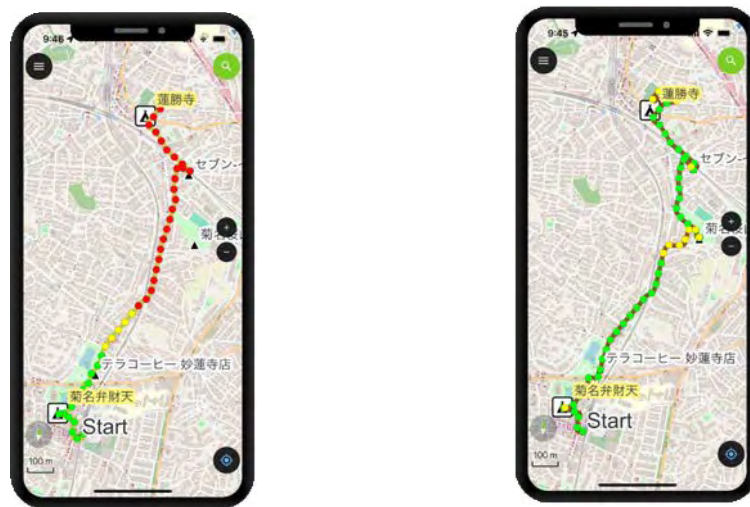


図 19 ルート選択時の被験者への表示画面(筆者作成)

5.周遊開始

ルートデータに基づき周遊を開始してもらう。

被験者の携帯端末にログデータを収集、処理、保存するロギングツールであるSimple Loggerをインストールしてもらい移動ログを取得してもらう。その後Qfieldをインストールしてもらい、マップが格納されているクラウドにログインしマップをダウンロードした後、位置情報をオンにってもらい散策を開始する。

6.周遊終了

ルートデータに基づき今回の周遊の目的地に到着次第、周遊を終了してもらう。

6.2 評価方法

6.2.1 熱中症リスクの高まる距離の妥当性

熱中症リスクの可視化の妥当性確認は、被験者が移動するルートにおいて、シミュレーションにより算出した移動可能距離と、被験者の実験中に測定されたデータ(移動距離、移動時間、移動速度)から算出される移動可能距離を比較し検証を行った。この比較検証を通じて、システムが提示する熱中症リスクの高まる距離と実測値の間に誤差がないかを確認し、その距離の違いを評価する。なお、今回のルートは神奈川県横浜市港北区で行われ、港北区観光協会が紹介している横浜七福神ルート[67]を使用した。

これらの差異を考慮しながら検証を行うことで、現段階のシステム性能を把握し運用時に必要な改善点を特定することを目的とする。

6.2.2 熱中症予防行動の実践に対する有効性

有効性確認では、暑熱環境下で個人の歩行速度に基づき算出された熱中症リスクマップが人々の熱中症予防行動を促進しているかを確認する事を目的として検証を行なった。

今回の検証における熱中症予防行動とは、暑さ指数(WBGT)や気象情報の確認、こまめな水分、塩分補給、十分な睡眠とバランスの取れた食事の摂取、涼しい服装や冷却グッズの活用、日傘や帽子の使用、日陰の活用、暑い時間帯の外出を避けること、適切な休憩や冷房施設での休息といった一連の熱中症リスクを削減するための行動を指す。具体的には、熱中症リスクを可視化する仕組みと熱中症リスクを低減する避暑ルートの提案がユーザーに対して直感的な熱中症リスクを理解をさせ、熱中症リスクに基づく行動選択を支援できるかを検証する。比較区分を設け、情報提供ありのグループには、熱中症リスクマップを提示し、情報提供なしのグループには、熱中症リスクが可視化されていない情報を示し、2つの比較対象群の違いを行アンケートおよび、行動観察とヒアリングを通じて確認する。

6.3 データ収集方法

6.3.1 熱中症リスクの高まる距離の妥当性

(1) 移動時のログデータ

本検証では、シミュレーションにより算出した熱中症リスク距離と、被験者の実際の移動中に測定されたデータ(移動速度を基に算出された値)を位置情報を取得するためのモバイルアプリケーションであるSimple Loggerを使用し被験者の移動データを収集した。

取得した移動データは以下の3種類である。

移動時間: 周遊に要した時間を秒単位で記録。

移動距離: 被験者が実際に移動したルートの総距離を測定。

移動速度: 各移動区間における速度の変化を取得。

これらのデータは、被験者ごとの移動特性を把握し、シミュレーションデータと実測値を比較するために使用する。

6.3.2 熱中症予防行動の実践に対する有効性

(1) アンケート

本研究では、熱中症リスク可視化による行動変容を促す効果の有効性を評価するため、事前アンケート、実験直前アンケート、事後アンケートの3種類のアンケートを実施し、被験者の特性や行動、意識について詳細なデータを収集した。それぞれのアンケートの目的と内容は以下の通りである。

1. 事前アンケート

事前アンケートは、被験者の熱中症に関する基礎知識や過去の経験、予防行動の傾向を把握し、熱中症に対する現状認識を計ることを目的として実施された。

表 6 事前アンケート(筆者作成)

質問項目	選択肢
質問1:年代_当てはまる範囲の年代を選択してください	10代 20代 30代 40代 50代 60代
質問2:性別_あなたの性別について教えてください	男性 女性 未回答
質問3:熱中症を予防するために活動として行っている事を回答してください(複数回答可)	暑さ指数(WBGT)の確認 X等SNSの確認 天候の確認 水分をこまめにとる 塩分を補給する 睡眠をしっかりとる 食事をしっかりとる

	涼しい服装で出かける 冷却グッズを使用する 日傘をさす 帽子をかぶる なるべく日陰を通る 暑い時間の外出を避ける 外出を控える こまめに休憩する コンビニ等の涼しいところで休憩する その他...
質問4: 熱中症経験の有無について教えてください	有 無
質問5: 質問4で有と答えた方に質問です。どのような状況で熱中症になったのかを教えてください	記述式
質問6: 熱中症経験の有無で「有」と回答した方に質問です。なぜ、その時に熱中症になってしまったと思いますか。(複数回答可)	暑さ指数(WBGT)を確認していなかった X等のSNSで熱中症の確認を忘れていた 天候の確認を忘れていた 水分をこまめにとるのを忘れていた 塩分を補給するのを忘れていた 前日に睡眠をしっかりとることができなかった その日の朝に食事をしっかりとれていなかった 涼しい服装で出かけていなかった 冷却グッズを使用していなかった 日傘をさしていなかった 帽子をかぶっていなかった

	日陰を通っていなかった 暑い時間に外出をしていた 外出の時間をずらしていなかった こまめに休憩していなかった コンビニ等の涼しいところで休憩していなかった その他...
--	---

2. 検証開始時アンケート

検証開始時アンケートは、実験時の被験者の年代や希望する歩行速度を基に、実験条件を最適化することを目的として実施された。

表 7 検証開始時アンケート(筆者作成)

質問項目	選択肢
質問1:性別	男 女
質問2:年代	10代 20代 30代 40代 50代 60代
質問3:今回の周遊イベントでの希望する歩く速さ(同年代かつ同じ性別の方の平均値を普通として設定しています。)	ゆっくり 普通 速い

3. 事後アンケート

事後アンケートは、実験に参加した被験者の行動選択や熱中症リスク可視化の効果を評価し、今後の利用意向を確認することを目的として実施された。

表 8 事後アンケート(筆者作成)

質問項目	選択肢
質問1:どちらのルートを選択しましたか	通常ルート(距離優先ルート) 熱中症低減ルート(休憩所によるルート)
質問2:質問1で回答した理由を教えてください	記述式にて選択理由を回答
質問3:今回の実験で使用したようなマップを実際の暑熱下の屋外周遊イベントにて利用したいと思いますか	5段階評価 1.利用したいと思わない 5.利用したいと思う
質問4:質問3で回答した理由を教えてください	記述式にて選択理由を回答
質問5:どのような条件であれば今回の実験のようなマップを使いたいと思いますか(複数選択可)	真夏日(外の気温が30度以上)で、周遊イベントが終わった後、自由に使える時間(1時間以上)がある場合 真夏日(外の気温が30度以上)、周遊イベントが終わった後、自由に時間を使うことができない(15分未満)場合 猛暑日(外の気温が35度以上)で、周遊イベントが終わった後、自由に使える時間(1時間以上)がある場合 猛暑日(外の気温が35度以上)で、周遊イベントが終わった後、自由に時間を使うことができない(15分未満)場合
質問6:質問5で回答した理由を教えてください	記述式
質問7:他にどのような情報を受け取れば、今自分が置かれている状況が、どの程度	記述式

熱中症になるリスクがあるのか理解できるか 。	
質問8:今後、暑熱下の周遊イベント(街歩き、スタンプラリー等)に参加される場合、どのような熱中症対策に取り組みたいと思いますか。	暑さ指数(WBGT)の確認 X等SNSの確認 天候の確認 水分をこまめにとる 塩分を補給する 睡眠をしっかりとり 食事をしっかりとり 涼しい服装で出かける 冷却グッズを使用する 日傘をさす 帽子をかぶる なるべく日陰を通る 暑い時間の外出を避ける 外出を控える こまめに休憩する コンビニ等の涼しいところで休憩する その他...

