

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

1-1905 気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する
健康と環境の好循環の政策
(JPMEERF20191005)
令和元年度～令和3年度

Policy Measures to Innovate Synergistic Co-actions for People's Health and Global Environment
under Climate Change with Urban Heat Wave in Vulnerable Aging Society

〈研究代表機関〉
関西大学

〈研究分担機関〉
国立循環器病研究センター
国立環境研究所
慶應義塾大学
京都府立医科大学

〈研究協力機関〉

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ．成果の概要」の図表番号は「0．通し番号」としております。なお、「Ⅱ．成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ．成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号．通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和4年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5－1. 成果の概要	
5－2. 環境政策等への貢献	
5－3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6－1. 査読付き論文	
6－2. 知的財産権	
6－3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II－1 高齢化社会における暑熱環境の変化が循環器病に与える影響評価 （国立循環器病研究センター）	18
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
II－2 市民の暑熱環境に適応する行動への変容・支援と新たな社会基盤の未来戦略 （関西大学）	25
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
II－3 健康と環境の持続可能な地域共創拠点形成政策 （関西大学）	40

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細	・ ・ ・ ・ ・	55
-----------------	-----------	----

Ⅳ. 英文Abstract	・ ・ ・ ・ ・	60
---------------	-----------	----

I. 成果の概要

課題名 1-1905 気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策

課題代表者名 北詰 恵一 (関西大学環境都市工学部教授)

重点課題 主：【重点課題②】持続可能な社会の実現に向けた価値観・ライフスタイルの変革

副：【重点課題⑦】気候変動への適応策に係る研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） 非該当

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

研究経費

114,991千円（合計額）

（各年度の内訳：令和元年度：39,394千円、令和2年度：38,803千円、令和3年度：36,794千円）

研究体制

（サブテーマ1）高齢化社会における暑熱環境の変化が循環器病に与える影響評価
（国立循環器病研究センター）

（サブテーマ2）市民の暑熱環境に適応する行動への変容・支援と新たな社会基盤の未来戦略
（関西大学）

（サブテーマ3）健康と環境の持続可能な地域共創拠点形成政（関西大学）

研究協力機関

研究協力機関はない。

本研究のキーワード 気候変動、熱中症、暑熱リスク、脆弱性評価、地域共創拠点、行動変容

1. はじめに（研究背景等）

2018年の酷暑において熱中症の救急搬送が7月下旬の1週間で2.5倍と急増したことに見られるように、暑熱環境に対する人々の健康維持対策が喫緊の課題となっている。また、気候変動適応法により適応を総合的に推進し地域でも強化することとなった。第5次環境基本計画でも、低炭素で健康な住まいという項目を含む健康で心豊かな暮らしの実現が盛り込まれた。これらを促進するためには、将来、気候変動により酷暑が常態化した社会における適応を考えるために、気候変動と健康のエビデンスベースでの関連分析と、それに基づく政策展開が必要となる。一方で、健康に特に注意の必要な高齢者比率が40%近くとなる社会は構造的な脆弱性を持つと見なすことができ、乳幼児なども含め健康へのケアが必要な人々が大きなシェアを占めることを前提とした社会システム構築が求められる。在宅中の熱中症発症を防ぐための空調稼働を低炭素と両立させる仕組みや、高温・高湿環境下でも健康に資する歩行外出時に快適な環境を創造する設計思想など、市民生活の行動変容を支える社会基盤を充実させる必要がある。そして、その取組みが持続的なものとなるため、健康維持の行動が環境対策に、環境改善の取組みが健康改善に相互につながる好循環を生み出す仕掛けが重要となる。

これらの新しい取組みにあたって、セルフケア、コモンの備え、地域制度づくりなど、国・自治体、教育研究機関、企業、市民がそれぞれの責務を果たしながら提案・実践・改善する統合プロセスを開発

することが課題である。地域共創拠点は、市民が、企業や公的機関が提案する新社会システムを実践的に体験しつつ一体的に社会的価値を高めていく仕組みであり、環境総合推進の学術領域で本格的に取り組む対象である。そして、市民が自分ごととして捉えられる健康からそれを支える環境へ展開し、SDGsフレームを視野に収めて社会政策に繋げ、健康と環境の好循環を戦略的に構築することが求められる。

2. 研究開発目的

本研究では、気候変動による暑熱変化の影響をエビデンスベースで分析・評価し、高齢化社会と将来の都市の脆弱性を踏まえた健康と環境の好循環を実現する支援ツールの開発と地域共創拠点のプロセスデザインを行い、環境政策に資する提案を行うことを目的とする。

そのために、本研究では、(1) 熱中症搬送データと気象データを基にした熱中症予測モデルと循環器病発症予測モデルを構築する、(2) 構築した予測モデルと実測データを用いて、暑熱に対する地域的脆弱性の特性分析を行い、屋内外の熱ストレスの高い地域を特定し、熱中症発症数の減少のための適応策の実施ロードマップの検討、ならびに市民の行動モニタリングやワークショップ等をもとに、ライフスタイルの行動変容支援を促すためのツールの開発を行う。開発ツールは、①ベーシックな紙媒体としての熱中症予防ガイド、②Webベースのアラート情報、外出時の避暑ナビをベースとした個人向けの行動変容支援ツール、③政策、意思決定者向けの適応政策プラットフォーム、④屋外、半屋外空間での暑熱環境軽減技術などである、(3) これらの開発ツールおよびそれを用いた技術開発・政策立案は、研究者のみで構築するのではなく、構築したものを地域共創拠点において、一般市民、あるいは行政担当者、専門家らと、アクションリサーチ型のワークショップ、社会実験を通じて、協働により構築する。

以上の予測と実測・評価および共創の3つのアプローチを相互に実施することを通じて、気候変動による暑熱環境の変化が脆弱な高齢化社会の熱中症発症に与える影響をエビデンスベースで分析・評価し、オープンイノベーション方式による持続可能な地域共創拠点の形成と実装化を通じて、暑熱環境の悪化に適応する行動変容促進と熱中症リスク軽減を同時に実現する健やか志向行動の支援と新たな社会基盤、環境政策の提案を行うことを目的とする。

3. 研究目標

全体目標	本研究では、気候変動による暑熱環境の変化が脆弱な高齢化社会の熱中症発症に与える影響をエビデンスベースで分析・評価し、オープンイノベーション方式による持続可能な地域共創拠点の形成と実装化を通じて、暑熱環境の悪化に適応する行動変容促進と熱中症リスク軽減を同時に実現する健やか志向行動の支援と新たな社会基盤、環境政策の提案を行うことを目的としている。それに対して、AD会合において、「研究成果としてのアウトプットとそのプロセスをより明確にすべき」と指摘を受けた。そのため、本研究では、(1) 熱中症搬送データと気象データを基にした熱中症予測モデルと循環器病発症予測モデルを構築する、(2) 暑熱に対する地域的脆弱度の評価モデルの構築、暑熱環境リスクの定量モデルの構築を行う。アウトプットとして、①ベーシックな紙媒体としての熱中症予防ガイドの作成、②Webベースのアラート情報、外出時の避暑ルートナビを備えた個人向けの行動変容支援ツールの提案、③政策、意思決定者向けの適応政策プラットフォームの構築、④ 屋外、半屋外空間での暑熱環境軽減技術の必要要件の抽出と提案を行う。また、これらのアウトプットは、(3) 地域共創拠点を形成し、一般市民、あるいは行政担当者、専門家らとアクションリサーチ型のワークショップ、社会実験などの協働により構築する。
------	--

サブテーマ 1	高齢化社会における暑熱環境の変化が循環器病に与える影響評価
サブテーマリーダー /所属機関	西村邦宏／国立循環器病研究センター
目標	暑熱環境変化から熱中症や循環器病の発症率を推定するモデルを将来気候変動シナリオと対応づけることを踏まえて構築し、具体的なケース適用の要素となる地域条件や生活行動パターンを反映させ、健康影響評価を行うものとする。熱中症予測モデルの構築のために、既に救急医療チーム共有の救急調査結果と、消防庁所有の熱中症に関するデータを突合させ、熱中症発生の時空間分布と個人属性別（性別、年齢階層）の重篤度合を関連づけ、当時の気象情報等の要因を考慮した分析により、時空間別市民属性別要因の熱中症発生予測モデルの構築を行う。これらは、最終目標の政策効果評価のためのプロトタイプとなる。

サブテーマ 2	市民の暑熱環境に適応する行動への変容・支援と新たな社会基盤の未来戦略
サブテーマリーダー /所属機関	尾崎平／関西大学
目標	最終目標である脆弱性・熱ストレス適応策の時空間評価のため、暑熱に対する脆弱性指標を提案し、熱中症による救急搬送データとの関係から、地域的脆弱度の評価モデルの構築を行う。また、ヘリによる熱画像計測と人流データ・SNSデータの分析による暑熱環境リスクの定量化を行い、熱環境リスクの定量モデルの構築を行う。さらに活動量、温湿度、電力消費量のモニタリングとアンケート結果に基づく行動変容支援のために必要な要件・コンテンツの抽出とアルゴリズムの構築を行う。また、大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いた将来気候における脆弱性評価を行う。

サブテーマ 3	健康と環境の持続可能な地域共創拠点形成政策
サブテーマリーダー /所属機関	北詰恵一／関西大学
目標	熱中症発生と関連づけられた寄与要因を踏まえ、セルフケアの予防的行動変容の実効性を確認し、コモンの備えとして共有していくための地域制度づくりや社会インパクトに繋がる要因もテーマとして取り入れた地域共創拠点を実際に設立・運営する。ENoLLや国内先進事例・文献をもとに、効果的に価値創造を促すプロセスモデルを構築する。ST1、2の成果をもとに、介入政策を考える上で重要となる熱中症予防ガイド、個人向けの行動変容支援ツール、政策・意思決定者向けの適応政策プラットフォーム、暑熱環境軽減技術に求められる要件について、地域共創拠点においてワークショップなどを通じて実践する。

4. 研究開発内容

サブテーマ 1：高齢化社会における暑熱環境の変化が循環器病に与える影響評価では、熱中症の記述的学研究を行い、その結果をもとに、天気情報を踏まえた熱中症救急搬送予測モデルの開発、循環器病疾患への影響評価を実施し、さらに、将来気候下での熱中症救急搬送数の推計を行った。

まず、救急搬送情報を用いた熱中症の記述疫学研究を行った。熱中症の発症状況を記述すること、気

象条件と熱中症の関連を探索的に検討することを目的に、これまでの市町村単位よりも詳細な単位での記述疫学的な解析を行った。関西17市から提供を受けた救急搬送情報を用いて熱中症の発症を定義し、救急搬送情報により得られた発症日時、位置情報と気象情報のリンケージを行った。気象データは、気象庁のアメダス観測点データおよびウエザーカンパニー社による観測データを用いた。

次に、天気情報を活用する熱中症救急搬送予測モデルの開発研究を行った。データとしては近畿地方16市町村の2015から2017年の6月から9月のデータを予測モデル作成のための訓練データセットとし、2018年の同期間のデータを予測モデルの精度を検証するためのデータセットとした。天気情報と暦情報と公開されている市町村の統計情報（人口、人口男女比、高齢化割合、緑地面積等）を特徴量とし、熱中症による救急搬送の全症例件数と中等症以上症例件数（入院診療、長期入院、死亡例）を教師データとして、最終的には複数の機械学習アルゴリズムで（一般化線形モデル、一般化加法モデル、ランダムフォレスト、勾配ブースティング）、AI予測モデルを作成した。作成した予測モデルと2018年の天気情報と暦情報と市町村の統計情報によって、2018年における12時間毎の市町村単位の熱中症発症数の予測値を求め、それに対応する実測数との差をみることで、作成した予測モデルの精度を評価した。市町村単位の12時間毎の予測精度は二乗平均平方根誤差（RMSE）で評価し、熱中症発症数が多い日の全市町村の1日単位の予測精度は平均絶対パーセント誤差（MAPE）で評価した。

また、循環器疾患発症への気候の影響評価を行った。“院外心停止発症の要因”に焦点を当て、心血管疾患と気温に関係性があるという既存研究報告から、気象条件をもとに日々変動する院外心停止発症リスクを予測するモデルの作成を行った。総務省消防庁によるウツタイン様式救急蘇生統計データとWeather Company社の高解像度気象データを用い、2005年1月～2013年12月を訓練データセットとして、一日あたりの心停止発症数を予測する機械学習モデルを作成し、2014年1月～2015年12月のデータを用いて本予測モデルの精度を検証した。研究期間中に登録された心原性院外心停止661,052件（訓練モデル525,374件および試験モデル135,678件）を解析対象とし、気象データのみ使用したモデル、暦データのみを使用したモデルおよびそれらを組み合わせたモデルを作成し、予測精度をそれぞれ評価した。

サブテーマ2：市民の暑熱環境に適応する行動への変容・支援と新たな社会基盤の未来戦略では、適応行動変容・支援と新社会基盤の整備の両側面からアプローチする。暑熱に対する脆弱性指標の提案、地域の脆弱性評価、都市内の暑熱リスクの評価モデルの構築ならびに、行動変容支援のため要因抽出とツールの開発、さらに将来気候における脆弱性評価を行った。

暑熱に対する脆弱性指標の提案では、WBGTの条件下で、どれだけの時間暴露されたかも考慮する必要があるとともに地域特性を考慮すべきであるとの認識のもと、暑熱に対する脆弱性指標（DT値）を新たに定義した。この指標と救急搬送数との関係により、日本生気象学会による日常生活における熱中症予防指針と同じ4区分での救急搬送数非超過確率発症確率を算定し、対象地域における危険度レベルの違いを定量的に表現した。

地域的脆弱度評価モデルの構築では、徒歩圏内の人口、施設利用度、交差点数からなる都市機能集積指数を定義し、対象地域の各消防部局から得た熱中症に関する事案のみの救急搬送データのうち、覚知時刻（年月日時分）、救急車到着地点住所（町・字）、同場所（住居、道路、教育機関等）、性別、年齢、傷病程度（軽傷～死亡、その他）情報を持つ熱中症搬送数との相関分析を行った。さらに、都市毎のクラスター分析により地域特性の区分を行い、脆弱度をGIS上で表示した。

都市域の熱環境リスクの定量モデルの構築では、広域を対象としつつ経済性に優れたリモートセンシング技術等を活用し、詳細かつ広域の環境解析手法の開発を目指した。新しいデジタルデータを活用し、市街地内にある暑熱危険度の高い小空間群の抽出のための手法開発のため、空間周囲の表面温度を平均した周壁平均温度（MRT）を指標とすることを試みた。

熱中症予防のための対策行動の因果モデルの構築による行動変容支援のために必要な要件の抽出では、既存の環境配慮的行動と規定因との要因連関モデルを用いて熱中症対策行動因果モデルを構築し、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とともに、行動の実施へと促すためのアプローチ方法を提案した。2020年3月に実施したwebアンケートデータをもとに、年齢群に着目した大阪府大阪市、豊中市の居住者を対象として、因子分析、共分散構造分析を用いて熱中症に対する意識と行動の関

係を調べた。目標意図の形成（熱中症に対する態度）と環境配慮的行動意図（行動の実施）の2つの段階に分けてモデルを構築するとともに、行動の実施については、屋内外それぞれで実施率が高い行動と低い行動に分けてモデルを構築した。

行動変容支援のアルゴリズムとツールの構築では、熱中症警戒情報のためのWBGTの予測システム、因果構造を考慮した熱中症対策ガイドブックの開発ならびに活動量、温湿度等のモニタリングに基づく熱中症のリスクを評価するシステムの構築、歩行時の日射による暴露時間を軽減するための避暑ナビゲーションシステムの構築を行った。WBGT予測システムは、自己回帰モデルに予測とサポートベクター回帰を融合した2-fold法によって短期・中期の予測精度を向上させている。熱中症ガイドブックは、サブテーマ3での地域共創拠点活動とともに開発を進め、目標・学び・書き込み式のワークを含む「ステージ学習」と、21個の熱中症対策行動における行動実施状況を5段階で評価し、ステージを判断するための「ステージ・ステータスチェック」から構成するなどの工夫を行っている。避難ナビゲーションシステムは、指定した日時において道路上にどれだけ日陰ができるかを知る「(手法 A) 道路上の日陰量の算出」と、移動距離の短縮と日影になっている経路選択の2つの最適化問題からなる「(手法 B) 暑熱リスクを軽減する経路の算出」の2つの手法からなっている。

最後に、d4PDFを用いた将来気候における脆弱性評価として、将来の熱中症救急搬送数の推計を行った。推計には、熱中症救急搬送予測モデルと将来気候データd4PDF（5km-SICAT）を用い、堺市を対象とした。将来気候データはRCP8.5シナリオで2061～2090年頃を模した2℃上昇シナリオ（d2PDF）と、2081～2110年頃を模した4℃上昇シナリオ（d4PDF）のデータを用いた。文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）において作成された20kmの領域モデルから過去実験（1981～2010年頃）で12メンバー、2℃上昇実験で6SST×2メンバー、4℃上昇実験で6SST×2メンバーを抽出し、5kmにダウンスケーリングしたd2PDF、d4PDF（5km、SI-CAT）のデータを用いる。本データセットは1時間毎の気温と降水量が格納されている。

サブテーマ3：健康と環境の持続可能な地域共創拠点形成政策では、施策の社会実装のための地域共創拠点の仕組みづくりを行い、その地域共創拠点で行われる共創活動の方法論を開発するとともに、適応メニュー評価のための試みを実証的に検証した、

まず、施策の社会実装のための地域共創拠点の仕組みづくりでは、主たるフィールドとする北大阪健康医療都市（以下健都）での展開を目指して「関西大学リビングラボ」と名付けた地域共創拠点を、2019年7月に設立し、運営を始めた。活動では、有効な価値創造に繋がる産官学民の仕組みづくりを行い、このうち、特に参加者が課題を持ち寄り議論する「共創カフェ」を21回開催し、参画者の幅広いテーマから課題を抽出した上で、いくつかの事業化へのプロセスを進めた。

地域共創拠点における共創の方法論の開発では、環境と健康の好循環を実現するアクティビティデザインとしての地域共創拠点での共創のプロセスを方法論として確立することを目指した。具体的には、欧州での先進的な地域共創拠点ネットワークであるEuropean Network of Living Labs(以下EnoLL)のラーニングプログラム、国内外リビングラボネットワークからの知見の整理、効果的な共創のためのファシリテーターの要件とマニュアルの作成、課題化段階における共創プロセスモデルの開発、共創の観点からみたワークショップ評価モデルの開発、方法論の普及のための方向性の整理を行っている。

各情報源からの知見の整理により、方法論構築のためのキーワードを抽出した。これは、日本の地域共創拠点活動の道筋に重要とされるプロセスモデルに用いることとなる。また、ファシリテーターマニュアルの作成では、日本人の心理特性を踏まえた共創活動のための情報を盛り込んでおり、特にステークホルダーエンゲージメントにおける評価を、実際の地域共創拠点活動を通じて検証した。共創プロセスモデルの開発とワークショップ評価モデルの開発では、抽出されたキーワードを用いたプロセスの類型化と計量テキスト分析の手法を用いた5つの評価軸によるレーダーチャートを提案し、総合的な評価を可能にした。これらの方法論を踏まえ、環境と健康をテーマとした地域共創拠点のネットワーク化による普及の方向性を示した。

また、暑熱環境軽減のための適応インフラの提案では、暑熱環境軽減装置（SU）の開発のため、2021年1月18日～3月15日にかけてコンペを実施し、採用された提案装置を摂津市の平和公園内に実際に設置

した上で、公園内の緑陰と日向、SU施設内、SU膜影(3つ)における暑熱環境調査を8月28日～9月1日、9月5日～9月7日の9時～17時に実施した。また、SUの人体生理の変化に影響する暑熱緩和効果を調査するために、男子学生9名(22歳～24歳)と一般参加4名(30代, 50～70代)を対象とし、歩行運動や着座休憩を伴う実験を9月1日、9月5日～9月7日の10時～14時の間で実施した。

適応メニュー評価のための地域共創拠点での実践的検証では、建物内外における暑熱への適応メニューを考えるため、取り組みの代表例として「市民ができる夏の暑さ対策」をテーマとし、大阪府豊中市のNPO法人である「とよなか市民環境会議アジェンダ21」の協力を得て、共創のためのプロセスを導入したワークショップを実施した。ワークショップでは、進行の過程で内容に即

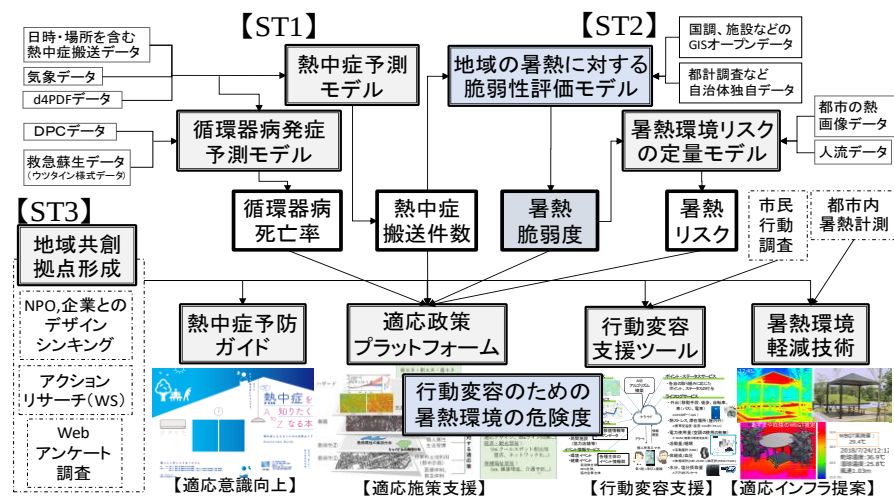


図-0.1 研究の構成とアウトプット

した分析情報を投入したり、円滑な価値創造プロセスのためのワークシートをもとに議論してもらったりするなどの方法論を適用した。議論内容をテキスト分析し、その意図がどの程度効果を発揮したかを検証した。また、webアンケートデータに基づく分析結果の情報提供を行い、取り組みの広域展開や時間継続のあり方などに繋げる工夫をした。また、暑熱環境の悪化への適用行動が及ぼす社会インパクトとして、熱中症リスクを踏まえた社会システムへの変更意向を確認した。

なお、図-0.1は、これまで研究開発内容として説明した研究の構成と、研究開発目的に示した4つのアウトプットとの関係を示したものである。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

3で示した全体目標に沿う形で成果の概要を説明する。

(1) 熱中症搬送データと気象データを基にした熱中症予測モデル

熱中症予測モデルは、既往研究等で検討されているがその精度は十分とはいえない。温暖化、気候変動による健康影響としての熱中症のリスクを推定する上でも、精度の高い予測モデルを構築することが望まれる。本研究では、これまでにない高い精度で推計できるモデルを構築した（Nature Communications. 2021 Julに掲載済）。

熱中症予測モデルの説明変数は、天気情報として、湿度、気温、降雨量、風速、気圧、熱射量、Heat Index、Wet bulb globe temperature (WBGT)を使用した。これらの天気情報は1市かつ12時間の粒度にそろえた。加えて、各市の人口、日付関連情報（月、祝日、雨期）も説明変数として使用した。予測モデル作成のために、機械学習手法の一つであるExtreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithmを使用した。データとしては近畿地方16市町村の2015、2016、2017年の6月から9月のデータを予測モデル作成のための訓練データセットとし（熱中症による救急搬送の全症例件数＝11349件）、2018年の6月から9月のデータを予測モデルの精度を検証するためのデータセットとした（熱中症による救急搬送の全症例件数＝7513件）。天気情報と暦情報と公開されている市町村の統計情報（人口、人口男女比、高齢化割合、緑地面積等）を特徴量とし、熱中症による救急搬送の全症例件数と中等症以上症例件数（入院診療、長期入院、死亡例）を教師データとし、最終的には複数の機械学習アルゴリズムで（一般化線形モデル、

一般化加法モデル、ランダムフォレスト、勾配ブースティング)、AI予測モデルを作成した。加えて、比較のために、古典的な統計モデルである一般化線形モデルとWBGと市町村人口のみで作成した古典予測モデルも作成した。作成した予測モデルと2018年の天気情報と暦情報と市町村の統計情報によって、2018年における12時間毎の市町村単位の熱中症発症数の予測値を求め、それに対応する実測数との差をみることで、作成した予測モデルの精度を評価した。

その結果を図-1.5に示す。図-1.5の上部は古典的な予測モデルの予測結果を示し、熱中症発症数ピーク時の予測精度が低い。一方、図-1.5の下部のAI予測モデルでは、ピーク時も含めて観測件数と予測件数が非常に類似していることが示され、予測精度が高いことが示されている。その精度は古典的な予測モデルでは、RMSEが3.73(件数)でMAPEが43.0%であるのに対し、本研究により作成した最良のAIモデルでは、RMSEが2.97(件数)でMAPEが14.8%と、非常に高精度の予測が実現できた。また、本AIモデルは、熱中症による救急搬送の全症例件数と中等症以上症例件数(入院診療、長期入院、死亡例)のそれぞれを、12時間毎に市町村単位で予測することが可能である特徴を有しており、世界初の研究成果である。

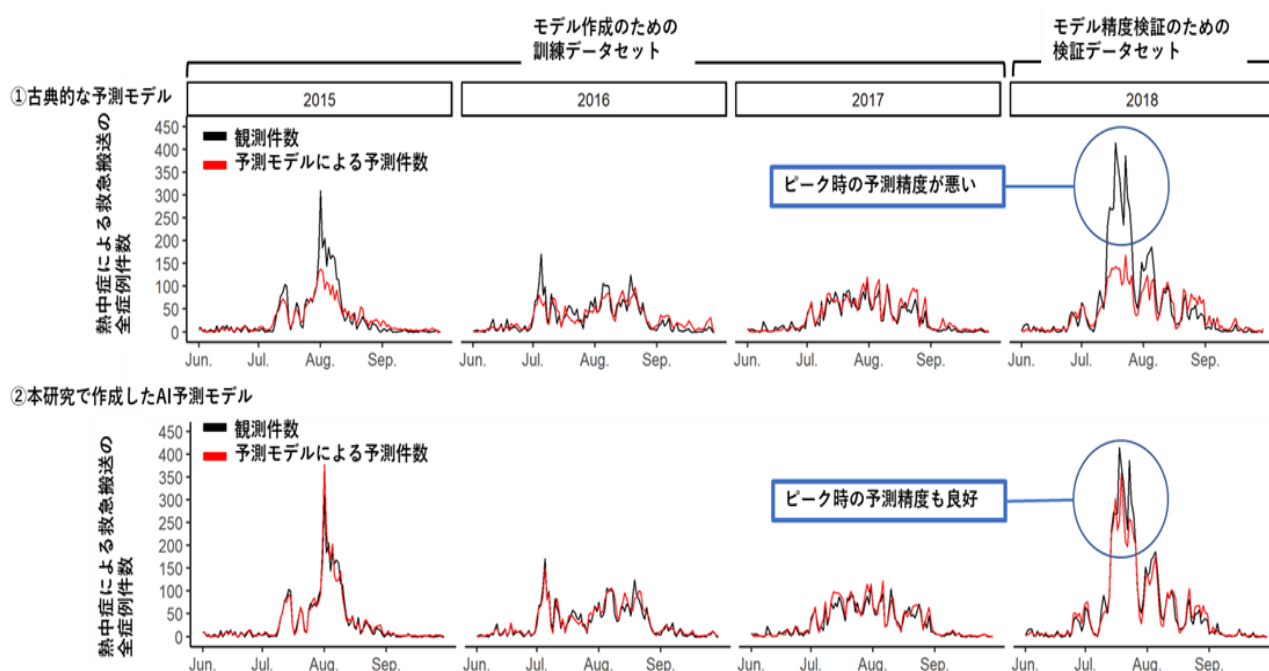


図-1.5 熱中症発症数実測数と予測数の比較 (上段: GLMでの予測値, 下段: XGBoostでの予測値)