(2)ビデオデータの記録と活用

本研究では、被験者が周遊中にどのような行動を取ったのかを詳細に記録し、熱中症リスク可視化の効果を検証するために携帯端末で周遊の様子の撮影を行い、ビデオデータを作成した。この記録は、被験者が指定されたルートを周遊する際に開始され、ルート終了まで継続して行われた。被験者が行った行動(例:休憩所の利用、水分補給のタイミング、日陰と日向の選択、歩行速度の調整)を映像として記録することで、行動選択に関する客観的なデータを得た。撮影は被験者にとって負担にならないように一定の間隔をあけて撮影を行い、事前に記録に関する同意を取得した上で実施された。

(3) ヒアリング

ヒアリングでは、周遊終了後、6名の被験者に対して、半構造型インタビューの方法を用いて、ビデオデータを活用しながらヒアリングを行った。具体的には、熱中症リスクマップの可視化と避暑ルートの提案がルート選択、休憩行動、熱中症対策行動にどのような影響を与えたかを検証し、その背景や動機を探ることを目的とした。具体的には、被験者がルートを選択する際の要因や判断基準、休憩所を利用したかどうかの理由とそのタイミング、さらに歩行中に行った熱中症予防行動の内容と動機について詳細に質問を行った。

6.4 結果

6.4.1 被験者の歩行時の移動データ

(1) 開始場所から終了場所までの累計移動時間

熱中症リスクの可視化の提示の有無による開始場所から終了場所までの累計移動時間の違いを図 20および図 21に示す。図 20では情報提示有り被験者の結果を、図 21では情報提示無し被験者の結果を示しており、それぞれの図の中で年代ごとの比較を行っている。

シミュレーションにおける移動時間の予測値は、各年代の平均歩行速度と想定されるコースの距離をもとに算出し、実測値は周遊時の累計時間から休憩時間と観光場所での滞在時間を差し引いた値としている。そのため、シミュレーションによる予測値と実測値の差を比較することで、実際の行動が予測とどの程度異なるかを把握することができる。

図 20を見ると、20代の情報提示有り被験者では、実際の移動時間が 23分16秒 であつたのに対し、シミュレーション時間は 22分35秒 であり、実測値の方が 41秒(約3.1%) 長い結果となった。一方、30代の情報提示有り被験者では、実測時間が 27分28秒、シミュレーション時間は 19分3秒 であり、実測値の方が 8分25秒(約44.1%) 長くなった。特に、30代のシミュレーション結果が他の年代と比較して低くなっている点が特徴的である。また、40代では、実測時間が 29分4秒、シミュレーション時間は 26分5秒であり、実測値の方が 2分59秒(約11.5%) 長い結果となった。

一方、図 21(情報提示無し)では、全体的に実測値とシミュレーション結果の乖離が大きくなる傾向が確認された。20代の情報提示無し被験者では、実際の移動時間が 26分19秒 であったのに対し、シミュレーション時間は 19分56秒 であり、実測値の方が 6分23秒(約31.9%)長かった。30代では、実測時間が 25分34秒 であったのに対し、シミュレーション時間は 19分3秒 であり、実測値が 6分31秒(約34.2%) 長くなっていた。また、40代では、実測時間が 26分29秒、シミュレーション時間は 20分55秒 であり、実測値の方が 5分34秒(約26.7%) 長かった。

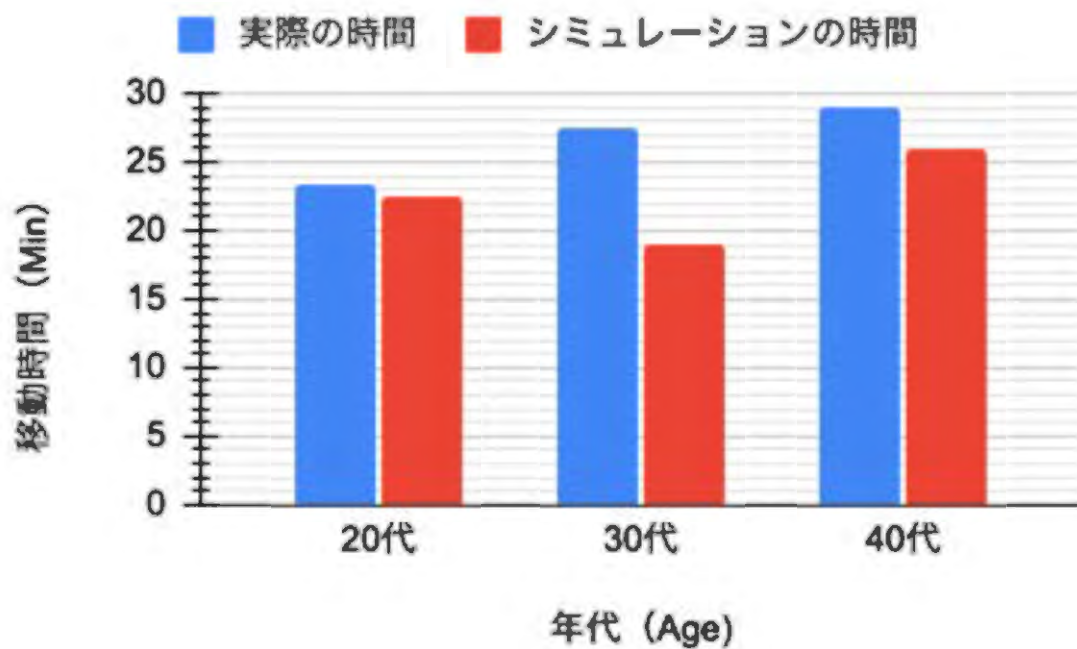


図 20 情報提示ありグループの実測値と予測値の移動時間の違い(筆者作成)

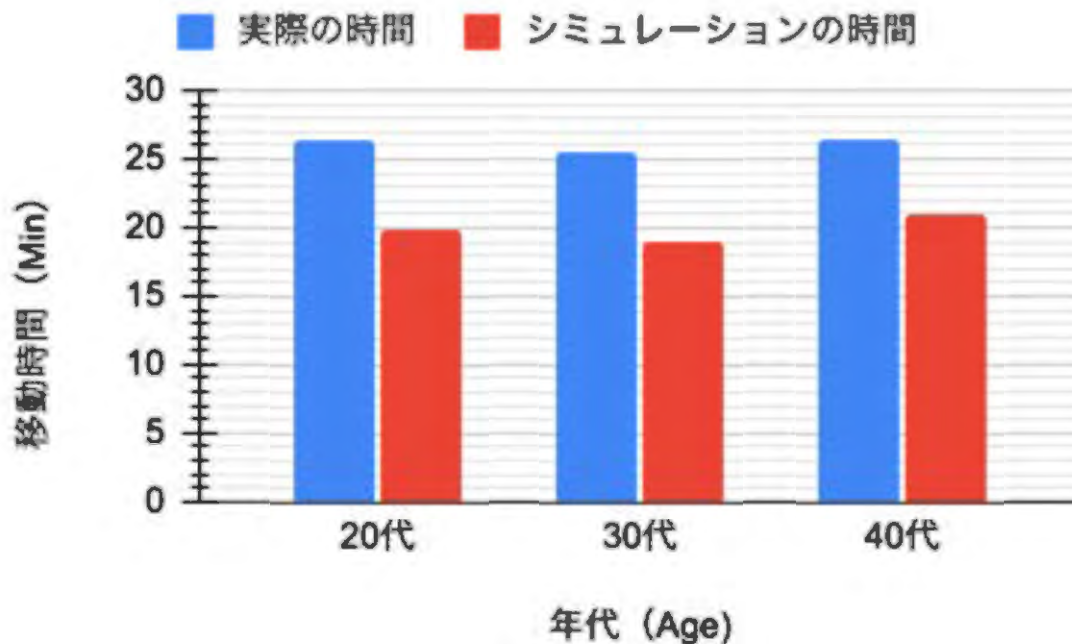


図 21 情報提示なしグループの実測値と予測値の移動時間の違い(筆者作成)

(2) 歩行速度

熱中症リスクの可視化および避暑ルートの提示の有無による歩行速度の違いを図 22および図 23に示す。図 22では情報提示有り被験者の結果を、図 23では情報提示無し被験者の結果を示しており、それぞれの図の中で年代ごとの比較を行っている。

シミュレーションの歩行速度の予測値は、阿久津らの調査[63]によって明らかになった年代、性別毎の平均歩行速度を使用し、実測値の歩行速度は移動距離と累計時間から休憩時間と観光場所での滞在時間を差し引いた移動時間から出発地点から最終地点までを移動した際の平均歩行速度を算出した。

実測値とシミュレーション結果を比較すると、情報提示無し被験者の方が両者の乖離が大きい傾向が見られた。

図 22(情報提示有り)を見ると、20代の情報提示有り被験者では、実際の歩行速度が5.08km/hであったのに対し、シミュレーションの歩行速度は5.18 km/h であり、実測値の方が0.10 km/h(約1.9%)低い結果となった。一方、30代の情報提示有り被験者では、実測値が 3.95 km/h、シミュレーション値が4.18km/hであり、実測値の方が0.23 km/h(約5.5%)低くなった。40代

では、実測値が4.38 km/h、シミュレーション値が4.49km/h であり、実測値の方が 0.11 km/h (約2.4%) 低かった。

一方、図 23(情報提示無し)では、全体的に実測値とシミュレーション値の乖離が大きくなる傾向が確認された。20代の情報提示無し被験者では、実際の歩行速度が 3.94 km/h であったのに対し、シミュレーション値は5.18km/hであり実測値の方が1.24km/h(約23.9%) 低かった。30代では、実測値が4.04km/h、シミュレーション値が4.18 km/hであり、実測値の方が0.14 km/h(約3.4%)低い結果となった。また40代では実測値が4.21km/h、シミュレーション値が4.49 km/hであり、実測値の方が0.28 km/h(約6.2%)低かった。

以上の結果から、情報提示無し被験者の方が、情報提示有り被験者よりも実測値とシミュレーション値の乖離が大きくなる傾向が見られた。特に、20代の情報提示無し被験者ではその乖離が大きく、実測値の歩行速度がシミュレーション値よりも大幅に低くなっていた。

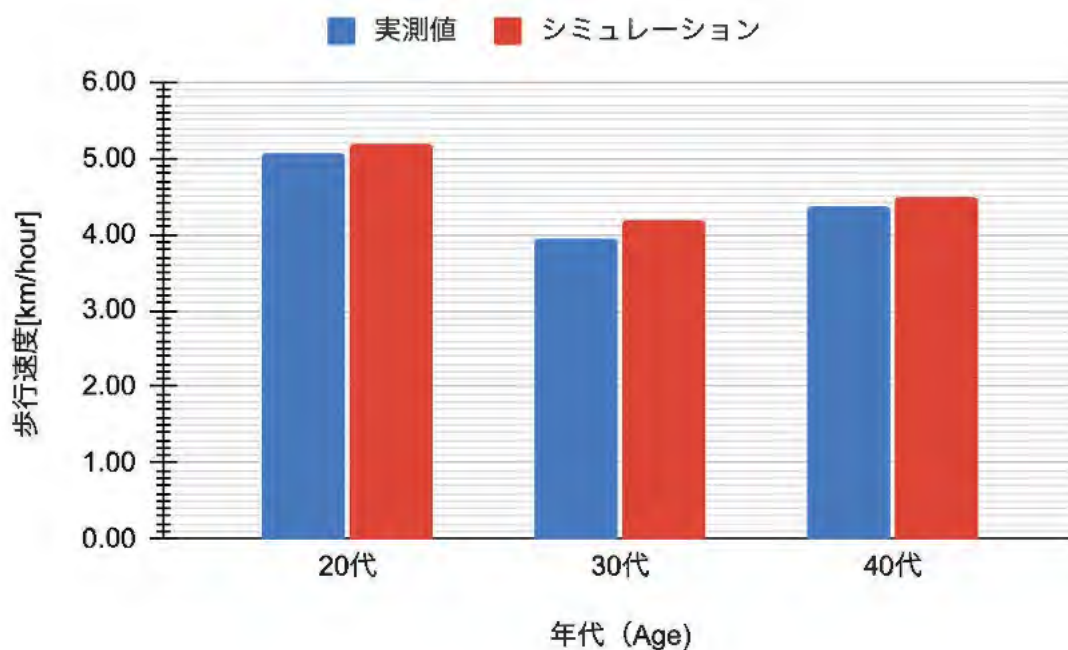


図 22 情報提示ありグループの実測値と予測値の歩行速度の違い(筆者作成)