(2) 循環器病発症予測モデルの構築

院外心停止は公衆衛生上の重要な問題であり、本邦において年間約110,000件発症している。本研究は、総務省消防庁によるウツタイン様式救急蘇生統計データとWeather Company社の高解像度気象データを用いた。2005年1月～2013年12月を訓練データセットとして、一日あたりの心停止発症数を予測する機械学習モデルを作成し、2014年1月～2015年12月のデータを用いて本予測モデルの精度を試験し、予報システムに広く使用されている平均絶対誤差(MAE)と平均絶対パーセント誤差(MAPE)を用いて評価した。結果を図1-9に示す。気象と暦データを組み合わせたモデルは訓練データセットにおいてMAE 1.314、MAPE 7.007%と他モデルと比較して最も精度が高く、試験データセットにおいてもMAE 1.547、MAPE 7.788%と非常に高い予測精度を示した。気象情報を院外心停止発症予測モデルに使用する利点として、気象予報は2週間先の未来まで予測可能なことが考えられる。将来的には、循環器病をもつ患者に対して、本研究で得られた院外心停止発症リスクの高い日の情報を事前に提供することで、実際に心停止発症を減らすことができるかを検証したいと考えている。ただし、本研究で使用した院外心停止データは都道府県レベルの粒度であり、さらに心停止発症場所(屋外、屋内)に関する情報がないため実用化のためには、さらなる研究が必要と考えている。

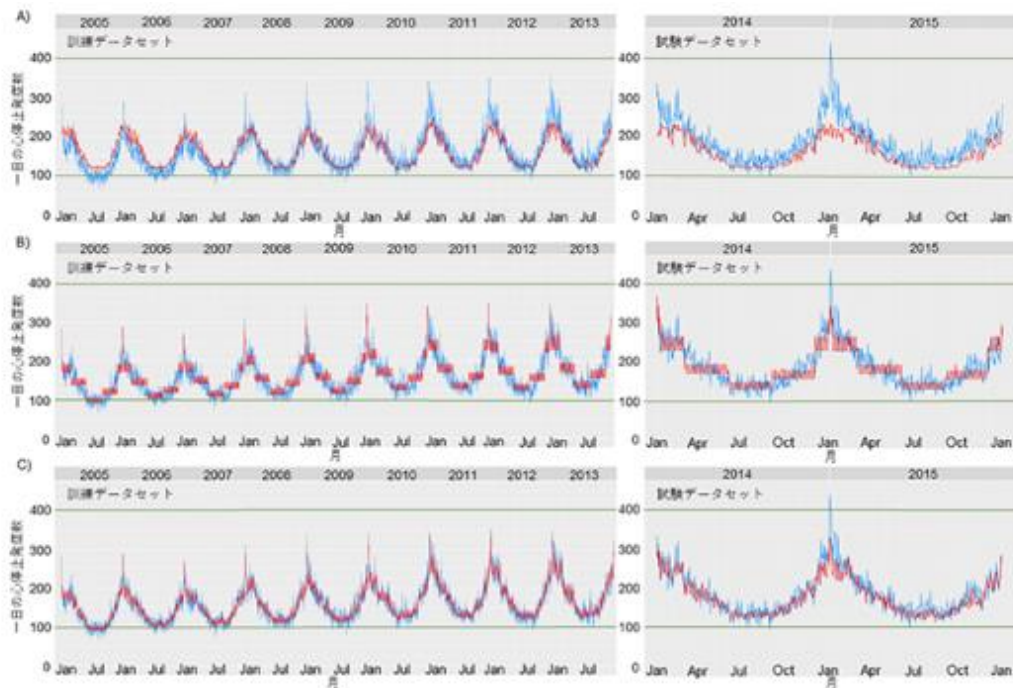


図-1.9 一日の院外心停止発症数の観測値と予測値の比較

(3) 暑熱に対する脆弱性指標の提案

熱中症に対する新たな脆弱性指標としてWBGTの累積時間を用いる方法を提案した。これにより、各地域の特性ならびに累積時間を考慮した暑熱環境の危険度レベルが表現され、かつ、これまでの知見に基づくWBGTに基づく行動指針と併せて情報を提供することで、市民は、暑熱環境の危険度を理解した上で、適応行動を選択することが可能になる。

(4) 地域的脆弱度の評価モデルの構築

熱中症には気象条件が大きく関わっている。しかし、地域特性の観点からの脆弱性の評価は行われていない。ここでは熱中症搬送者データと地域特性の関係から、市民の熱中症に対する予防行動を促すために、町字単位での脆弱度の可視化を試みた。熱中症は屋内、屋外共に発生しており、外出行動が影響する。そのため、地域特性を評価する指標として都市機能集積指数を提案した。徒歩圏内の人口、徒歩圏内の施設利用度、徒歩圏内の交差点数を、GISを用いて町字単位で示される標準化統合指数である。都市機能集積指数を用いて、クラスター分析により地域特性の区分を行い、暑熱障害に対する脆弱度の可視化を行った。堺市、神戸市、京都市を対象に分析を行った。一例として、堺市の結果を図-2.7に示す。本研究では暑熱障害に対する脆弱度を、都市機能集積指数によるクラスター分析結果をもとに、5分類とした。道路、住宅からの熱中症の搬送数は町・字単位で異なることから、道路、住宅での熱中症の脆弱度を別々で表現し、外出時ならびに在宅時での脆弱性を理解してもらう。そのため、ここでは、地域特性区分毎に、熱中症搬送数の実績値に基づき4区分の脆弱度レベルを設定した。

3都市機能集積指数を構成する3要素でクラスター分析を行い熱中症搬送数との関係性を検討した結果、傾向として、高密度住宅型に属する地域では、熱中症搬送数が多く、都心部型や郊外型に属する地域では、熱中症搬送数が少ないことが明らかとなった。本手法により町・字単位での熱中症の脆弱度を可視化できた。

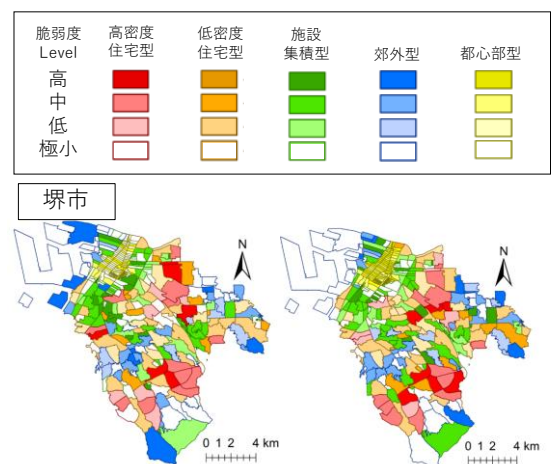


図-2.7 暑熱障害に対する脆弱度の可視化結果

(5) 熱環境リスクの定量モデルの構築

熱中症予防の指標としてWBGTが利用されているが、暑熱リスクとしては、外力の大きさと、その継続時間ならびに、そこに曝露される人の存在を考慮した評価が必要である。(2)において気象条件から熱中症搬送数の予測を行うことは可能となったが、都市域の中で、どの地点の暑熱環境が厳しい地点なのか、また、人流の多い地点の暑熱環境はどうなのかといった観点でのリスク評価が必要である。このリスク評価を行うことにより、都市内における避暑施設の構築や、優先すべき時点の抽出が可能となる。本研究では空間周囲の表面温度を平均した周壁平均温度(MRT)を指標とすることを試みた。MRT、つまり表面温度の高低により熱中症に関連する暑熱危険度を示そうというもので、都市建築技術者、植栽管理者などに対策提案を促すことが容易となることが期待できる。

評価対象として神戸市三ノ宮地区を対象とした。本研究では建築の冷暖房負荷指標として用いられる度日(ディグリーアワー)に倣い、まず危険レベル閾値を設定し、次に閾値を超過したMRT値の時間積算値(以下「MRT_{hour}」と表記する)を求めることで、空間の危険評価に用いた。エリア別に空間評価するため空間単位は25メートルメッシュとし、メッシュ内の時刻別MRT平均値により評価を行った。さらに、利用者・滞在者の多い地点の抽出と重ね合わせにより暑熱環境のリスク評価を行う。ここではそのエリアに歩行者延べ人数にMRT_{hour}値を乗じるなどして求めた数値を算出し、危険区域とした。ここではMRT_{hour}が高く、延べ歩行者数がおおよそエリア内上位3%である100人以上の地点を考察の対象とした。結果を図-2.11に示す。この結果、次のような地点が抽出された。



図-2.11 暑熱環境のリスク評価結果

- (1) JR三ノ宮駅西口・阪急神戸三宮駅東口南側の交通センタービル前交差点
- (2) 三宮駅北側交差点
- (3) 三宮駅前神戸阪急百貨店・国際会館西側歩道
- (4) 元町地区の大丸神戸店北西側歩道

天空が開けた公園内やグラウンド内では、非常に厳しい暑熱環境となっている場所も多かったが、日別・時刻別歩行者数は概ね少なく、早急に対策が急がれる地点はなかった。クールスポットとなっていた東遊園地や生田神社社寺林も日別・時刻別歩行者数は少なく、適応インフラなどを活用しつつ、クールスポットとしての有効な活用策が必要と考えられる。

(6) 行動変容支援のために必要な要件の抽出ならびに行動変容支援ツールの構築

行動変容を支援するためのWBGTの予測モデル、行動変容を促すための熱中対策行動の因果構造モデルの構築、特に高齢者を対象としたベーシックな紙媒体としての熱中症予防ガイドの作成、外出時の避暑ナビゲーションシステムを構築した。詳細はⅡ-2に示す。

(7) 大規模アンサンブル気候予測データ(d4PDF)を用いた将来気候における脆弱性評価

ST1において構築した熱中症搬送の予測モデルと、ST2においてd4PDFを分析した結果を用いて、気候変動の影響評価として、2℃上昇、4℃上昇シナリオ(気候条件)での中等症以上の熱中症発症数の予測を試みた。使用した外力データは、地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース「d4PDF」のアンサンブルデータ(12メンバー×30年間)である過去実験(以下、HPB)、2℃上昇実験(以下、HFB2K)、4℃上昇実験(以下、HFB4K)のデータ(5km、SI-CAT)を用いた。なお、対象地域は堺市とし、気候変動による影響を評価するため、人口や高齢化率などは現状のままとして評価を行った(図-2.21)。

図-2.21は各メンバーの30年間の平均値を棒グラフで示したものである。HPB、HFB2K、HFB4Kの12メンバーの平均値を算定した結果、それぞれ38.2人、64.9人、147.8人となった。2℃上昇で約1.7倍、4℃上昇で約3.9倍に増大することが示された。現在、温暖化による平均気温の上昇について、2℃未満、できれば1.5℃未満を目標に脱炭素化を促進している。今回の中等症以上の熱中症搬送数の推計結果から

見ても、4℃上昇による影響は極めて大きく、温暖化対策の着実な推進による2℃未満の目標達成と、それでも現状よりは増加する熱中症発症数に対しての適応策の検討が必要である。

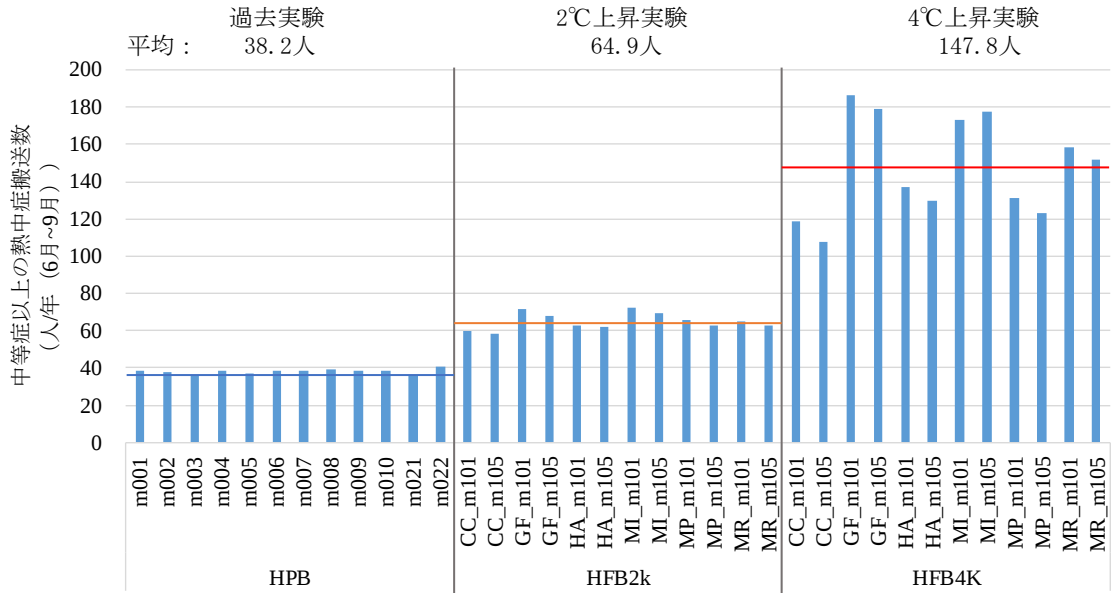


図-2.21 将来気候下における熱中症救急搬送数の推計結果

(8) 施策の社会実装のための地域共創拠点と仕組みづくり

「関西大学リビングラボ」において参加者が課題を持ち込み議論する「共創カフェ」を、2019年度に5回、2020年度に8回、2021年度に8回実施し、毎回、10～30人程度の参加を得た。各回は、大きく2つの流れを構成しており、ひとつは価値創造の手法やヒントについてであり、もうひとつは具体的な課題や具体的なプロジェクトについてである。3年間の期間の中で、節目となる時期に、産官学民の代表者による議論、参加者からの集中的な問題提起、共創への意識付けのための情報提供の会を設定するとともに、知見が蓄積したところで、環境と健康の好循環に関するテーマや社会インパクトに繋がるテーマを設定して、より価値の創造に資する内容としていった。この結果、次のような成果を得ている。