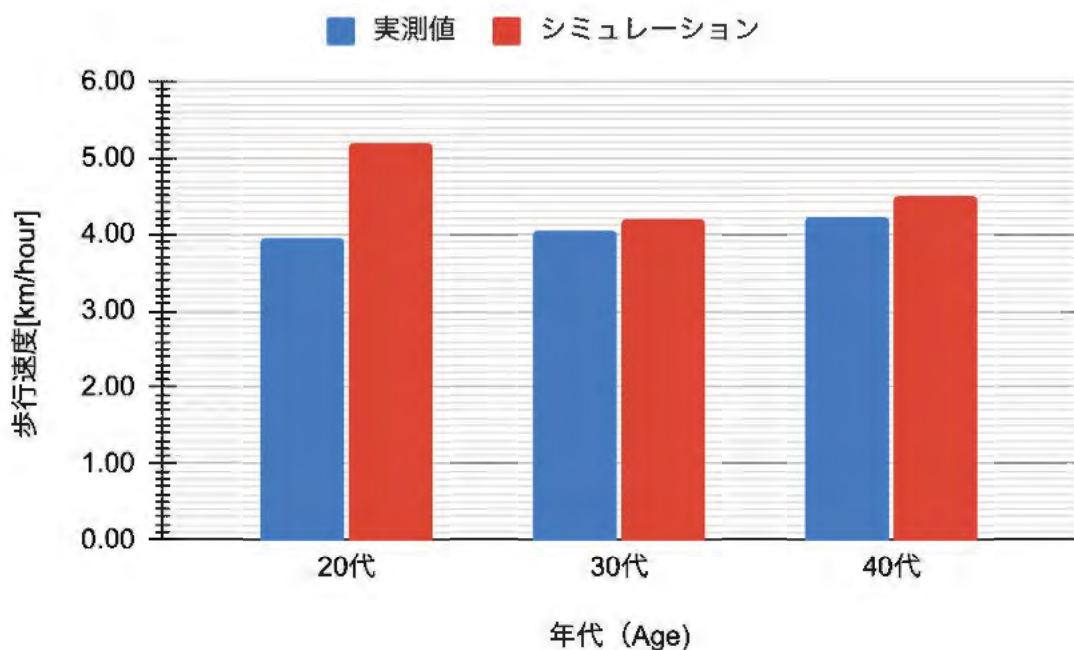


図 23 情報提示なしグループの実測値と予測値の歩行速度の違い(筆者作成)

(3) 熱中症リスクの高まる移動距離[km]

熱中症リスクの可視化および避暑ルートの提示の有無による、熱中症リスクの高まる移動距離の違いを図 24および図 25に示す。図 24では情報提示有り被験者の結果を、図 25では情報提示無し被験者の結果を示しており、それぞれの図の中で年代ごとの比較を行っている。

本検証では、WBGT値が26を超え30未満の環境を想定し、実測値とシミュレーションによる予測値を算出した。移動距離の計算には、事前に設計した以下の式を用いた。

熱中症リスクの高まる移動距離(26<WBGT<30): DI_{30} [m]

$$DI_{30} = Ws \times 4.3(=ex) / METs \times \text{年代別相対的最大酸素消費量(6)}$$

実測値の算出では、実際の歩行速度と、それに対応するMETs値を代入して移動距離を求めた。一方、予測値の算出では、性別・年代ごとの平均歩行速度を用い、それに対応するMETs値を代入することで移動距離を推定した。

実測値とシミュレーションの予測値を比較すると、情報提示無し被験者の方が両者の乖離が大きくなっていた。図 24(情報提示有り)を見ると、20代の情報提示有り被験者では、熱中症リスクの高まる移動距離の実測値が 4.92 km であつたのに対し、シミュレーションの推定値は

4.91 km であり、実測値の方が 0.01 km 長い結果となった。一方、30代の情報提示有り被験者では、実測値が 4.45 km、シミュレーション値が 4.42 km であり、実測値の方が 0.03 km 長くなった。40代では、実測値が 3.62 km、シミュレーション値が 3.61 km であり、実測値の方が 0.01 km 長い結果となった。

図 25(情報提示無し)では、全体的に実測値とシミュレーション値の乖離が大きくなっていた。20代の情報提示無し被験者では、実際の移動距離が 5.06 km であったのに対し、シミュレーション値は 4.91 km であり、実測値の方が 0.15 km 長かった。30代では、実測値が 4.44 km であったのに対し、シミュレーション値は 4.30 km であり、実測値の方が 0.14 km 長い結果となった。また、40代では、実測値が 4.01 km、シミュレーション値が 3.94 km であり、実測値の方が 0.07 km 長かった。

20代の情報提示無し被験者では、実測値(5.06 km)がシミュレーション値(4.91 km)を 0.15 km 上回っていた。一方、情報提示有りの20代では、その差は 0.01 km となっており、シミュレーション値と実測値が近い結果となった。また、30代の情報提示無し被験者では、実測値がシミュレーション値を 0.14 km 上回っていたのに対し、情報提示有りの30代では 0.03 km であった。40代では、情報提示無しで 0.07 km、情報提示有りで 0.01 km の差が確認された。

以上の結果から、情報提示無し被験者の方が、情報提示有り被験者よりも実測値とシミュレーション値の乖離が大きくなっていた。特に、20代の情報提示無し被験者ではその乖離が最も大きく、実測値がシミュレーション値を 0.15 km 上回る結果となっていた。一方、情報提示有り被験者では、全体的に実測値とシミュレーション値の差が 0.01 km から 0.03 km に収まっており、シミュレーションの精度が向上する可能性が示された。

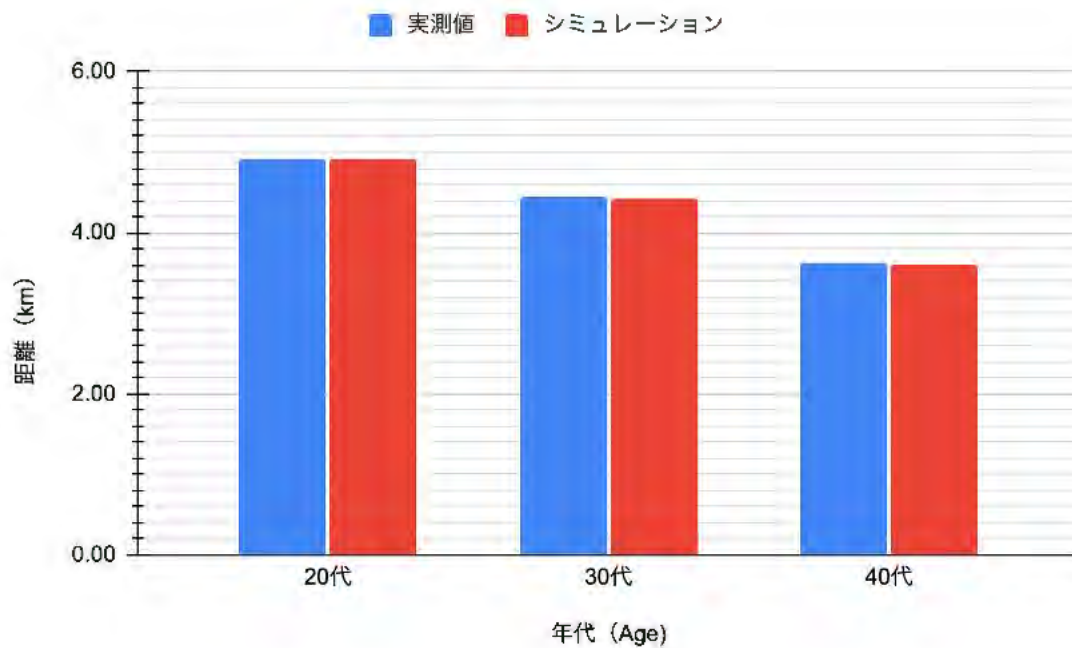


図 24 情報提示ありグループの実測値と予測値の熱中症リスクの高まる移動距離の違い(筆者作成)

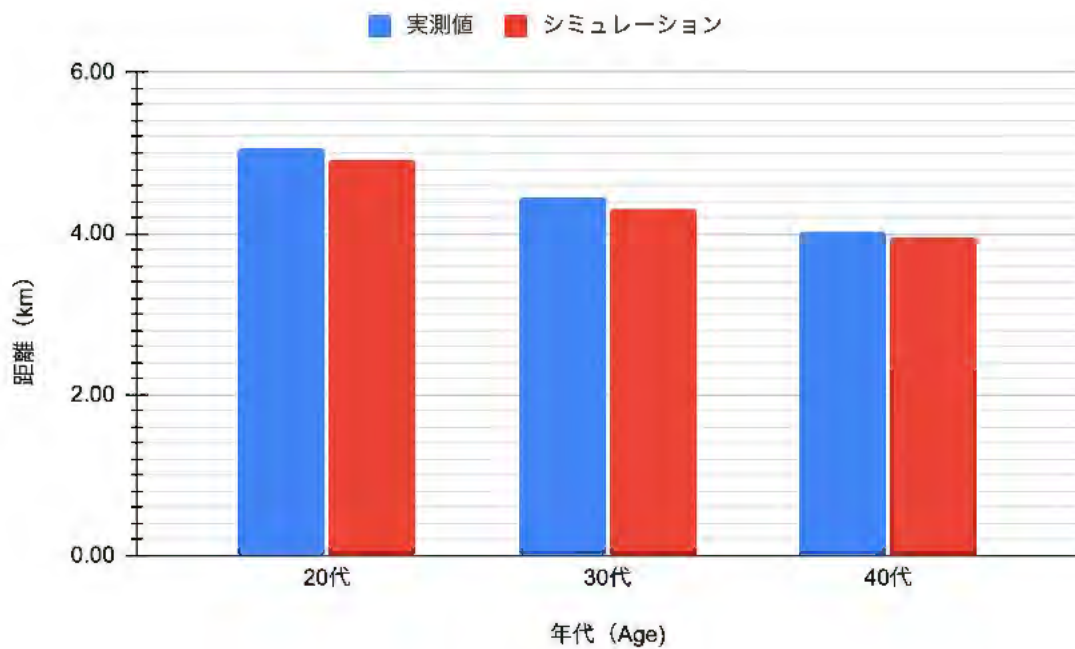


図 25 情報提示なしグループの実測値と予測値の熱中症リスクの高まる移動距離の違い(筆者作成)