【地域共創拠点の課題設定段階「共創カフェ」機能の実践モデルの提供】

- ① テーマ（健康と環境の好循環）の社会環境に焦点を当てる議論を可能とした
- ② 参加者にとってのステークホルダーとしての意識の醸成を促進した
- ③ 実現性への懸念情報を提供した
- ④ イノベーションが目標であることを明確とした。より具体的には、社会的処方、鉄道沿線価値、ヘルスツーリズムなどの価値創造の多様な手法を紹介し、各ステークホルダー自身の関心を得るとともに、取り組みへのヒントとすることができた。
- ⑤ 摂津市におけるNPO活動、学生による産福学連携、大阪・関西万博などの具体的なプロジェクトを紹介し、参加者の関心に繋げることができた。
- ⑥ 自分の抱えている課題をリビングラボで解決するためのプロジェクト化のため、新プロジェクトへの誘いを行った。

【参加者自身の確認の重要性の確認（事後アンケート）】

- ① 「得たものは何ですか」、「共創を図りたいテーマ、課題は何ですか」という問いを投げかけ、知識・情報の確認、自分のテーマとの関連づけ、価値創造につなげる思考を促した。実際に、2年目以降のテーマは、参加者からの要望を反映したものが多い。
- ② ステークホルダー自身からの「共創カフェ」の改善提案が見られた。プロセスそのものへの主体的関与があり、意見交換の会や産官学民合同ワークショップ等の方法は、これらの提案によって実現したものである。

(9) 地域共創拠点における共創の方法論の開発

研究方法で示した地域共創拠点に関わる情報を収集した結果、地域共創拠点は、国際的に適用拡大の局面にあるもののその手法については定まったものがあるわけではないこと、方法論を開発する上で重要なキーワードは、そのプロセスに沿ってステークホルダーエンゲージメント、共創、市民参加、産官学民共創プロジェクト、価値創出、ビジネスモデルなどであること、日本における地域共創拠点はプロセスに依存する傾向があって目標への明確な道筋を示すことが重要であることなどを確認した。また、共創ツール開発の試行的な取組を実施し、参加者の意見分布から、共創につながるcreative commons としての未来像の共有にはマイナス面の意見をプラスに向ける共有化ツールが必要であるとの示唆を得た。また、重要な役割を果たすファシリテーターのためのマニュアルを作成し、新しい公園のあり方に取り組むワークショップに適用した。図-3.4に示すように、ミーティングの流れ分析から、ファシリテーターの誘導により、彼を介さない主体間の発言のやりとりが増加し、効果的な議論ができていたことが確認できた。さらに、共創プロセスモデルの開発では、「共創カフェ」の議事録の個々の発言内容を、先述の整理したキーワードに基づきラベリングし、プロセスを追いかけることで、図-3.6に示すモデルを得た。図中の青文字は、議論が進む上での大きな流れを示しており、黒文字は、さらに詳細に議論の流れを示したものである。赤文字はラベリングワードを示しており、複数回該当する場合は数字を併記する。図中、議論の流れは、価値化の方向性模索型、視点変更型、枠組み拡張型の3パターンに類型化され、議論進行に合わせて、各プロセスに応じて適切な運営を行い、効果的に共創価値を見出すため、ファシリテーターはもちろんのこと、参加者も共有することを想定している。

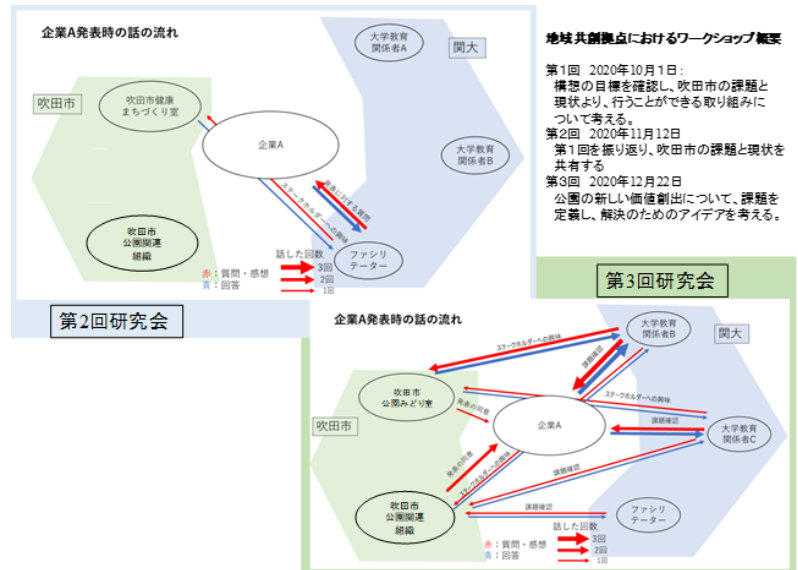


図-3.4 主体間の議論の流れ分析図

から、ファシリテーターの誘導により、彼を介さない主体間の発言のやりとりが増加し、効果的な議論ができていたことが確認できた。さらに、共創プロセスモデルの開発では、「共創カフェ」の議事録の個々の発言内容を、先述の整理したキーワードに基づきラベリングし、プロセスを追いかけることで、図-3.6に示すモデルを得た。図中の青文字は、議論が進む上での大きな流れを示しており、黒文字は、さらに詳細に議論の流れを示したものである。赤文字はラベリングワードを示しており、複数回該当する場合は数字を併記する。図中、議論の流れは、価値化の方向性模索型、視点変更型、枠組み拡張型の3パターンに類型化され、議論進行に合わせて、各プロセスに応じて適切な運営を行い、効果的に共創価値を見出すため、ファシリテーターはもちろんのこと、参加者も共有することを想定している。

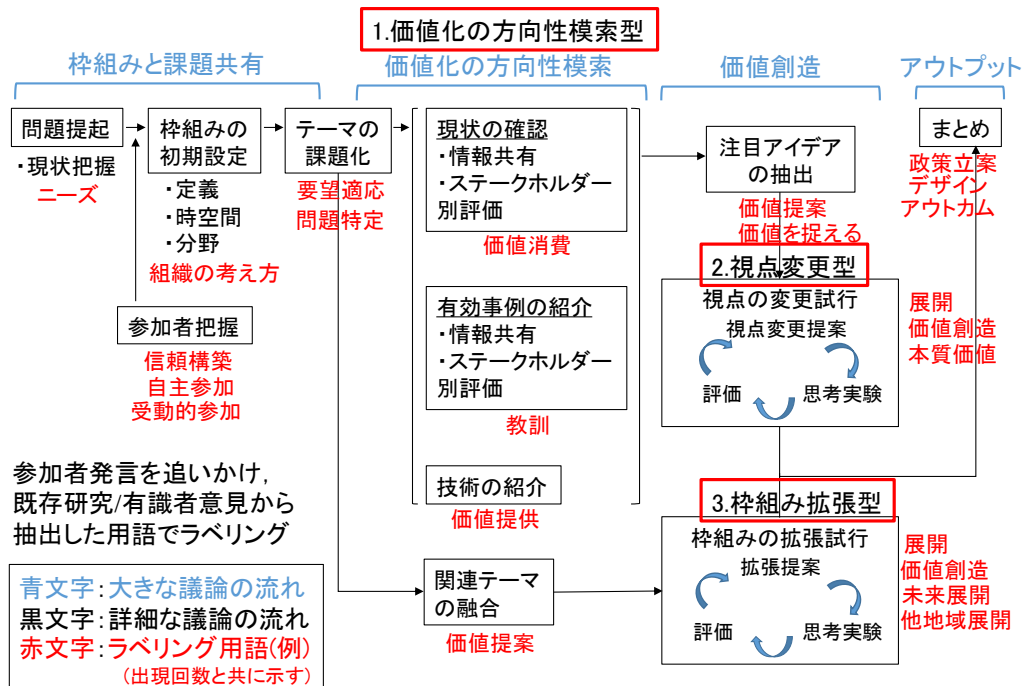


図-3.6 共創プロセスモデル

また、ワークショップを共創の観点から多様に評価できる評価モデルを開発した。議事録をテキストデータとして計量的に分析するため、社会調査の学術研究で広く使われているKH Coder(制作者:立命館大学,樋口耕一准教授)をツールとして用いている。評価項目は、共創カフェの主旨から、(i)共創目標への指向性、(ii)参加者の理解度、(iii)課題解決性、(iv)新たな価値創造性、(v)プロジェクト可能性の5項目とし、4段階の評価基準を設定し、総合的に評価可能なようにレーダーチャートを作成した。それぞれの参加者の特性やワークショップの目標に併せ、特徴を捉えながら共創を進めていくにあたって有効なツールであることが示された。

これらの検討を踏まえ、方法論普及のための方向性を整理した。ヨーロッパを中心とした海外ですでに440を超える地域共創拠点があり、アジアにおいても韓国を中心に実績を挙げている一方で、日本では、地域住民主体の政策立案を指向する地域共創拠点は、そのポテンシャルに比して少ない。市民主体の環境政策においては、社会システムの変更改も巻き込むような新しい政策が求められることから、環境政策の共通課題をきっかけとした地域共創拠点のネットワーク化と新規展開プログラムを作成することで、地域共創拠点の普及が見込めるのではないかと考えている。

(10) 適応メニュー評価のための地域共創拠点での実践的検証

豊中市民を対象に「市民ができる夏の暑さ対策」について地域共創拠点活動を実践し、2019年度に、6/11、7/29、8/27の3回ワークショップを行った。

具体的には、なりたい未来と自分でできること/行うべきことという枠組みで行い、「環境にやさしい行動と熱中症対策の両立」、「快適になった家から外出しない傾向への対応」、「暑い屋外環境に外出するインセンティブ」などについて議論をした。これを受け、2020年度には、10/4・6(参加者の都合に応じていずれかの日)と3/10の2回ワークショップを実施した。「暑熱環境の悪化と熱中症対策の両立」にテーマを絞り、サブテーマ1で示された熱中症予測の情報を提供し、サブテーマ2で作成したガイドブック効果検証と並行して、その効果を調べた。図-3.8は、その進め方である。意識の高い参加者が多いことから、多くの発言が期待できる一方、議論の方向性がぶれないようにすることが重要と考え、未来設定を強調し共有する進め方としている。なお、本地域共創拠点のワークショップは、ファシリテーターの仲介による議論よりも参加主体者間の議論が進み、プロセスモデルとしては視点変更型に相当し、議論に応じて適切な分析情報を提供することが重要なタイプである。このため、既存研究をもとに、オープンなワークショップであるSalonのほかに、高い分析機能を持つStudio機能を付随させた型式とした。結果、暑い夏の外出条件

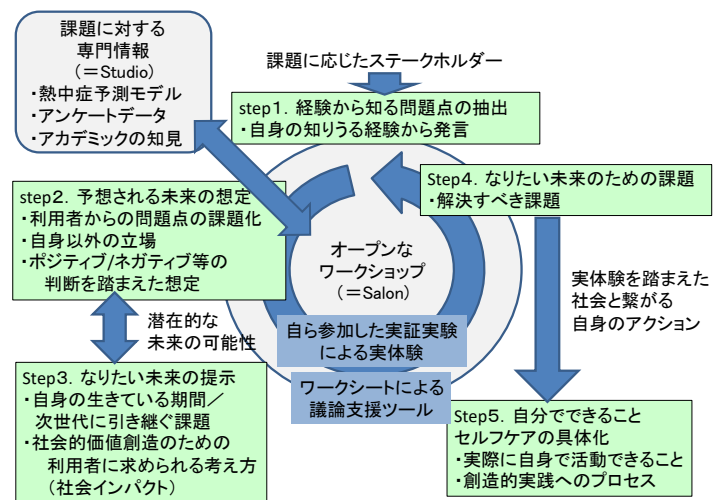


図-3.8 地域共創拠点の進め方

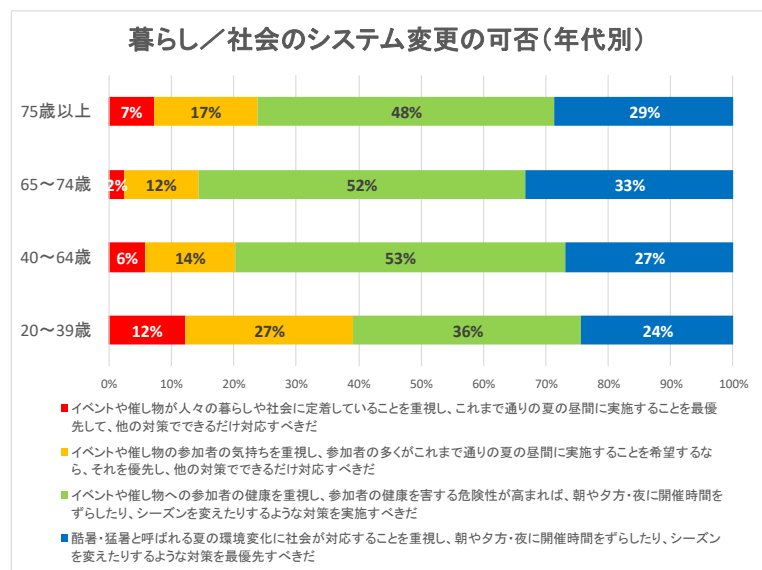


図-3.16 社会インパクトとしてのシステム変更意向

の抽出（→コモン装置実証(ST2)へ）や環境と健康間のとるべきバランス、社会インパクトとしての社会システムの変更意向への影響などを知ることができた。

また、図-3.16は、豊中市民に尋ねた社会インパクトとしてのシステム変更意向である。夏の暑さに対して、健康被害を理由とした暮らしや社会システムの変更に、年齢階層に違いはあるものの、60～85%が賛同している。これらに対し、ワークショップでは、地元少年野球の試合の13時～15時の暑い時期の開催を回避し午前や夕方に実施するケースや高齢者が担い手の中心となる地蔵盆での模擬店中止、市民活動での草抜きの時間帯の相当へのシフトなどが示され、特に身近な催しものについては、それまで定例となっていたシステムの変更に賛同が得られ、好意的に協力してもらえ状況が明らかとなった。

次に、暑熱環境軽減技術の効果検証について、今回提案する技術は、御堂筋や銀座のホコ天、札幌大通りなどのストリート、あるいは公園などの都市のオープンスペースに適用・普及展開や2025年の大阪万博なども見越した想定を行い、①都市の納涼・避暑空間としての役割、②ひとが集まる集いの場・憩いの場として賑わい空間の役割、③本研究で開発した熱中症予防ガイドや環境省が示す熱中症予防サイトなどの情報発信の場としての役割、などの相乗的な機能を想定し立案した。

今回は、暑熱環境軽減施設（図-3.1、以下、SUと表記）の暑熱環境の軽減効果を把握するために、温熱環境測定実験と被験者実験を行った。ここでは結果の一例として被験者実験より得られたストレス低減率および放熱量と快適性の関係に関する結果を図-

3.18、図-3.19に示す。

被験者ごとに心拍周期RRIを計測し、直前の歩行時のRRIの平均値に対する屋外着座時のRRIの平均値を求め、RRI比率を算出した。このRRI比率をストレス度合の指標とした。緑陰とSUで有意な差があったのは被験者B、D、F、H、Kであり、SU<緑陰となったのは3名、緑陰<SUとなったのは2名、差がなく同等となったのは6名であった。よって、緑陰とSUの着座におけるストレス度合は、個人差が見られるがほぼ同等程度といえる。

次に放熱量と快適性の関係より、緑陰での着座休憩では放熱量が正となり、SUでの着座ではほとんどの被験者において負の値(受熱)という結果となった。ただし、図-3.19よりこの放熱量と温冷感における快適性の関係は、放熱量が0に近いほどより快適と回答する傾向がみられた。緑陰とSUとの回答平均を算出すると、緑陰は「やや快適」であり、SUは「快適でも不快でもない」と「やや快適」の中間の回答結果であった。よって、緑陰の放熱量の平均は約25℃、SUの放熱量の平均は約-26℃と差異がみられるが、温冷感の快適性としては、極端に大きな差はみられなかった。



図-3.1 開発した暑熱環境軽減装置



図-3.18 ストレス低減率(屋外着座時/歩行時)

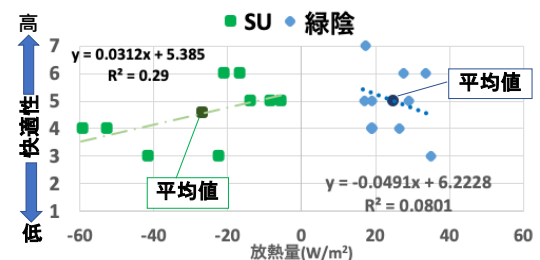


図-3.19 放熱量と快適性申告結果の関係

(11) まとめ

3つのサブグループが互いに連携しあいながら、次のような結論を得た。

- ・独自に入手した熱中症に関わる救急搬送データを用い、詳細な位置情報と気象情報を個人属性別に関連づけることによって、精度の高い熱中症救急搬送予測モデルを開発した。このモデルは、特にピーク時の精度が改善しており、市民へのアラートに有効な情報を提供する。
- ・熱中症の予測結果を踏まえ、熱中症に対する脆弱性について、都市機能集積指数という新たな指標を提案して町・字単位で評価できるモデルを構築し、リスク評価について、新たなアラート指標としてのWBGTの累積時間を用いる方法の提案し、MRTの累積時間と人流データを用いた屋外空間のメッシュ単位でのリスク評価モデルを構築した。また、熱中症に対する適応策として、熱中症予防ガイドブッ

クの開発、行動変容のための因果構造モデルの開発、ならびに避暑ナビゲーションシステムを構築した。さらに将来気候下での熱中症救急搬送数を推計し、対象とした堺市では、中等症以上の熱中症発生数が、平均気温が2℃上昇するシナリオでは1.7倍、4℃上昇するシナリオでは3.9倍に増大することを示した。

- ・熱中症予測に基づく市民へのさまざまな情報提供により行動変容促進をより効果的にするため、産官学民で共創プロセスを実現する地域共創拠点を設立・実践した。屋外空間での適応インフラとして、木材と膜を利用した避暑施設を提案し、暑熱環境ならびに人体生理反応より暑熱の軽減効果を明らかにした。共創を促すファシリテーターマニュアル、プロセスモデル、評価モデルを開発し、実際に適用することで、適応策が効果的に機能することを示し、また、社会へのインパクトも大きいことを示した。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

本研究で、構築した熱中症搬送データと気象データを基にした熱中症予測モデルは、高い精度で熱中症発症数を予測することが可能である。搬送データを提供いただいた各市にNature Communications (2021 Jul) に掲載された内容のプレスリリースの説明をさせていただいた結果、京都市地球温暖化対策室(担当：藤田氏)からは、「熱中症につきましては、どれだけの方が罹患するか、日々、ふたを開けてみないと分からないという状況であったかと思えますので、こういった予測ができると状況は大きく変わるものと思います。」(2021年8月5日)という連絡をいただいた。本モデルは、環境省が公表している熱中症予防情報のWBGTを用いることで直近の熱中症に対する人員配置や救急医療体制の構築にも利用される他、気候変動の影響評価として中等症以上の入院加療を必要とする患者が1.7倍(2度シナリオ)、3.9倍(4度シナリオ)増加するなど、定量的な知見も提供可能であり、気候変動に対する緩和策、適応策の推進に対してドライブを与えるものと考えられる。

また、都市域の暑熱環境リスク評価モデルは、外力(MRT)とその継続時間、人流を考慮したモデルとなっており、25mメッシュの解像度で、都市の暑熱環境のリスクを評価可能なモデルである。本モデルを適用することにより、都市域における熱中症リスクの高い箇所、祇園祭りや大規模花火大会などの人流が増加するイベント時の熱中症リスクの高い箇所を抽出可能である。また、本システムに適応策として避暑空間等を設置した場合の軽減効果の推定も可能である。その結果、リスクの高い箇所とそれに対する優先順位付け、クールスポットの形成や各種対策の適用に関する検討の際に利用可能であり、都市における適応策の策定において有効である。

気候変動への適応策に係る研究・技術開発に対して、関連する企業の市民共創型イノベーションや自治体政策の地域特性に応じて、ヘルスデータによるエビデンスと繋がりを持った形で適応策の導入効果を示しつつ進めるスキームと具体手法を提案することで、気候変動適応策の具体化に寄与し得る。

地域共創拠点の取組みは、利用者との共創の取組みによる将来技術への高感度な開発プロセスへの転換を提案するものであり、これまでの延長線上では解決しない気候変動への対応技術にふさわしい開発の芽を育てる。また、同時に、環境と健康の具体的な好循環メカニズムを提案することで、環境産業がヘルスケア産業と融合することによる新市場への展開可能性を高める機会となる。

5-3. 研究目標の達成状況

本研究では、暑熱環境の変化が脆弱な高齢化社会の熱中症発症に与える影響について、独自に収集した救急搬送データを用いた各予測モデルや評価モデルを構築し、これまでにない詳細地域区分でのエビ

デンスとして分析・評価した。それらに基づき、複数の実証実験により、暑熱環境の悪化に適応する行動変容促進と熱中症リスク軽減を同時に実現する行動変容支援と新たな社会基盤を提案し、妥当性を検証した。また、オープンイノベーション方式による持続可能な地域共創拠点を実際に設立・運営し、その実践に基づいて、健康と環境の好循環のための政策に向けたアウトプットを示した。

各サブテーマ別でみると、サブテーマ1では、熱中症の時間ごとの発症予測モデルおよび循環器発症への気象条件への予測リスクについて、ピーク時や詳細な地域および市民属性別での精度の高いモデルを構築できた。

サブテーマ2では、脆弱性・熱ストレス適応策の時空間評価を可能にした。より具体的には、熱中症搬送データ等と相関する地域条件より熱中症の脆弱度の可視化方法を提案、有用性を示した。また、影響時間を考慮した熱中症の危険度評価指標（DT値）を定義し、より多くの人に適切な注意喚起がなされることを確認した。そして、その概念を空間に落とし込み、暑熱環境リスクの評価モデルを構築した。また、熱中症予防のための熱中症対策行動因果モデルを構築し、行動変容支援ツールとして機械学習によるWBGTの予測システム、多理論統合モデルに基づく市民向けの熱中症対策ガイドブック、熱中症リスクを軽減するための避暑ナビゲーションシステムを開発した。さらに、ST1で構築した高精度の熱中症予測モデルと、ST2で分析した大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いて、将来気候における暑熱に対する脆弱性評価を実施できた。

サブテーマ3では、健康と環境の好循環の技術・政策を生み出すための地域共創拠点を「関大リビングラボ」として実際に設立し、取組みのきっかけとなる共創カフェや市民を主体とした環境政策について運営した。その運営に際し、ENoLLや国内先進事例・文献をもとに、効果的に価値創造を促すプロセスモデルを構築し、併せて価値の向上に繋がる手法や評価を行うモデルを開発し、妥当性を検証する中で、地域共創拠点の有効性を示した。また、具体的な実践活動をもとに、熱中症発生と関連づけられた情報によってセルフケアの予防的行動変容への意向を確認し、外出をするための条件として挙げられた公園での日影をコモンの備えとして進めるようサブテーマ2の取組みに繋ぎ、屋外空間の適応インフラの提案と暑熱環境ならびに人体生理反応より暑熱の軽減効果を明らかにした。また、身近な社会システムが健康をトリガーとして変更されるという社会インパクトに繋がる要因も示すことができた。

これらの取組みによって、ST1、ST2の成果をもとに、介入政策を考える上で重要となる熱中症予防ガイド、個人向けの行動変容支援ツール、政策・意思決定者向けの適応政策プラットフォーム、暑熱環境軽減技術への示唆を得た。これらのことから、研究目標を達成できたと考えている。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

13件

<主な査読付き論文>

- 1) Soshiro Ogata, Misa Takegami, Taira Ozaki, Takahiro Nakashima, Daisuke Onozuka, Shunsuke Murata, Yuriko Nakaoku, Koyu Suzuki, Akihito Hagihara, Teruo Noguchi, Koji Iihara, Keiichi Kitazume, Tohru Morioka, Shin Yamazaki, Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Kunihiro Nishimura: Nature Communications, 11page (2021)
Heatstroke predictions by machine learning, weather information, and an all-population registry for 12-hour heatstroke alerts
- 2) Takahiro Nakashima, Soshiro Ogata, Teruo Noguchi, Yoshio Tahara, Daisuke Onozuka, Satoshi Kato, Yoshiki Yamagata, Sunao Kojima, Taku Iwami, Tetsuya Sakamoto, Ken Nagao, Hiroshi Nonogi, Satoshi Yasuda, Koji Iihara, Robert W Neumar, and Kunihiro

Nishimura

A machine learning model for predicting out-of-hospital cardiac arrests using meteorological and chronological data Heart. 2021 May 17;107(13):1084-1091

- 3) Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Daisuke Murakami: Proceedings of the International Cartographic Association, 2, 152, the 29th International Cartographic Conference, 5page, (2019)
Individual level heat risk evaluation using GPS towards smart navigation system
- 4) 尾崎 平・北詰 恵一・西村 邦宏・盛岡 通：土木学会論文集G（環境），Vol.76, No.5, I_451-I_459（2020）
熱中症の救急搬送データに基づく危険度評価手法の検討
- 5) 尾崎 平・沓澤 篤樹・郭 敏娜・北詰 恵一・西村 邦宏・盛岡 通：土木学会論文集G（環境），Vol.76, No.6, II_209-II_218（2020）
熱中症搬送者データと都市機能集積指数に基づく都市域の暑熱障害に対する脆弱性評価 ―堺市・神戸市・京都市を対象として―
- 6) Daisuke MURAKAMI, Gareth W. PETERS, Tomoko MATSUI, (Senior Member, IEEE), and Yoshiki YAMAGATA: IEEE access, Vol.9, 79869-79888（2021）
Spatio-Temporal Analysis of Urban Heatwaves Using Tukey g-and-h Random Field Models
- 7) 湊 大雅・宮崎 ひろ志・尾崎 平・北詰 恵一：公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集, Vol.56, No.3, 1488-1492（2021）
神戸市熱中症搬送者データに基づく市街地における熱中症発症危険地区の抽出 ―時間積算平均放射温度による市街地熱中症発症危険レベル推定手法の提案―
- 8) 井ノ口 弘昭, 秋山 孝正：土木学会論文集G（環境），Vol.77, No.6, II_131-II_137（2021）
交通行動に着目した熱中症リスク評価に関する研究
- 9) Keiichi KITAZUME, Mari TAKAKU, Mio NISHIYAMA and Yusuke OKAMURA: European Network of Living Labs, Proceedings of the Digital Living Lab Days Conference, 278-284（2020）
Methodology for Establishing a Living Lab from Experiences in Japan
- 10) 郭 敏娜, 北詰 恵一, 沓澤 篤樹, 尾崎 平, 西村 邦宏, 盛岡 通：環境共生, Vol.37, No.1, 77-82（2021）
小地域の地理的条件の違いによる熱中症発症件数との関係分析