6.4.2 アンケート結果

(1) 情報提示の有無による検証前後における熱中症対策意識の変容

図 26に、年代ごとの情報提示の有無別に、水分をこまめにとる、食事をしっかりとるなど、16個の取るべき熱中症対策に対して熱中症対策の増加数を比較した結果を示す。実験前後における熱中症対策の項目数の変化を分析することで、情報提示が被験者の熱中症予防意識に与える影響を検討する。

まず、情報提示有りの被験者においては、20代で8項目、30代で2項目、40代で2項目の対策が新たに追加されていた。特に、20代において対策の増加数が大きく、実験前には2項目の対策しか認識していなかったが、実験後には10項目へと増加していた。一方、30代および40代では、実験後の対策数の増加はそれぞれ2項目にとどまっていた。

次に、情報提示無しの被験者においては、20代で2項目、30代で5項目、40代で7項目の増加が確認された。特に、40代では、実験前に4項目の対策を認識していたのに対し、実験後には11項目へと増加し、7項目の追加が確認された。30代では、実験前の対策数が2項目であったのに対し、実験後には7項目となり、5項目の増加が見られた。

以上の結果から、情報提示有りの被験者では20代における対策数の増加が最も大きかったのに対し、情報提示無しの被験者では40代における対策数の増加が最も顕著であった。また、情報提示有りの30代および40代では、対策の増加数が2項目と比較的少なかった一方で、情報提示無しの30代および40代では、対策の増加数が5項目および7項目と多くなっていた。

このことから、情報提示が特に20代の被験者に対して熱中症対策意識の向上に影響を与える可能性が示唆される。一方で、情報提示無しの被験者においても、特に40代では対策数の増加が見られ、実験を通じて自己の熱中症対策に対する意識が高まった可能性がある。



図 26 情報提供の有無による年代別の熱中症対策意識の増加数(筆者作成)

6.4.3 ヒアリング結果

(1) 情報提供の有無による休憩決定要因の分析

本項目では、ヒアリングで得たデータをもとに、「休憩」という語彙が他の語彙とどのように関連しているかを、情報提供の有無に基づいて分析した。本研究の目的は、これから起こる熱中症リスクに対して、熱中症リスク情報とその対策行動を提示することで、対象者の行動変容に与える影響を明らかにすることである。その中で、「休憩」は暑熱環境下での生理的負担を軽減するための重要な行動であり、熱中症対策の一環として検討する必要がある。ヒアリングでは、休憩行動の実態を明らかにするために、事前・事後のアンケートで取り上げた「休憩」に焦点を当て、実施中に撮影した動画の提示とともに、「なぜ休憩をとったのか」「どのような情報を基に休憩を行ったのか」といった質問を行った。この調査により、休憩行動がどのような要因と関連しているのかを明確にし、熱中症リスク情報の提示が休憩行動に与える影響を分析した。分析には、ヒアリング時の音声をテキスト化し、KH Coderを用いて共起ネットワーク分析を行い、サブグラフ検出を通じて「休憩」を行う際の要因を明らかにした。その結果、情報提供の有無により「休憩

」に関連する語彙の範囲や複雑性が異なることが確認された。まず、図 27のように情報提供が行われていない場合、「休憩」は主に「屋外」「身体」といった語彙と直接的に結びついていた。このことは、「休憩」という行動が身体的要求や基本的な行動に関連しており、即時的かつ単純な対応が優先される傾向を示している。

一方で、図 28の情報提供が行われた場合、「休憩」は「場所」「リスク」「熱中」といった語彙と関連を持つようになり、さらに「移動」「時間」「選択」といった語彙とも間接的に結びついていることが確認された。この結果から、「休憩」は単なる身体的要求の充足に留まらず、リスク認識や状況判断、意思決定といった認知的プロセスを伴う行動として認識されるようになることが示された。

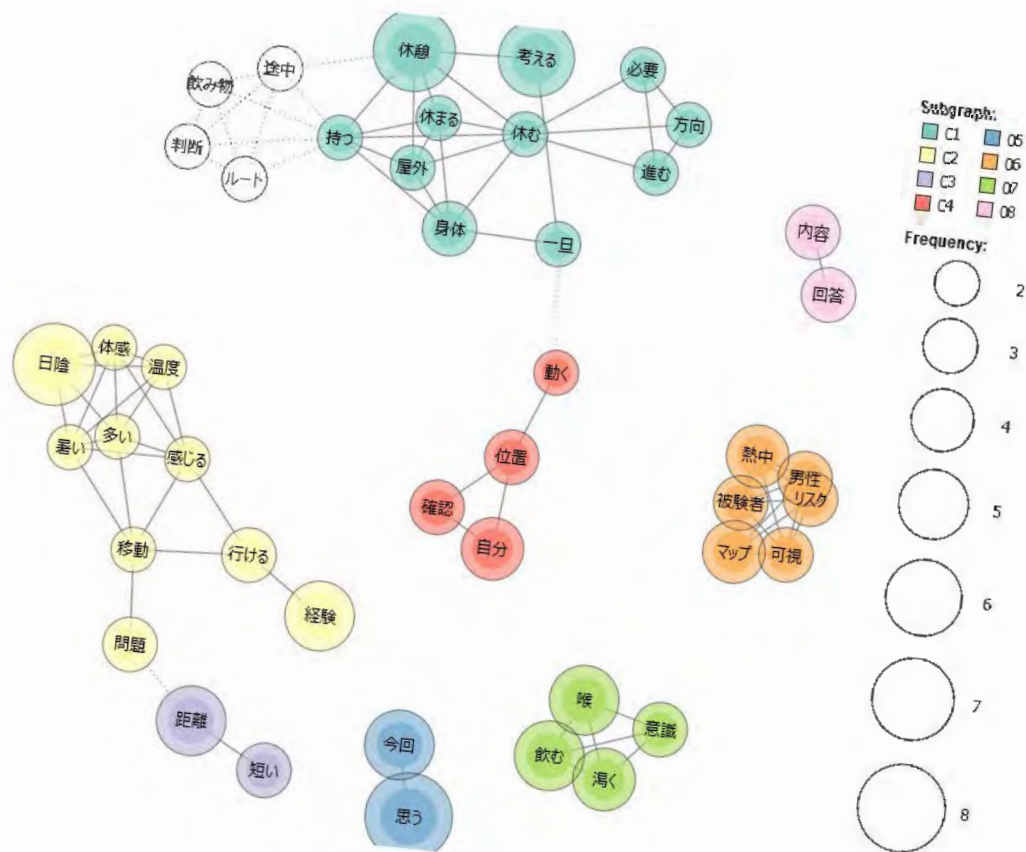


図 27 情報提示なしグループの休憩決定要因(筆者作成)

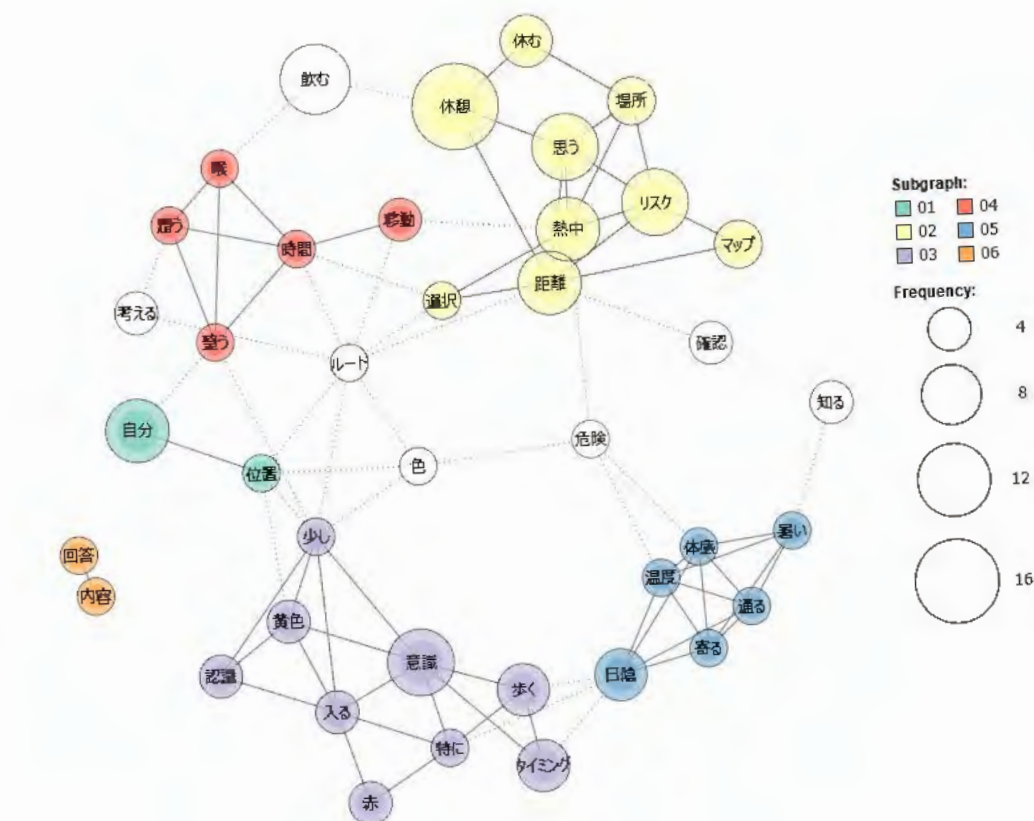


図 28 情報提示ありグループの休憩決定要因(筆者作成)

(2) 熱中症リスクの可視化および避暑ルートの提示をしたグループ

本項目では、熱中症リスク可視化が被験者の行動選択および熱中症予防行動に与える影響を明らかにするため、3名の被験者に対し半構造化インタビューの形式を用いてヒアリングを実施した詳細の結果を示す。

避暑ルートの選択とその理由に関して、熱中症リスクの可視化と避暑ルートの提示をした40代の被験者と20代の被験者は、避暑ルートを選択した理由として、「マップ上でリスクの違いが明確に可視化されていたこと」と「暑さやリスクを避けたいという意識」を挙げた。一方、30代の被験者は、通常ルートを選択した理由として「移動時間の短縮による屋外曝露時間の削減がリスク低減に繋がるとの判断」を示した。

休憩スポットの利用とその背景では40代の被験者と20代の被験者は、休憩所の利用理由として「体調の回復」「熱中症リスクの回避」を挙げた。また、40代の被験者は「コーヒーへの興味」、20代の被験者は「道中の距離や負担感」を要因として挙げている。一方、30代の被験者は、リ

スクの高い赤色領域に入った際に休憩や水分補給を意識的に行っていた。休憩所3を利用しなかった40代と20代の被験者は理由について、「休憩所の立地条件やゴールまでの距離の短さ」を理由として挙げた。特に40代の被験者は、ゴール近くでの休憩の必要性を感じず、リスク回避の行動を早期に完了することを優先した。

移動時の注意点と水分補給行動では、被験者全員が共通して「日陰を通ることで体感温度を下げることを意識していた。また、水分補給については、30代の被験者が「赤色領域でのリスクを認識し、細かく頻繁に補給を行った」と述べたのに対し、40代と20代の被験者は「休憩所で十分に水分を摂取したため移動中の補給は不要と判断」した。

マップの利用状況と課題では40代の被験者は、移動中に「位置情報の確認」を頻繁に行い、特に40代の被験者は方向音痴を補う目的で利用した。一方、30代の被験者は「リスク領域の色分け」を意識的に活用しており、特に赤色領域での行動を最適化するための手段としてマップを活用した。一方で、30代の被験者は「マップ上で行動によるリスク変化が反映されない点」を課題として指摘しており、長時間移動イベントにおける利用性向上の余地があることを示唆した。

休憩終了のタイミングと理由では、40代と20代の被験者は、主に「呼吸が整い、体調が落ち着いたタイミング」を休憩終了の基準として挙げた。推奨された時間よりも自身の体感を優先する傾向がみられた。

(3) 熱中症リスクの可視化および避暑ルートの提示をしなかったグループ

本項目では、熱中症リスクの可視化および避暑ルートの提示をしない条件下で、被験者の行動選択および熱中症予防行動に与える影響を明らかにするため、3名の被験者に対し半構造化インタビューの形式を用いてヒアリングを実施した詳細の結果を示す。

距離優先ルートの選択とその理由では、全ての被験者が距離優先ルートを選択した。その理由として20代の被験者は「短時間でゴールに到達すること」を目的とし、途中で休憩する必要がないと判断した。40代の被験者は「持参した飲み物があり、途中休憩なしで移動可能」と判断したため通常ルートを選択した。また、30代の被験者は「自身の若さと体力を根拠に休憩の必要性を感じなかった」と述べている。休憩行動とその要因では20代の被験者は、屋外での休憩は体力回復に寄与しないと考え、駅到着後に休む方が合理的と判断した。一方、40代の被験者は「喉が渇いたタイミングで立ち止まって水分補給を行う」形で休息をとった。また、最後にコンビニに立ち寄り、身体を冷やす目的で休憩を行った。30代の被験者は移動距離が短いと判断し

、途中で休憩を行わない選択をしたが、中間地点では喉の渇きと位置的な区切りを理由に一度水分補給を行った。

移動中のリスクと水分補給行動についてのヒアリングでは、全ての被験者が移動中に「日陰を選んで歩くこと」を意識しており、これにより体感温度の低下を図っていた。また40代の被験者は「商店街の日陰が少ないため、帽子を被る」対応を行った。また、信号待ちや踏切では日陰を活用して直射日光を避ける行動が観察された。

水分補給については、20代の被験者は「移動中に喉の渇きを感じなかった」として補給を行わなかったのに対し、40代の被験者と30代の被験者はそれぞれ「喉の渇き」を補給のタイミングとしていた。熱中症リスクの可視化を提示をしなかった40代の被験者は移動中に複数回水分を摂取し、立ち止まった際に補給を行う行動が特徴的であった。

マップの利用状況では、全ての被験者が「自分の位置と進むべき方向」を確認するために頻繁にマップを利用していた。20代の被験者と30代の被験者は「方向がズレていないかを確認する」ことを目的としており、40代の被験者も同様に位置情報を確認していた。

休憩を行わなかった理由として、20代の被験者は「屋外での休憩は体力回復に寄与しない」との経験に基づいて休憩を行わなかった。30代の被験者は「20分程度の移動時間であれば問題なく移動可能」と判断したため、休憩を不要と考えた。一方40代の被験者は「必要なタイミングで水分補給を行うこと」で対応していた。

6.4.4 休憩回数

図 29に、情報提示の有無による休憩回数の比較を示す。休憩回数は熱中症対策の一環として重要な指標であり、情報提示が休憩行動に与える影響を検討する。

まず、情報提示有りの被験者においては、20代で2回、30代で5回、40代で3回の休憩回数が確認された。特に、30代では最も休憩回数が大きく、情報提供を受けたことにより、積極的に休憩を取る行動が促進された可能性が考えられる。一方、20代および40代では、それぞれ2回および3回の休憩回数が見られ、情報提示の影響が一定程度及んでいたことが示唆される。

次に、情報提示無しの被験者においては、20代では休憩が確認されず、30代で1回、40代で3回の休憩が確認された。特に、20代では休憩がみられず、情報提示のない状況では、休憩を取る行動が促進されなかった可能性がある。30代では休憩は1回のみであり、情報提示がな

い場合には休憩回数が限定的であったことが示された。一方、40代では3回の休憩が見られ、情報提示の有無に関わらず、ある程度休憩行動の増加がみられる傾向が確認された。

以上の結果から、情報提示有りの被験者において、休憩が多く行われる傾向が見られた。特に30代では休憩回数が5回と最も多く、情報提示が休憩行動の促進に寄与した可能性が示唆される。一方で、情報提示無しの20代では休憩が行われず、情報提示がない場合には休憩を取る行動が促進されにくいことが示された。

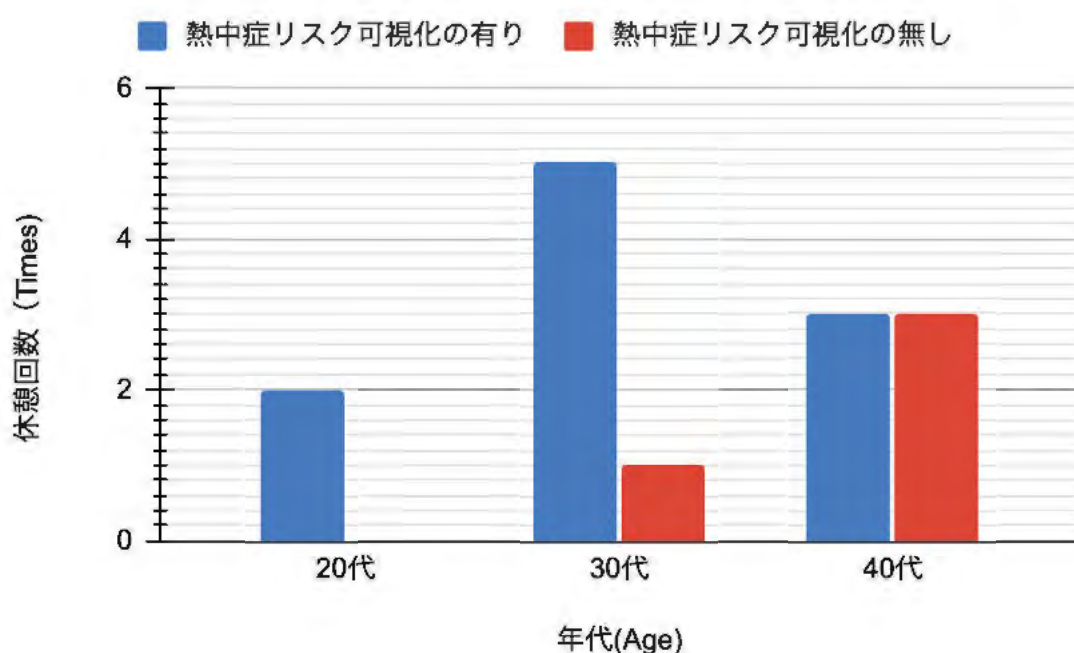


図 29 情報提供の有無による年代別の休憩回数(筆者作成)

6.4.5 休憩継続時間

図 30に、熱中症リスクの可視化の有無による休憩持続平均時間を年代ごとに比較した結果を示す。休憩の持続時間は、熱中症対策の観点から重要な指標であり、熱中症リスクの可視化が休憩時間の長さを与える影響を検討する。

まず、熱中症リスク可視化有りの被験者では、20代で1分31秒、30代で1分16秒、40代で1分51秒の休憩時間が確認された)。特に、40代では最も長い1分51秒の休憩が行われており、年

代が上がるにつれて休憩時間が長くなる傾向が見られた。一方、30代では1分16秒と最も短く、20代と比較しても休憩時間が短縮されていた。

次に、熱中症リスク可視化無しの被験者では、20代で0分0秒、30代で0分13秒、40代で0分13秒の休憩時間が確認された。20代では休憩が全く行われておらず、30代および40代においても休憩時間がわずか13秒にとどまっていた。このことから、熱中症リスクの可視化が行われな
い場合には、全体的に休憩時間が大幅に短縮される傾向があることが示された。

以上の結果から、熱中症リスクの可視化が休憩の持続時間に影響を与え、特に40代では休憩時間の増加が顕著であった。また、可視化無しの20代では休憩が全く行われておらず、情報が提供されない場合、休憩の必要性が十分に認識されなかった可能性が考えられる。一方で、可視化有りの被験者では、すべての年代で1分以上の休憩が確保されており、情報の提示が適切な休憩行動を促進する要因となることが示唆された。

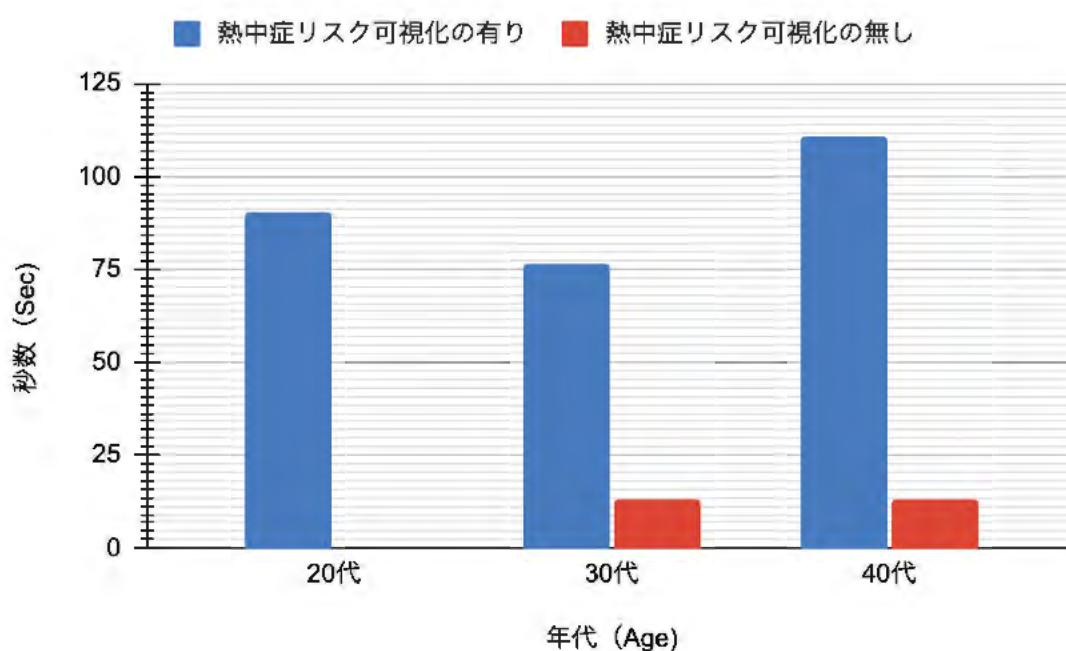


図 30 情報提供の有無による年代別の休憩継続時間(筆者作成)