6－2．知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6－3．その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	1 件
その他誌上発表（査読なし）	6 件
口頭発表（学会等）	10 件
「国民との科学・技術対話」の実施	20 件
マスコミ等への公表・報道等	1 件
本研究に関連する受賞	1 件

7. 国際共同研究等の状況

国際会議IEEE Geoscience and Remote Sensing (IGARSS) において、特別セッションBig Data and Machine Learning for Improving Urban Climate Resiliencyを研究分担者の山形が主催し、その中で本研究課題の成果を発表した。また、会議後には、山形が代表を務めるGlobal Carbon Project と連携してJunsuk Kang准教授 (Seoul National University、韓国)ら国内外の研究者を招いて国際ワークショップ (2019年8月2日 ; TKPガーデンシティ横浜ランドマークタワー会議室) を主催した。また、都市気候 (Urban Climate) に関連した国際プロジェクトWorld Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT) とも連携して、Chao Ren 准教授 (The University of Hong Kong、香港) を招聘し、国際ワークショップ (2019年12月17日～19日 ; 環境研究所) を実施した。2020年度においてもChao Ren准教授らを招いて同様のワークショップを夏季に実施予定であったが、新型コロナウイルスの影響により中止となった。上記のワークショップを通じて国際的な都市関連プロジェクトとの連携を深め、また本研究の国際展開を検討した。

8. 研究者略歴

研究代表者：北詰 恵一

東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻修了、博士 (工学)、
東北大学 東北アジア研究センター、 助手
関西大学工学部、専任講師、准教授
現在、関西大学 環境都市工学部 教授

研究分担者：

1) 西村 邦宏

京都大学医学部卒業、博士 (医学)
ハーバード大学公衆衛生大学院 修了
神戸大学大学院医学研究科、准教授
現在、国立循環器病研究センター、予防医学・疫学情報部 部長

2) 尾崎 平

関西大学大学院工学研究科土木工学専攻修了、博士 (工学)
建設コンサルタント勤務、国土政策総合研究所、交流研究員
関西大学工学部、助手、准教授
現在、関西大学環境都市工学部、教授

Ⅱ．成果の詳細

Ⅱ－１ 高齢化社会における暑熱環境の変化が循環器病に与える影響評価

国立循環器病研究センター

研究所 予防医学・疫学情報部 部長

西村 邦宏

病院 病院長

飯原 弘二

研究所 予防医学疫学情報部 EBM・リスク情報解析室 室長

竹上 未紗

研究所 オープンイノベーションセンターレジストリ推進室 室長

中尾 葉子（令和元年度まで）

研究所予防医学・疫学情報部 上級研究員

尾形 宗士郎（令和3年度から）

国立環境研究所

環境リスク・健康領域 エコチル調査コアセンター センター長 山崎 新

京都府立医科大学

大学院医学研究科医学・医療情報管理学(疾患別レジストリ担当) 講座 特任講師

小野塚 大介

〔要旨〕

社会的変化としての高齢化による健康に配慮すべき人の増加や、地球的变化としての気候変動による暑熱環境の悪化に伴い、熱中症搬送者数が増加している。本研究では、気候変動による暑熱環境に着目し、人々の睡眠、室内・外出行動とそれを支える地域別の社会基盤・環境の違いが暑熱環境と発症・重篤化の関係性に影響を与えている点を明らかにすることである。そこで、気候変動による暑熱環境変化の影響分析・評価を行うにあたり、医学的、公衆衛生学的知見を導入する。中核のモデルは救急医療で用いられるウツタイン様式で属性相関を見る方式を改良し、適応行動のパラメタの組み込みの可能性も検討している。特に、2019年度は、熱中症予測モデルの構築のために、既に救急医療チームで共有している救急調査結果と、消防庁（府県単位所管で集約）が所有している熱中症に関するデータを突合させ、熱中症発生の時空間分布と、個人属性別（性別、年齢階層）の重篤度合を関連づけ、さらに当時の気象情報等の要因を考慮した分析により、熱中症発生予測モデルの構築を行った。

1. 研究開発目的

地球温暖化にともない猛暑日が増加し、熱中症発症リスクが増加すると想定される。近年、世界各地において熱波が発生し多数の熱中症が報告されている。また、気温と湿度と日射量を複合したWBGT（湿球黒球温度）は、気候条件から熱中症リスクを示す指標として広く使用されている。しかし、WBGTで熱中症リスクを評価すると、日本の7月―8月の多くの日がハイリスクとなり、熱中症リスクの詳細な評価が困難であった。そこで、本研究は市町村の消防署より提供を受けた匿名化済みの熱中症搬送情報、The Weather Company社による高解像度気象データ、AI技術の機械学習を用いて、12時間毎の市町村単位の熱中症発症者数を高精度に予測するAIモデルを作成する。

2. 研究目標

暑熱環境変化から熱中症や循環器病の発症率を推定するモデルを将来気候変動シナリオと対応づけることを踏まえて構築し、具体的なケース適用の要素となる地域条件や生活行動パターンを反映させ、健康影響評価を行うものとする。熱中症予測モデルの構築のために、既に救急医療チーム共有の救急調査結果と、消防庁所有の熱中症に関するデータを突合させ、熱中症発生の時空間分布と個人属性別（性別、年齢階層）の重篤度合を関連づけ、当時の気象情報等の要因を考慮した分析により、時空間別市民属性別要因の熱中症発生予測モデルの構築を行う。これらは、最終目標の政策効果評価のためのプロトタイプとなることが期待される。

3. 研究開発内容

社会的変化としての高齢化による健康に配慮すべき人の増加や、地球的变化としての気候変動による

暑熱環境の悪化に伴い、熱中症搬送者数が増加している。本研究では、気候変動による暑熱環境に着目し、人々の睡眠、室内・外出行動とそれを支える地域別の社会基盤・環境の違いが暑熱環境と発症・重篤化の関係性に影響を与えている点を明らかにすることである。

そこで、気候変動による暑熱環境変化の影響分析・評価を行うにあたり、医学的、公衆衛生学的知見を導入する。中核のモデルは救急医療で用いられるウツタイン様式で属性相関を見る方式を改良し、適応行動のパラメタの組み込みの可能性も検討している。特に、2019年度は、熱中症予測モデルの構築のために、既に救急医療チームで共有している救急調査結果と、消防庁（府県単位所管で集約）が所有している熱中症に関するデータを突合させ、熱中症発生の時空間分布と、個人属性別（性別、年齢階層）の重篤度合を関連づけ、さらに当時の気象情報等の要因を考慮した分析により、熱中症発生予測モデルの構築を行った。以上のデータから熱中症発症数を高精度に予測する AI モデルを世界で初めて作成し、Nature Communications 誌に 2021 年 7 月 28 日付で掲載された（引用文献 1）。

(1) 救急搬送情報を用いた熱中症の記述疫学研究

2019年の熱中症による救急搬送件数は7万件を超え、死亡者数は635人に達しており、熱中症の多くは搬送による救命が可能であり、救急搬送体制の整備は公衆衛生上の重要な課題である。これまでの熱中症に関する記述統計は、市町村単位のため気象条件の情報が粗く、詳細な検討がなされていない。そこで、本研究では、熱中症の発症状況を記述すること、気象条件と熱中症の関連を探索的に検討することを目的に、記述疫学的な解析を行った。関西17市から提供を受けた救急搬送情報を用いて熱中症の発症を定義した。救急搬送情報によりえられた発症日時、位置情報と気象情報のリンケージを行った。気象データは、気象庁のアメダス観測点データおよびウエザーカンパニー社による観測データを用いた。

(2) 天気情報を活用する熱中症救急搬送予測モデルの開発研究

本研究は主として2つのデータセットを使用した。1つ目は関西16市から提供を受けた救急搬送された熱中症患者のデータベースである。2つ目はWeather Company社が提供する天気情報データベースである。これらのデータベースにおいて、2015年から2018年の6月から9月のデータを使用する。2015年から2017年のデータを予測モデル作成のための開発用データセットとし、2018年のデータを予測モデルが新しいデータに適用可能かを検証する検証用データセットとする。本研究では予測変数として下記情報を使用した。天気情報として、湿度、気温、降雨量、風速、気圧、熱射量、Heat Index、Wet bulb globe temperature (WBGT)を使用した。これらの天気情報は1市かつ12時間の粒度にそろえた。加えて、各市の人口、日付関連情報（月、祝日、雨期）も予測変数として使用する。予測モデル作成のために、機械学習手法の一つであるExtreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithmを使用した。まず、開発用データセットにて3-foldのcross validationを実施し予測モデル作成をした。そして、作成した予測モデルを検証用データセットに適用する。予測精度を定量化するために、mean absolute error (MAE)、correlation coefficient、mean absolute percentage error (MAPE) を活用する。加えて、実測値と予測値を併記するプロット図にて視覚的にも検証した。

データとしては近畿地方16市町村の2015、2016、2017年の6月から9月のデータを予測モデル作成のための訓練データセットとし（熱中症による救急搬送の全症例件数＝11349件）、2018年の6月から9月のデータを予測モデルの精度を検証するためのデータセットとした（熱中症による救急搬送の全症例件数＝7513件）。天気情報と暦情報と公開されている市町村の統計情報（人口、人口男女比、高齢化割合、緑地面積等）を特徴量とし、熱中症による救急搬送の全症例件数と中等症以上症例件数（入院診療、長期入院、死亡例）を教師データとし、最終的には複数の機械学習アルゴリズムで（一般化線形モデル、一般化加法モデル、ランダムフォレスト、勾配ブースティング）、AI予測モデルを作成した。加えて、比較のために、古典的な統計モデルである一般化線形モデルとWBGTと市町村人口のみで作成した古典予測モデルも作成した。作成した予測モデルと2018年の天気情報と暦情報と市町村の統計情報によって、2018年における12時間毎の市町村単位の熱中症発症数の予測値を求め、それに対応する実測数との差をみることで、作成した予測モデルの精度を評価した。市町村単位の12時間毎の予測精度は二乗平

均平方根誤差（RMSE）で評価し、熱中症発症数が多い日の全市町村の1日単位の予測精度は平均絶対パーセント誤差（MAPE）で評価した。

（３）循環器疾患発症への気候の影響評価

院外心停止は公衆衛生上の重要な問題であり、本邦において年間約110,000件発症している。蘇生科学の目覚ましい発達に関わらず、社会復帰率は約7%前後と極めて低く、社会復帰率改善は先進諸国の喫緊の課題である。これまで蘇生科学の研究は主に病院前救護体制および病院収容後の治療に焦点が当てられてた。研究グループは、“院外心停止発症の要因”に焦点を当て、過去の研究で心血管疾患と気温に関係性があるという報告から、気象条件をもとに日々変動する院外心停止発症リスクを予測するモデルの作成を行った。

本研究は、総務省消防庁によるウツタイン様式救急蘇生統計データとWeather Company社の高解像度気象データを用いた。2005年1月～2013年12月を訓練データセットとして、一日あたりの心停止発症数を予測する機械学習モデルを作成し、2014年1月～2015年12月のデータを用いて本予測モデルの精度を試験し、予報システムに広く使用されている平均絶対誤差（MAE）と平均絶対パーセント誤差（MAPE）を用いて評価した。研究期間中に登録された心原性院外心停止661,052件（訓練モデル 525,374件および試験モデル 135,678件）を解析対象とし、気象データのみ使用したモデル、暦データのみを使用したモデルおよび気象と暦データを組み合わせたモデルを作成し、予測精度をそれぞれ評価した。

4. 結果及び考察

4.1 高齢化社会における暑熱環境の変化が循環器病に与える影響評価

(1) 救急搬送情報を用いた熱中症の記述疫学研究

救急搬送情報より把握された熱中症の発症件数は、2015年は3906件、2016年は3823件、2017年は3661件、2018年は7528件であった。2018年は例年より熱中症の搬送件数が多かった。

年代別の熱中症による救急搬送件数は、10代、70代、80代で多く、年齢と熱中症の関連はUカーブの関連が見られた。発症者のうち中等度以上の割合は、年齢が高くなるにつれて増えており、80歳以上は発症者のうち、半数以上が中等度以上の熱中症であった（図-1.1）。また、年齢が高くなるほど、自宅での発症者が多く、自宅で発症した患者は、自宅外（屋内、屋外を含む）に比べて、重症の患者が多かった（図-1.2）。気温が30～31℃のときに、発症者が最も多かった（図-1.3）。自宅での発症は自宅外での発症に比べ、発症時の気温とWBGTが高い傾向が見られた（図-1.4）。今後、人口を考慮した発生率比を算出するとともに、年齢、重症度、発症場所との関連を詳細に検討する予定である。

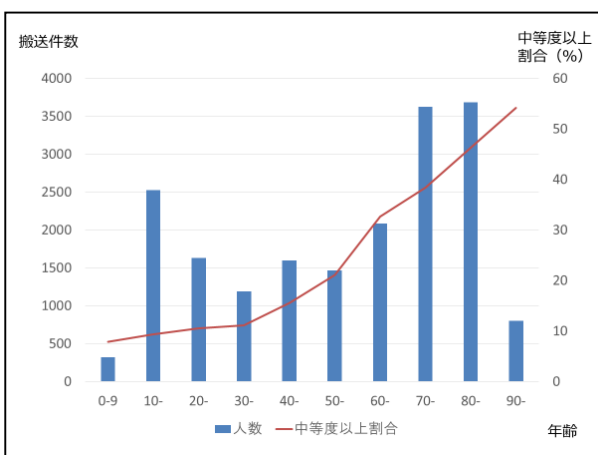


図-1.1 年齢と重症度との関連

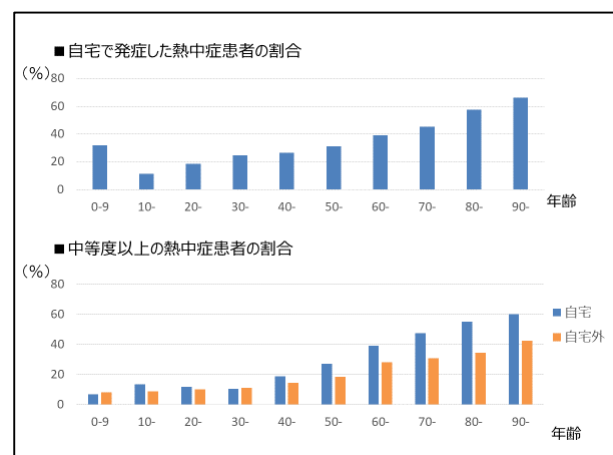


図-1.2 発症場所（自宅）と重症度

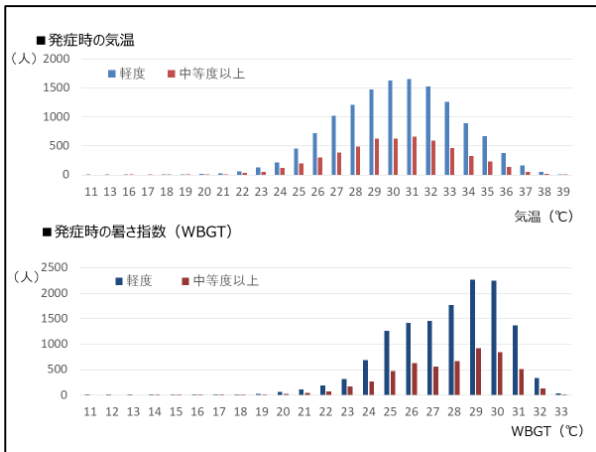


図-1.3 発症時の気象と重症度

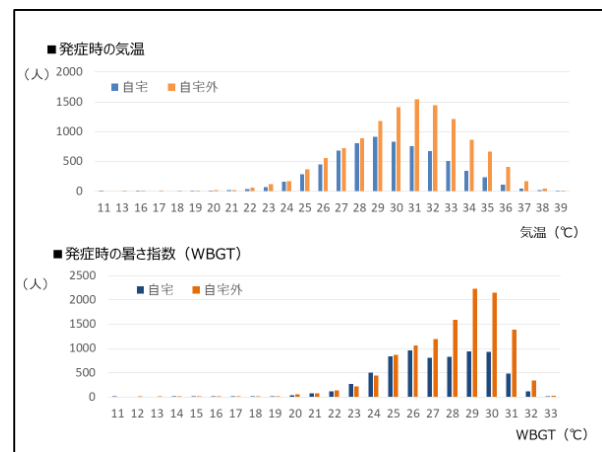


図-1.4 発症時の気温と発症場所

(2) 天気情報を活用する熱中症救急搬送予測モデルの開発研究

従来モデルと本モデルの推定結果の比較を図-1.5に示す。対象地域の総人口は約960万人であった。6月から9月における人口10万人単位の熱中症発症率は、2015-2017年は35.69、2018年は70.77であった。熱中症による救急搬送の全症例件数に対して、古典的な予測モデルでは、RMSEが3.73（件数）でMAPEが43.0%である。一方で、本研究により作成した最良のAIモデルでは、RMSEが2.97（件数）でMAPEが14.8%である。

図-1.5は、熱中症による救急搬送の全症例件数の観測件数（黒線）と予測件数（赤線）の比較を示し（16市町村の一日単位の合算値）、黒色と赤色の線が近いほど予測精度が良いことを示す。2015年から2017年は予測モデル作成をした訓練データセットでの結果となっており、一般的に訓練データセットでの予測精度は高いものが得られる。着目すべき箇所は、2018年のモデル精度検証のための検証データセットの結果になる。図-1.5の上部は古典的な予測モデルの予測結果を示し、熱中症発症数ピーク時の予測精度が低い。しかし、図-1.5の下部のAI予測モデルでは、ピーク時も含めて観測件数と予測件数が非常に類似していることが示され、予測精度が高いことが示されている。

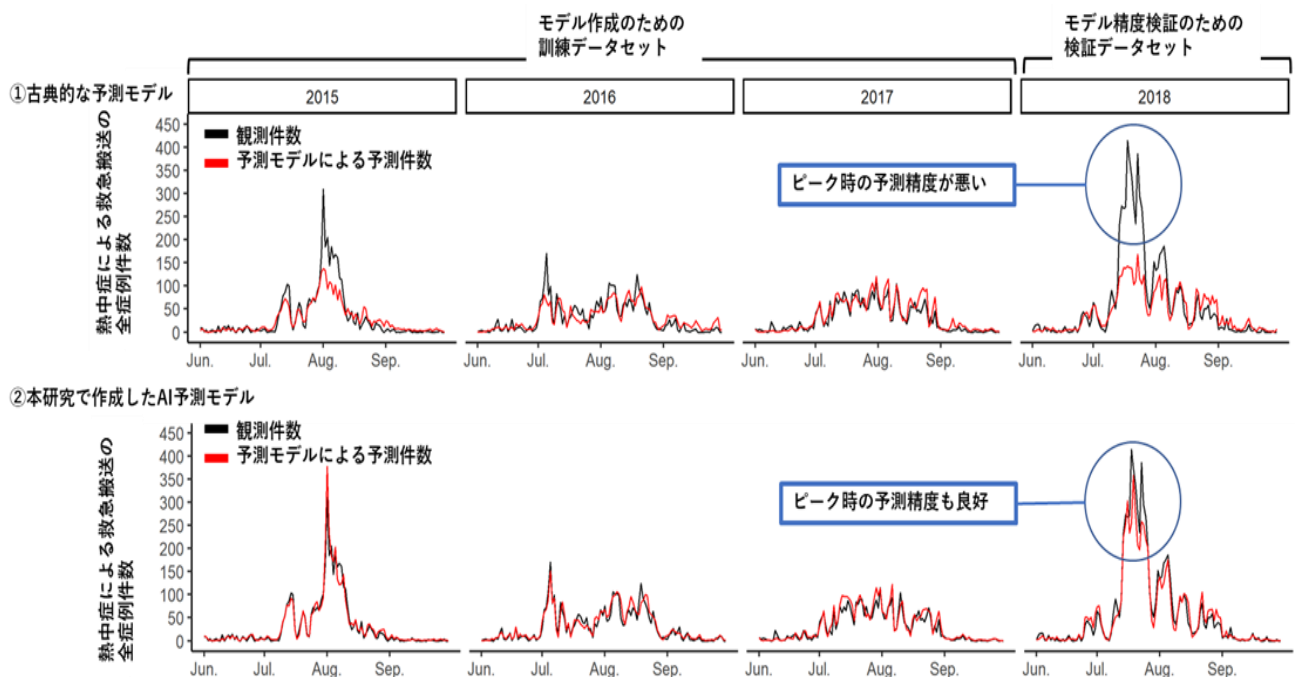


図-1.5 熱中症発症数実測数と予測数の比較（上段：GLMでの予測値，下段：XGBoostでの予測値）

次に、熱中症発症数予測モデルの精度を図-1.6に示す。また、熱中症による救急搬送の中等症以上症例件数（入院診療、長期入院、死亡例）に対して、古典的な予測モデルでは、RMSEが1.14（件数）でMAPEが37.7%であった。一方で、我々が作成した最良のAIモデルでは、RMSEが0.83（件数）でMAPEが10.6%でとなった。予測値と実測値の高い相関係数が得られた。また、GLMと比較して、XGBoostで作成した予測モデルのほうが予測値と実測値の差は小さいことが、MAEとMAPEから示されている。

熱中症発症数の実測数と予測数の比較を図-1.7に示す。上段はGLMの予測値で、下段はXGBoostの予測値となっている。GLMと比較して、XGBoostではピーク時の予測

精度が良好であることがわかる。これは、天気情報と熱中症発症数の非線形関係を、XGBoostではうまく捉えることができたからと考える。

当AIモデルは下記の特徴を有する。

- ・熱中症による救急搬送の全症例件数と中等症以上症例件数（入院診療、長期入院、死亡例）のそれぞれを、12時間毎に市町村単位で予測することが可能。
- ・熱中症発症数が急上昇する日（ピークの日）も高精度に予測することが可能。
- ・当AIモデルでは、天気情報と暦情報と市町村の統計情報（人口、高齢化率等）といったルーティンで収集されている情報をAIで扱うことにより、熱中症発症数を予測することが可能。当AIモデルの実装に求められる情報は多くの地域で収集しており、他の地域実装は比較的容易。

本研究において、天気情報と暦情報と市町村の統計情報を用いた熱中症発症数予測モデルは、熱中症による救急搬送の全症例件数と中等症以上症例件数（入院診療、長期入院、死亡例）を高精度に予測することに成功した。気象条件と熱中症発症数が関連することは、既に多くの論文で報告されているが、本研究のように熱中症発症数・重症度・発症数ピークを高精度に予測するAIモデルは世界初の研究結果である。

将来的に熱中症アラートを高精度に発信することで、多くの方の熱中症予防につながることを期待している。

(3) 循環器発症に対する気候変動の評価

機械学習を用いて気象観測データと暦データを基にした院外心停止発症予測モデルを世界で初めて作成した。この研究は、総務省消防庁によるウツタイン様式救急蘇生統計データとWeather company社による高解像度気象データを用いた観察研究で、Heart誌に令和3年5月18日付で掲載された。（引用文

Dataset	Training dataset	Testing dataset
Year	2015 - 2017	2018
Patients characteristics		
Male sex, n (%)	7047 (61.88)	4328 (57.49)
Outdoor incidence, n (%)	3448 (30.27)	2113 (28.07)
Case severity (moderate and sever including death), n (%)	3329 (29.23)	1994 (26.49)
Incidence of heatstroke		
N per day, median (IQR)	12.00 (3.00, 50.00)	19.00 (3.25, 70.50)
Incidence rate between June and Sep (per 100,000 people)	35.69	70.77
Meteorological condition variables within a day, median (IQR)		
Ambient temperature, ° C	25.52 (22.85, 27.80)	26.29 (23.00, 29.15)
Heat Index	25.87 (22.85, 29.87)	26.94 (23.00, 32.20)
WBGT	23.72 (21.15, 25.78)	24.13 (21.41, 26.44)
Relative humidity, %	73.13 (63.85, 81.60)	70.76 (61.41, 79.71)
Precipitation previous 12 hours, mm	0 (0, 2.39)	0 (0, 2.83)
Downward solar radiation, kwm ²	0.02 (0.01, 0.50)	0.02 (0.01, 0.51)
Atmospheric pressure, kPa	996.4 (984.8, 1002.2)	997.2 (985.5, 1003.2)
Wind speed, Kph	2.48 (1.98, 3.08)	2.58 (1.94, 3.47)

図-1.6 熱中症発症数予測モデル作成データの特徴

	MAE by cities and 12 hours	Correlation by cities and 12 hours	MAPE by 1 day*
Training dataset			
M1: GLM with WBGT and population	0.689	0.794 (0.788, 0.801)	43.78%
M2: XGBoost with weather information, holidays, rainy seasons, population, using data augmentation technique	0.578	0.889 (0.885, 0.892)	26.17%
Testing dataset			
M1: GLM with WBGT and population	1.224	0.802 (0.791, 0.813)	46.09%
M2: XGBoost with weather information, holidays, rainy seasons, population, using data augmentation technique	1.000	0.888 (0.881, 0.894)	28.38%

* MAPEs were calculated in dates when 2 and over cases of the heatstroke incidence in July and August.