第7章 考察

本章では、熱中症リスク情報の提示が対象者の行動変容に与える影響を明らかにすることを目的とし情報提示の有無による行動パターンの違いについて分析した結果を基に考察を行う。

7.1 休憩行動の質的・量的変化と情報提示の役割

休憩行動に関する分析から、情報提示が休憩の頻度や持続時間に与える影響が示された。休憩回数に関して、情報提示ありグループでは20代で2回、30代で5回、40代で3回の休憩が確認され、いずれの年代でも休憩の持続時間が1分以上確保されていた(20代:1分31秒、30代:1分16秒、40代:1分51秒)。一方、情報提示なしグループでは、20代で休憩が全く行われず、30代および40代でも休憩時間は13秒にとどまった。

また、情報提示ありグループの30代では、休憩回数が最も多く、休憩の持続時間が短い(1分16秒)ことから、リスク情報を受けた結果、短時間でも頻繁に休憩を取ることで熱中症リスクを低減しようとする意識が働いた可能性がある。一方で、40代では休憩回数は3回と30代より少ないものの、1回あたりの持続時間が最も長く(1分51秒)、身体的負荷を考慮した行動が優先されたと考えられる。

一方で、情報提示なしグループの20代では、休憩行動が全く見られず、リスク情報が提供されない場合、休憩を行わない可能性が示唆された。このことは、身体的疲労を自覚しても、リスク回避行動が促進されない可能性があることを意味している。さらに、30代および40代でも、休憩回数が少なく継続時間が短いことから、情報提供なしでは休憩の質と量が十分ではないことが確認された。

また要因分析の結果、情報提示の有無による「休憩」に関連する語彙の違いが明確に確認された。情報提示なしグループでは、「休憩」という行動が主に「屋外」「身体」といった語彙と直接的に関連しており、身体的疲労感や基本的な生理的要求を満たす即時的な対応としての側面が強いことが示された。これに対し、情報提示ありグループでは、「休憩」は「場所」「リスク」「熱中」といった語彙と結びつき、さらに「移動」「時間」「選択」などの要素とも関連を持つようになった。

この違いは、情報提示によって休憩が単なる疲労解消の行動から、熱中症リスクを認識した上での計画的な行動へと変化することを示唆している。特に、情報提示を受けた被験者は、休憩を取る際に「リスク」や「熱中」といった要因を考慮し、適切な「場所」や「時間」を選んで行動する傾向が確認された。

これらの結果は、情報提示が休憩行動の質や量に影響を与え、計画的なリスク回避行動を促進する可能性を示唆している。特に、情報提示ありグループが休憩時に「場所」や「時間」を考慮する傾向が観察されたことは、熱中症リスク情報が行動選択に一定の影響を及ぼすことを示していると考えられる。一方で、情報提示なしグループでは休憩回数が少なく、継続時間も短いことから、リスク情報の欠如が適切な行動選択を制限する要因となる可能性が示唆された。これらの知見は、リスク情報の提供が行動変容を促進する一つの手段となる可能性を支持するものである。

7.2 社会実装における課題

前章では本システムの有用性について考察を行ったが、社会での実装を検討する上では以下の課題の検討も必要になる。

7.2.1 暑熱下の検証によるシミュレーションの妥当性の確認

今回の検証では、夏季の屋外イベントにおいて、可視化された熱中症リスク情報とその対策行動の提示が、対象者の行動変容に与える影響を明らかにすることを目的とし、休憩を行う際の要因が、熱中症リスクマップを提示しない場合には、喉が乾いたなど身体の状態から熱中症対策行動を行うのに対し、熱中症リスクマップを提示した場合にはマップの色が赤になっていたから等、マップの情報を基に休憩を行っていた事、休憩回数と休憩継続時間にも差がみられた事から一定の有効性を確認した。

しかし、社会実装を見据えた本システムの有用性を更に高めるためには、実際の暑熱環境下における身体的負担が行動変容に与える影響についても明らかにする必要がある。

実際の暑熱環境下での身体的負担が及ぼす行動変容に対する影響を具体的に明らかにするためには、心拍数の上昇率や深部体温の変化といった生理指標の測定が有効である。こ

れらを検証することにより、シミュレーションによる熱中症リスク評価の正確性や個人の体質を考慮したさらなる検証が可能となる。

今後は、これらの指標を加えた評価を行うことで、暑熱環境下での行動変容に影響を与える要因をより明確にし、本提案システムの有用性向上と社会実装に向けた発展的な検討を進めることが期待される。

7.2.2 本システムの情報提示のあり方と今後の展望

前節で述べた通り本研究で設計、検証した歩行速度に基づく避暑ルート選択支援システムは、対象者のリスク認識を高め、適切な行動選択を促す手段の一つとなり得る。しかしながら、情報提示の方法については慎重に検討する必要がある。特に、リスクの確実性と不確実性のバランスを適切に考慮することが求められる。例えば、熱中症リスクが高いと表示された場所以外が必ずしも安全であるとは限らず、「リスクが低い」という表現が過度な安心感を生み、警戒が行われなくなる可能性がある。そのため、情報提示がユーザーのリスク認識や行動に与える影響を考慮した、表現を検討することが重要となる。また、本システムは熱中症リスクの回避を「支援」するための情報を提供するものであり、最終的なルート選択や行動決定はユーザー自身に委ねられる。情報の受け取り方や解釈には個人差があるため、情報提示の方法によっては行動変容が促進されにくくなる可能性がある一方で、逆に過度な不安を与える表現は行動選択に影響を及ぼす可能性も考えられる。そのため、リスク情報をどのように提示することで、リスク認識と行動選択が促されるのかを検討することが求められる。本研究では、情報提示が熱中症リスク回避行動に影響を与える可能性が示唆されたが、その効果には個人差があり、すべての対象者に対して同様の効果が得られるとは限らない。今後の課題として、情報の表現や提示方法がリスク認識や行動選択に与える影響をさらに詳細に分析し、過度な安心感や不安を生じさせることなく適切なリスク認識を促すための方法を検討する必要がある。また、本研究では熱中症リスクのシミュレーションの正確性、信頼性の向上にも取り組んできたが、それだけでは十分ではないと考えられる。シミュレーションの精度が高まることは重要であるものの、ユーザーがその情報をどのように受け取り、実際の行動に反映させるかを考慮する必要がある。そのため、情報提示の方法がユーザーの意思決定プロセスに与える影響についても検討する必要がある。今後のシステム改良においては、リスクを可視化するだけでなく、情報提示の手法そのものがユーザーの行動変容にどのように関与するかを考慮したシステム設計が求められる。

第8章 まとめ

近年、気候変動による気温上昇が進み、日本では真夏日や猛暑日の増加が顕著に観測されている。このような気象条件の変化は熱中症リスクを大幅に高め、救急搬送者数や死亡者数の増加が報告されている。夏季に開催される大規模イベントでは、多人数が高温環境下に集まるため、熱中症リスクがさらに高まる。国内外の調査でも、イベント参加者の一定割合が熱中症関連の症状で救護を受けており、適切な対策の必要性が指摘されている。屋外イベントの中でも、今回対象とする地域全体の屋外空間を回遊する屋外イベントは、参加者が複数箇所を移動し続ける特性上、日射を長時間浴びる機会が多く、熱中症リスクが高まりやすい。運営者は暑熱環境の整備を行う必要があるが、地域全体に設備を配置することには制約がある。また、参加者は連続した移動による熱中症リスクの蓄積を防ぐため適切な対策が求められるが、熱中症に対する意識が高かったとしても熱中症のリスクに気づく事が困難である事が指摘されている。関連研究として、夏季の屋外イベントにおけるルート提案に関して、ルート選択と救護所の配置を考慮した歩行者流動の最適化が、熱中症の発生リスクを抑制する可能性が示唆されている。また、暑熱環境における情報可視化が利用者の行動変容に与える影響について分析している研究では、現在利用者がおかれている温熱環境や熱中症リスクに関する情報を可視化し、それを利用者に提示することで、熱中症リスクを低減する行動選択が促されることが明らかになっている。

本研究は、屋外イベント参加者が長時間の移動によって蓄積する熱中症リスクを正しく認識し、リスクに基づいて行動を選択できる仕組みを構築する必要性に着目し、屋外イベント参加者の熱中症リスク低減を目的とした。目的を達成するために、本研究では蓄積する熱中症リスクをイベント参加者に対し、これから進むルートに基づいて可視化を行うことで、イベント参加者のこれから行う行動と照らし合わせることができると考えた。またそのルートの距離を算出するために歩行速度に着目することで、利用者の歩行速度に基づいた運動負荷の算出が可能になった。結果的に、暑さ指数と活動量の関係について示した関連研究と比較することによって、利用者の暑熱下での移動できる距離が算出される。その距離をルートに合わせて可視化することによって、屋外イベント参加者が蓄積する熱中症リスクを把握し、屋外イベントの熱中症リスク低減に寄与できると考えた。

システム評価にあたっては、熱中症リスクの可視化の妥当性と熱中症予防行動の実践に対する有効性を評価した。熱中症リスクの可視化の妥当性評価では、システムが提示する「リスク

の高まる距離」と、被験者それぞれの実測データを比較する手法を採用した。対象ルートを地理空間情報システム上で可視化し、被験者の移動ログを重ね合わせることで、シミュレーションとの乖離を検証した。結果として、移動可能距離の平均差が0.07km、屋外滞在可能時間の平均差が0.15時間という数値が得られた点は、シミュレーションが屋外周遊型イベントでの移動を一定の正確性を基に再現できていることを示唆する。一方で、熱中症リスクの可視化と避暑ルートの提示をしなかった20代の被験者の屋外滞在可能時間では0.33時間もの差が生じる事例もあり、すべてのケースで高い精度を保証できたわけではない。これらの差異の要因は、被験者の行動特性を一律の歩行速度として扱っていることによる過小・過大評価にあると考えられる。それでもなお、移動可能距離の平均差が0.07km以内に留まっていることから、イベント参加者の多様な移動パターンを反映しきれてはいないものの、リスク評価の初期導入段階としては妥当なシミュレーションであると結論づけることができる。また、熱中症予防行動の実践に対する有効性では、20～40代の被験者6名を対象に、横浜市内を舞台とする周遊実験を実施した。被験者を熱中症リスクを可視化した情報ありのグループと情報提示をしないグループに分け、通常(距離優先)ルートと避暑ルートのどちらを選択するか、また休憩や水分補給といった対策行動をどの程度取るかを比較検証した。あわせて、事前・事後アンケートおよびヒアリング調査、移動ログの記録を行い、行動変容の要因や実装上の問題点を多角的に分析した。

その結果、情報提示の有無は休憩の頻度と持続時間に大きく影響を与えた。情報提示ありグループでは、休憩回数が20代:2回、30代:5回、40代:3回と確認され、いずれの年代も1分以上の休憩を確保した(20代:1分31秒、30代:1分16秒、40代:1分51秒)。一方、情報提示なしグループでは、20代は休憩0秒、30代と40代も13秒のみにとどまり、明らかに休憩の質と量が不足していた。さらに、語彙分析の結果、情報提示ありでは「リスク」「熱中」と関連し、計画的な休憩が行われたが、情報提示なしでは「屋外」「身体」と関連し、疲労回復のみを目的とした休憩が多かった。これらの結果から、情報提供が熱中症リスクを意識した休憩行動の促進に寄与することが示唆された。

これらの結果から歩行速度に基づく避暑ルート選択支援システムは、対象者のリスク認識を高め、適切な行動選択を促す手段の一つとなり得ることが示唆された。今後は、情報提示の方法がユーザーの意思決定プロセスに与える影響についても検討し、情報提示の手法がユーザーの行動変容にどのように関与するかを考慮したシステム設計を検討していく。

謝辞

研究の実施および論文の執筆にあたり、非常に多くの方々から多大なるご支援と温かなご指導、さらには鼓舞するお言葉を賜りました。研究を進めるにあたっては、幾度となく困難に直面し、進むべき方向に迷いが生じることもございましたが、そのような状況を乗り越えるための知見や示唆を惜しみなく提供して下さった皆さまの存在が、私の歩みを大きく前へと進めてくださいました。改めまして、ここに深く感謝の意を表します。

まず、慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科教授であり、本論文の主査をお務めいただいた神武直彦先生には、研究の着想から論文の最終的な取りまとめに至るまで、一貫して多大なるご指導とご鞭撻をいただきました。先生は、学術的な視点だけでなく、実社会への応用や多分野との融合といった観点からも貴重なご意見を下さり、視野が狭くなりがちな研究活動のなかで、常に新たな気づきと広い視野を提供してくださいました。先生との度重なるディスカッションや、的確で鋭いフィードバックを通じて、私が抱いていた疑問や課題は次第に明確化し、研究の方向性がより一層確かなものになっていったと感じております。また、副査を担当していただいた猪熊浩子教授には、ご多忙な日々をお過ごしの中なかでも相談の機会を快く設けていただき、幾度となく丁寧にアドバイスを賜りました。

さらに、同大学院の西野瑛彦特任講師には、長きにわたるディスカッションに応じていただいたことをここに改めて深く御礼申し上げます。多忙なスケジュールの合間を縫ってご対応いただき、研究計画の調整、実験手法の洗練、結果の整理など、幅広い観点から多くの助言をいただきました。西野先生の親身なご対応と、豊富な専門知識に裏打ちされた示唆は、研究過程において非常に心強い支えとなりました。また、小高暁特任准教授からは、論文執筆を行う段階で多くの実践的なアドバイスをいただきましたほか、考察を考える際に必要となる視点や、データ整理の方法についても丁寧にご教示いただきました。中島円特任教授には考察の考え方を手厚くサポートをいただきました。海外招聘准教授であるNatt Leelawat先生には構想の段階で多大なるご支援をいただき研究を行う上でのテーマの考え方をご教示いただきました。

年末年始のお忙しい時期にもかかわらず研究相談にご対応くださった海野裕晃さんには、ロジックの組み方や研究の分かりやすい流れを構築する手助けをしていただきました。さらに、早朝から実験にご参加いただいた納谷洋平さんや、研究相談、協力を快く引き受けてくださった斎藤敦子さん、夜遅くまで文章を校閲していただき、学術的な文脈を踏まえた表現の修正を行

ってくださった赤松尚範さん、小川尚人さんをはじめとする多くの方々のお力添えなしには、本研究の遂行や論文の完成はなし得なかったと痛感しております。実験や論文調査にご協力くださった清水健太さん、古川公士さん、阿久津朋宏さんも含め、皆さま一人ひとりに対し、改めて深い感謝を申し上げます。研究室の同期の方々におきましても、各自がご自身の研究に多忙を極めるなか、私の研究に割く時間をつくり、議論やアイデア出しに貴重な助言をいただきました。敷田剛志さん、山下紘生さん、荒岡俊昭さん、竹内隆太さんといった皆さまには、実験の組み立て方やデータ解析方法の検討など多方面から有形無形のサポートをいただいております。

また、本間有貴さん、三輪智史さん、宮崎莉加さんなどOB・OGの方々を含め、研究の内容に対するご意見だけでなく、研究進行上の不安や迷いに関しても温かく励ましていただきました。その言葉一つひとつが、大きなモチベーションへとつながりました。

私の研究において重要な節目には、皆さまの支えが常に存在していたと感じております。さらに、どんなに厳しい状況や難題に直面しても、最後まで支えてくれた家族のメンバーにも、深い感謝を捧げたいと思います。家族の支援は、研究活動を継続する上で欠かせない精神的支柱であり、学業に専念できる環境をつくってもらえたことは何ものにも代えがたい幸運です。日々の励ましや理解、協力がなければ、こうして論文を完成させることは難しかったでしょう。家族の存在こそが、私が困難を乗り越えるための最も大きな原動力でありました。

最後となりますが、慶應義塾大学大学院SDM研究科2023年春入学の同期の皆さまと、ともに2年間を過ごし、互いに切磋琢磨できたことを何よりも誇りに感じております。学問分野の枠組みを越えた多様なバックグラウンドを持つ同期の方々と、同じ空間で学び合い、議論を交わし、一つの問題に多角的なアプローチで向き合う体験は、私の研究内容をより充実させ、人としての視野を広げてくれました。そうした貴重な学びの場を共有できたことはかけがえのない財産であり、今後の研究生活はもとより、将来にわたっても私を力づけるものとなるでしょう。こうした学びと成長の機会をともに作り上げてくださった皆さまに、心からお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 国土交通省. “日本の年平均気温偏差の経年変化(1898～2024年)”. 気象庁
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html, (最終閲覧日 2025/1/24)
- [2] 国土交通省. “全国(13 地点平均)の真夏日の年間日数”. 気象庁
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, (最終閲覧日 2025/1/24)
- [3] 国土交通省. “全国(13 地点平均)の猛暑日の年間日数”. 気象庁
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, (最終閲覧日 2025/1/24)
- [4] 国土交通省. 国土交通白書 20237 章美しく良好な環境の保全と創造 4 ヒートアイランド現象
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001617365.pdf>, (最終閲覧日 2024/12/20)
- [5] 国土交通省. “3 都市平均と 15 地点平均の年平均気温偏差および日本近海の平均海面水温の経年変化”. 気象庁. 2023, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/himr_1-1-2.html, (最終閲覧日 2025/1/24)
- [6] Hajat, S., Kovats, R. S., and Lachowycz, K. “Heat-Related and Cold-Related Deaths in England and Wales: Who is at Risk?” *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 64, 2007, pp. 93-100.
- [7] Ruttan, T., Stolz, U., Jackson-Vance, S., et al. “Validation of a Temperature Prediction Model for Heat Deaths in Undocumented Border Crossers.” *Journal of Immigrant and Minority Health*, vol. 15, 2013, pp. 407-414.
- [8] Sung, T. I., Wu, P. C., Lung, S. C., Lin, C. Y., et al. “Relationship Between Heat Index and Mortality of 6 Major Cities in Taiwan.” *Science of the Total Environment*, vol. 442, 2013, pp. 275-281.
- [9] Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., and Baker, C. J. “Including the Urban Heat Island in Spatial Heat Health Risk Assessment Strategies: A Case Study for Birmingham, UK.” *International Journal of Health Geographics*, vol. 17, 2011, pp. 10-42.
- [10] Mastrangelo, G., Fedeli, U., Visentin, C., et al. “Pattern and Determinants of Hospitalization During Heat Waves: An Ecologic Study.” *BMC Public Health*, vol. 7, 2007, p. 200.
- [11] National Oceanic and Atmospheric Administration (USA). “What is the Heat Index?” National Weather Service. (最終閲覧日 2025 年 1 月 24 日).
- [12] CDC (USA). “Emergency Preparedness and Response (Extreme Heat).”
<http://www.bt.cdc.gov/disasters/extremeheat/> (最終閲覧日 2025 年 1 月 24 日).
- [13] Department of Health (UK). Heatwave Plan for England.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/310598/10087-2902315-TSO-Heatwave_Main_Plan_ACCESSIBLE.pdf (最終閲覧日 2025 年 1 月 24 日).
- [14] Bureau of Meteorology. Pilot Heatwave Service for Australia. <http://www.bom.gov.au/australia/heatwave/> (最終閲覧日 2025 年 1 月 24 日).
- [15] 環境省. 「熱中症環境保健マニュアル 2022」. 熱中症予防サイト, WBGT: 熱中症予防のための指標. 表 1-1 WBGT(WBGT)に応じた注意事項等.
- [16] 日本生気象学会. 「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3.1」. 2021.
- [17] 環境省. 熱中症環境保健マニュアル 2022. 第 4 章「熱中症とは何か」Ⅰ. 熱中症と気象条件, 図 1-11「熱中症搬送数(率)(2008～2021 年)」(a) 日最高気温別、(b) 日最高暑さ指数(WBGT)別. 環境省, 2022.
- [18] 総務省. 「令和 6 年(5 月～9 月)の熱中症による救急搬送状況」. 消防庁, 令和 6 年 10 月 29 日.
- [19] 環境省. 令和 6 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書. 第 1 部 第 3 章 第 3 節 人の命と環境を守る, 2024.
- [20] 「マスギャザリングの医療支援に関する提言」. 第 12 回日本集団災害医学会総会・学術集会シンポジウム (2) マスギャザリング, 2007 年 1 月.

- [21]小井土雄一, 勝見敦, 森村尚登. 「マスギャザリングに対する災害・救急医療体制」. IRYO, vol. 64, 2010, pp. 740-745.
- [22]MIMMS. 大事故災害への医療対応: 現場活動における実践的アプローチ 第3版 (MIMMS 日本委員会訳). 永井書店, 2013.
- [23]Arbon, P. A., Bridgewater, F. H., and Smith, C. "Mass Gathering Medicine: A Predictive Model for Patient Presentation and Transport Rates." Prehospital and Disaster Medicine, vol. 16, no. 3, 2001, pp. 109-116.
- [24]川崎市. 「熱中症を防ぐためには」. 第2章 夏季のイベントにおける暑熱環境と熱中症発生状況. 川崎市, <https://www.city.kawasaki.jp/cmsfiles/contents>. (最終閲覧日 2025年2月6日).
- [25]環境省. 夏季のイベントにおける熱中症対策ガイドライン 2020. 第2章 夏季のイベントにおける暑熱環境と熱中症発生状況(ア)大規模な路上・公園等での集団演舞イベント、夏祭り(a)につぼんど真ん中祭り. 環境省, 2020.
- [26]環境省. 「夏季のイベントにおける熱中症対策ガイドライン 2020」. 環境省熱中症予防サイト、2020年, https://www.wbgt.env.go.jp/heatillness_rma_portal.php. (最終閲覧日 2025年2月6日)
- [27]環境省. (2022). 夏季のイベントにおける熱中症対策ガイドライン 2022. 第3章 熱中症を防ぐためには(3) 暑熱環境の把握とその緩和
- [28]神戸市. 「熱中症対策を知ろう・体験しよう」. 環境局環境創造課, 記者資料提供, 2023年7月12日. 神戸市ホームページ, <https://www.city.kobe.lg.jp/a73498/327099128571.html>. (最終閲覧日 2025年2月6日).
- [29]熊谷市. 「埼玉県熊谷市の暑さ対策の取組 2005-2022」. 埼玉県熊谷市市長公室政策調査課, 報告書.
- [30]環境省. 「岐阜県多治見市 令和4年度 熱中症予防対策の推進に係るモデル事業」. 環境省, <https://www.env.go.jp/content/900502226.pdf>. (最終閲覧日 2025年2月6日).
- [31]ダイキン工業株式会社. “ダイキンが解説！しつどコントロールで熱中症対策”. DAIKIN. <https://www.daikin.co.jp/heatstroke>, (最終閲覧日 2025-1-24)
- [32]損害保険ジャパン株式会社. “THE カラダの保険”. 損保ジャパン https://faq.sompo-japan.jp/karada/faq_detail.html?id=201106(最終閲覧日 2025-1-24)
- [33]パナソニックホールディングス. “熱中症をおこす3つの要因と対策とは?エアコンで熱中症対策も”. Panasonic, <https://panasonic.jp/life/air/170071.html> (最終閲覧日 2025-1-24)
- [34]三菱電機株式会社. “暑い夏に備えよう！室内の熱中症を防ぐために！家族で早めの試運転を”三菱電機, <https://www.mitsubishielectric.co.jp/home/kirigamine/special/oshiete/15/> (最終閲覧日 2025.1.24)
- [35]東急株式会社. “東急線沿線お出かけ節電プロジェクト「OFF&GO」アクション家の電気を決してお出かけするクールシェアによる夏の節電行動を促進します～第1弾は、クールシェアと熱中症対策の認知拡大を目指しま

- す〜”. 東急グループ, 2023-7 https://www.tokyu.co.jp/company/news/list/Pid%3Dpost_510.html (最終閲覧日 2025-1-24)
- [36]イオンモール. “日本最大級の指定暑熱避難施設「クーリングシェルター」として全国のイオンモールの指定推進へ”. イオンモール, 2024-9 https://www.tokyu.co.jp/company/news/list/Pid%3Dpost_510.html (最終閲覧日 2025-1-24)
- [37]長谷川正樹, 安田丑作, 三輪康一, 末包伸吾, 栗山尚子, 和田野美久仁. 「商店街におけるまちづくり手法としての地域イベントの活用とその評価に関する研究: 神戸市長田区の『鉄板こなもん祭』における事例分析を通して」. 日本建築学会近畿支部研究報告集, 計画系, No.46, 2006, pp. 461-464.
- [38]杉本興運. 「イベント開催時における訪問者の目的地内移動パターン—東京都・上野公園でのフェスティバルを事例に一」. 観光研究, Vol. 29, No. 1, 日本観光研究学会機関誌, 2017 年 9 月, pp. 17-28.
- [39] 大阪府守口市. 「謎解き宝探し in 守口市 江戸川乱歩が残した最後の小説」. 戦国宝探しプロジェクト, <https://sengokutakara.com/moriguchi/>. (最終閲覧日 2025 年 2 月 6 日).
- [40]神奈川県横浜市港北区. 「オープンガーデン」. 横浜市港北区公式ホームページ <https://www.city.yokohama.lg.jp/kohoku/shokai/bunkakanko/opengarden.html>. (最終閲覧日 2025 年 2 月 6 日).
- [41]神戸市長田区. 「鉄板粉もん祭り」. 本町筋商店街公式ホームページ, <https://www.honmachisuji.com/post/%E9%89%84%E6%9D%BF%E3%81%93%E3%81%AA%E3%82%82%E3%82%93%E7%A5%AD>. (最終閲覧日 2025 年 2 月 6 日).
- [42]Orosa, J. A., Costa, Á. M., Rodríguez-Fernández, Á., and Roshan, G. “Effect of Climate Change on Outdoor Thermal Comfort in Humid Climates.” *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, vol. 12, 2014, p. 46.
- [43]Demartini, J. K., Casa, D. J., Stearns, R., Belval, L., Crago, A., Davis, R., et al. “Effectiveness of Cold Water Immersion in the Treatment of Exertional Heat Stroke at the Falmouth Road Race.” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 47, 2015, pp. 240-245.
- [44]Kim, S.-H., Jo, S.-N., Myung, H.-N., and Jang, J.-Y. “The Effect of Pre-Existing Medical Conditions on Heat Stroke During Hot Weather in South Korea.” *Environmental Research*, vol. 133, 2014, pp. 246-252.
- [45]吉田伸治. 「樹木の成長, 樹種の違いが樹冠の葉面積密度・光学的深さに及ぼす影響: 実測に基づく街路樹の日射遮蔽効果の評価手法に関する研究」. 日本建築学会環境系論文集, no. 605, 2006, pp. 103-110.
- [46]小島功, オーニングの素材と色による日射遮蔽効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 II), 145-146, 2013
- [47]三坂育正. 「温熱環境的な空間を創出するための日射遮蔽と表面被覆対策技術の性能評価に関する研究: その 1 膜状日射遮蔽材料の暑熱環境緩和効果に関する研究」. 日本工業大学研究報告, vol. 44, no. 2, 2014, pp. 59-60.
- [48]志村恭子. 「道路舗装に関する屋外比較実験の概要と夏季測定結果: 各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響 その 1」. 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学 I), 2012, pp. 863-864.
- [49]三坂育正. 「水冷式ベンチの暑熱環境緩和効果の評価に関する研究」. 41st Symposium on Human-Environment System (HES41) in Ueda, 9-10 Dec. 2017, 日本工業大学, 環境情報科学センター.
- [50]尾崎平「体育会野球部を対象とした実態調査に基づく活動時の熱中症予防に関する考察」. 環境情報科学論文集, vol. 38, 2024, pp. 173-178.
- [51]尾崎平. 「熱中症対策行動促進のための要因構造分析: 大阪府の居住者を対象として」. 土木学会論文集 G (環境), vol. 77, no. 6 (環境システム研究論文集 第 49 巻), 2021, pp. II_139-II_147.
- [52]Rußig, Joachim, and Julian Bruns. “Reducing Individual Heat Stress through Path Planning.” *GI-Forum*, vol. 1, 2017, pp. 327-340. Österreichische Akademie der Wissenschaften.
- [53]Wu, Y., Xia, T., Jatowt, A., Zhang, H., Feng, X., Shibasaki, R., and Kim, K. “Context-Aware Heatstroke Relief Station Placement and Route Optimization for Large Outdoor Events.” *International Journal of Health Geographics*, vol. 20, 2021,

- [54] 柴田祥江, 北村恵理奈, 松原斎樹. 「高齢者の夏季室内温熱環境実態と熱中症対策—体感温度の認知(見える化)による行動変容の可能性—」. 日本気象学会雑誌, vol. 55, no. 1, 2018, pp. 33-50.
- [55] 岡田博嗣, 樋山恭助, 松田憲, 小金井真. 「都市建築環境の可視化情報におけるエントロピー最小化に関する研究—CFD 解析結果の表示形式が都市風環境の直感的理解に及ぼす影響の分析—」. 日本風工学会論文集, vol. 41, no. 2, 2016, pp. 68-78.
- [56] 深谷恭平, 村上暁信. 「可視化された温熱環境情報が屋外空間の利用に与える影響に関する研究」. 都市計画論文集, vol. 58, no. 3, 2023 年 10 月, 公益社団法人日本都市計画学会.
- [57] 宇田川真之, 紀伊智顕, 豊田健志. 「自動車移動中の来訪者への防災情報提供の改善にむけて: カーナビを通じた情報提供の実証実験より」. 災害情報 = Journal of Disaster Information Studies, no. 18, 日本災害情報学会, 2020 年 7 月, pp. 71-81.
- [58] 佐藤翔輔, 阿部紀代子. 「来街者の津波避難誘導をねらいにした避難行動・誘導実験とその分析 —石巻市中心市街地における事例—」. 土木学会論文集 B2(海岸工学), vol. 71, no. 2, 2015, pp. I_1639-I_1644.
- [59] Yaglou, C. P., and D. Minard. "Control of Heat Casualties at Military Training Centers." Archives of Industrial Health, vol. 16, no. 4, American Medical Association, 1957, pp. 302-316.
- [60] 寄本明. 「WBGT を指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価」. 体力科学, vol. 41, no. 4, 1992, pp. 477-484.
- [61] 尾崎平, 安部寛喜. 「健康増進型公園の利用特性と暑熱環境の関係性分析」. 土木学会論文集 G(環境), vol. 75, no. 6 (環境システム研究論文集 第 47 巻), 2019, pp. II_29-II_37
- [62] 日本建築学会. 日本建築学会環境基準 AIJES-H0004-2014 温熱心理・生理測定基準・同解説. 丸善出版株式会社, 2014 年 3 月 1 日.
- [63] 山崎昌廣, 佐藤陽彦. 「ヒトの歩行: 歩幅, 歩調, 速度およびエネルギー代謝の観点から」. 人類誌 (J. Anthropol. Soc. Nippon), vol. 98, no. 4, 1990, pp. 385-401.
- [64] 中江悟司, 田中茂穂, 宮地元彦. 改訂版『身体活動のメッツ(METs)表』. 独立行政法人国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部・健康増進研究部.
- [65] Akiyama, H., Watanabe, D., and Miyachi, M. "Estimated Standard Values of Aerobic Capacity According to Sex and Age in a Japanese Population: A Scoping Review." PLoS One, vol. 18, no. 9, 2023, e0286936.
- [66] E.W.Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphics. Numerische Mathematik, Vol. 1, pp. 269-271, 1959.
- [67] 港北ボランティアガイドの会. 「横浜七福神巡り」. <https://kouhokuv.g.yokohama/uploads/2021/08>. (最終確認日 2025 年 2 月 5 日)