図-1.7 熱中症発症数予測モデルの精度

献 2)

気象と暦データを組み合わせたモデルは訓練データセットにおいてMAE 1.314、MAPE 7.007%と他モデルと比較して最も精度が高く、試験データセットにおいてもMAE 1.547、MAPE 7.788%と非常に高い予測精度を示した。

予測精度	気象データ 予測モデル		暦データ 予測モデル		気象と暦データ 予測モデル	
	訓練 データ	試験 データ	訓練 データ	試験 データ	訓練 データ	試験 データ
MAE	1.413	1.628	1.415	1.577	1.314	1.547
MAPE by day (%)*	12.158	14.023	11.307	10.833	7.007	7.788

* 一般的に、MAPEは<10%で高い予測精度、10% to 20%, 良好な予測精度、20% to 50%で妥当な予測精度および50%以上で低い予測精度と考えられる。

MAE, 平均絶対誤差; MAPE, 平均絶対パーセント誤差

図-1.8 気象モデルの予測精度

また、心停止発症数予測において強く関連した因子は、気象データでは低い平均気温、日内・日間の大きな気温差であり、暦データでは日曜日、月曜日、祝日、冬季（12月～2月）あった。

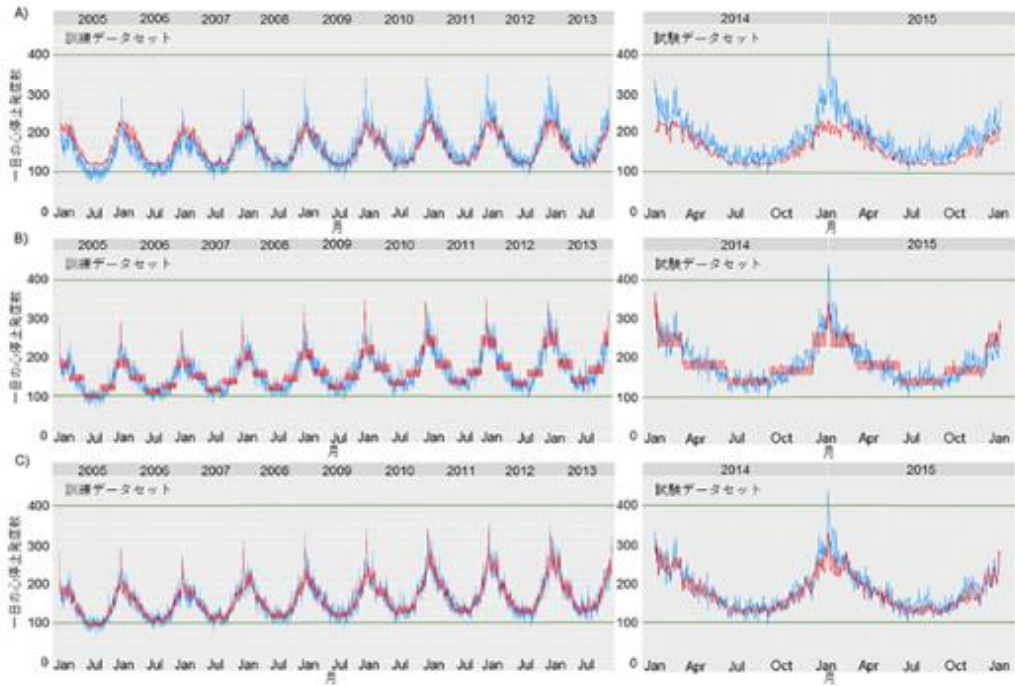


図-1.9. 一日の院外心停止発症数の観測値と予測値の比較

青色の線は日本の一日あたりの心停止発症数の観測値を示し、赤色の線は予測モデルによる予測値を示す。A) 気象データのみで作成した予測モデル、B) 暦データのみで作成した予測モデル、C) 気象と暦データを組み合わせたモデル

本研究において、気象観測データと暦データを用いた院外心停止発症予測モデルは高精度で院外心停止の発症を予測することに成功した。過去に気温と心血管疾患の関係性を報告した引用文献3)はあるが、これまでに複数の気象因子を用いた研究はなく、本研究では機械学習を用いることで複数の因子を使用し、さらには日内・日間の気温差による院外心停止発症リスクについて調べることに成功した。

気象情報を院外心停止発症予測モデルに使用する利点として、気象予報は2週間先の未来まで予測可能なことが考えられる。将来的には、循環器病をもつ患者に対して、本研究で得られた院外心停止発症リスクの高い日の情報を事前に提供することで、実際に心停止発症を減らすことができるかを検証したいと考えている。ただし、本研究で使用した院外心停止データは都道府県レベルの粒度であり、さらに心停止発症場所（屋外、屋内）に関する情報がないため実用化のためには、さらなる研究が必要と考えている。

現在、ミシガン大学の協力のもと全米の院外心停止100万件とNASAの気候情報データをもとに同様のデータについて解析をすすめている。

また高知県での脳卒中の全発症登録をもとに発症予測モデルを作成中である。

5. 研究目標の達成状況

当初予定していた熱中症の時間ごとの発症予測モデルおよび循環器発症への気象条件への予測リスクについては研究期間内に世界的に著名な一流紙に発表を行い、達成されたと評価している。

6. 引用文献

1) Soshiro Ogata, Misa Takegami, Taira Ozaki, Takahiro Nakashima, Daisuke Onozuka, Shunsuke Murata, Yuriko Nakaoku, Koyu Suzuki, Akihito Hagihara, Teruo Noguchi, Koji Iihara, Keiichi Kitazume, Tohru Morioka, Shin Yamazaki, Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Kunihiro Nishimura Heatstroke predictions by machine learning, weather information, and an all-population registry for 12-hour heatstroke alerts Nature Communications. 2021 Jul 28;12(1):4575.

2) Takahiro Nakashima, Soshiro Ogata, Teruo Noguchi, Yoshio Tahara, Daisuke Onozuka, Satoshi Kato, Yoshiki Yamagata, Sunao Kojima, Taku Iwami, Tetsuya Sakamoto, Ken Nagao, Hiroshi Nonogi, Satoshi Yasuda, Koji Iihara, Robert W Neumar, and Kunihiro Nishimura A machine learning model for predicting out-of-hospital cardiac arrests using meteorological and chronological data Heart. 2021 May 17;107(13):1084-1091

3) Danet S, et al. Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. A 10-year survey: the Lille-World Health Organization MONICA project (Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease). Circulation 1999;100(1):E1-7)

Ⅱ－２ 市民の暑熱環境に適應する行動への変容・支援と新たな社会基盤の未来戦略

関西大学

環境都市工学部 尾崎 平、秋山 孝正、井ノ口 弘昭、宮崎 ひろ志、尹 禮分

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 山形 与志樹

〔要旨〕

サブテーマ2では、暑熱に対する脆弱性指標の提案、地域の脆弱性評価、都市内の暑熱リスクの評価モデルの構築ならびに、行動変容支援のため要因抽出とツールの開発、さらに将来気候における脆弱性評価を行うことを目的とした。その結果、熱中症に対する新たな脆弱性指標としてWBGTの累積時間を用いる方法を提案した。地域の熱中症に対する脆弱性では都市機能集積指数という新たな指標を提案し、町・字単位で熱中症の脆弱性を評価できるモデルを構築した。また、都市内の暑熱リスク評価として、MRTの累積時間と人流データを用いた屋外空間のメッシュ単位でのリスク評価モデルを構築した。さらに熱中症対策の因果構造モデルから行動変容支援に必要な要因し、熱中症予防ガイドブックの開発、避暑ナビゲーションシステム等を構築した。最後に、ST1が開発したモデルとST2で分析した将来気候のデータ（d4PDF）を組み合わせ、将来気候における暑熱環境のリスクを明らかにした。

1. 研究開発目的

全体目標を達成するために、熱中症に対する新たな指標の提案、地域的脆弱性の評価、暑熱リスクの評価ならびに、それに対する適応策を提示する必要がある。そのため、サブテーマ2は、特に、都市環境における熱中症の地域的な脆弱性や人の行動、暑熱の暴露時間などを考慮したリスク評価を行い、さらに、適応策としての行動変容のための支援ツールの開発を行う。

2. 研究目標

最終目標である脆弱性・熱ストレス適応策の時空間評価のため、暑熱に対する脆弱性指標を提案（3.1、4.1）し、熱中症による救急搬送データとの関係から、地域的脆弱度の評価モデルの構築（3.2、4.2）を行う。また、ヘリによる熱画像計測と人流データ・SNSデータの分析による暑熱環境リスクの定量化を行い、熱環境リスクの定量モデルの構築（3.3、4.3）を行う。さらに活動量、温湿度、電力消費量のモニタリングとアンケート結果に基づく行動変容支援のために必要な要件・コンテンツの抽出とアルゴリズムの構築（3.4、3.5、4.4、4.5）を行う。また、大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いた将来気候における脆弱性評価（4.6、4.6）を行う。

3. 研究開発内容

3.1 暑熱に対する脆弱性指標の提案

(1) 熱中症予防に関する情報提供の現状と課題

現在、熱中症予防のための情報として、環境省では、熱中症予防情報サイト¹⁾にてWBGTの予測値および実況値を提供し、民間企業が運営するメール配信システムにより、同情報を配信している。同サービスは、全国の観測地点840地点において、翌々日までの3時間毎のWBGTの予測値を1日1回（6時～20時の間で配信時間をユーザーが任意に指定）、実況値は1時間に1回ないし、1日1回提供している。

日本体育協会²⁾によれば、このWBGTによる区分は、WBGTと全国の熱中症事故発生件数との関係から設定されている。現状のWBGTを評価指標とした危険度レベルの設定は、全国のアメダス地点を中心とした観測点における推計値や、工事現場や学校の体育館で見られるような簡易計測器による計測値によって示されるWBGTをみて、簡易に判断できる特徴を持つ。一方、課題点として、WBGTの大きさのみで、危険度レベルを定義していることが上げられる。熱中症は、WBGTの大きさだけでなく、あるWBGTの条件下で、どれだけの時間曝露されたかも考慮する必要があると考えられる。また、地域特性は考慮されておらず、かつ、危険度レベルの違いによる危険度の差が定量的に示されていない。そのため受け手である

市民は、自分の地域に当てはまることなのか、危険度レベルが異なるとリスクがどれだけ高くなるのか等を理解することができない課題を有する。そのため地域に応じた脆弱性指標の提案が必要である。

(2) 暑熱に対する脆弱性指標（DT値）の定義

本研究では、暑熱に対する脆弱性を表現するDT値を以下の式(1)で定義した。

$$DT_i = \{(x_{i-2} - TH) + (x_{i-1} - TH) + (x_i - TH)\} \cdot T \quad (1)$$

(x_{i-2}, x_{i-1}, x_i) が TH 以下の時、 TH とする)

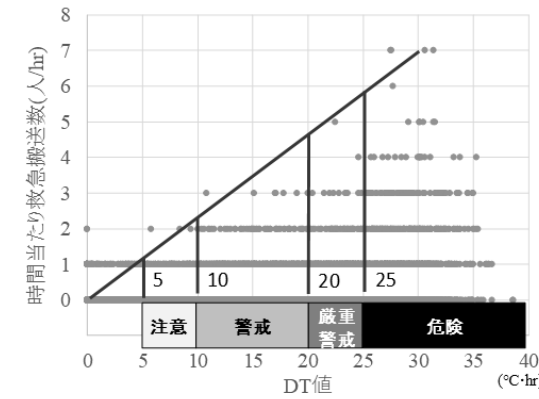
ここで、DT：DT値（℃・hr）、 x ：WBGT(℃)、TH：閾値（ここでは21℃）、T：時間（ここでは1hr）、 i ：時間の添え字。

式(2)より、本研究では曝露による影響時間を3時間と仮定している。これは、それ以上長い場合、WBGTが低い時間帯を含むときに、DT値が平準化されるため、3時間とした。また、危険度レベルを通知する際に、環境省より提供される予測値を用いることを前提としており、その予測値が3時間毎であり、利用しやすいことも考慮した。また、閾値は、スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック²⁾に示される「WBGT：21℃未満：ほぼ安全」を参考に、21℃とした。

(3) 脆弱性レベルの設定方法

本研究では、横軸にDT値、縦軸に救急搬送数をプロットし、両者の関係より、日本生気象学会³⁾による日常生活における熱中症予防指針と同じ4区分（注意、警戒、嚴重警戒、危険）で設定することとする。また、各区分での救急搬送数の非超過確率発症確率を算定し、対象地域における脆弱性レベルの違いを定量的に表現する。ここでは一例として、堺市を例として設定方法を説明する。

2013～2018年の5月1日～9月30日期间における堺市を対象とした熱中症による救急搬送数とDT値との関係を図-2.1に示す。DT値が5℃・hr未満であっても時間当たり救急搬送数が1名存在する事例が多数見られ、2名の場合も2例あるが、大局的にはDT値の高まりに応じて、時間当たり救急搬送数は増加傾向にある。堺市における対象期間の結果に基づけば、時間当たりの救急搬送数のピークは、DT値が25℃・hrを超えた場合の7名である。時間当たり1名の救急搬送は、いずれの条件下においても起こりうることも読み取れる。図-2.1より、脆弱性レベルを図中に示す4区分に設定した。



DT値 搬送数	5未満	5以上 10未満	10以上 20未満	20以上 25未満	25以上
7人	0	0	0	0	4
6人	0	0	0	0	1
5人	0	0	0	1	6
4人	0	0	0	1	17
3人	0	0	6	10	56
2人	2	3	53	51	137
1人	107	91	405	271	445
0人	12,582	3,321	4,961	968	953

(表中の数字は度数を表す)

図-2.1 暑熱環境の脆弱性レベルの設定

3.2 地域的脆弱度評価モデルの構築

熱中症には気象条件が大きく関わっている。しかし、地域特性の観点からの脆弱性の評価は行われていない。ここでは、独自に入手した時刻、町字の情報を含む熱中症搬送者データと地域特性の関係から、市民の熱中症に対する予防行動を促すために、町字単位での脆弱度の可視化を図る。

(1) 都市機能集積指数の提案

熱中症は自宅や道路等、屋内、屋外共に発生している。ここで大きく影響するのは外出機会、外出行動と仮説をおいた。具体的には「外出しにくい環境にある地域の場合、住宅からの熱中症搬送数が多い傾向にある」、一方「外出しやすい環境にある地域の場合、道路からの熱中症搬送数が多い傾向にある」という仮説を立て、地域特性として外出機会を表現する都市機能集積指数を提案する。

都市空間の歩きやすさが外出機会に影響を与えると考え、徒歩圏内の人口、徒歩圏内の施設利用度、徒歩圏内の交差点数を、GISを用いて集計し、標準化指数として「都市機能集積指数」式(1a)を定義した。

$$UFA_i = (ZNPDI + ZFAC_i + ZSC_i)/3 \quad (2a)$$

ここで、 UFA_i ：都市機能集積指数、 NPD_i ：徒歩圏内の人口、 FAC_i ：徒歩圏内の施設利用度、 SC_i ：徒歩圏

内の交差点数とする。また、 i は対象となる町を識別する添字である。右辺の各変数記号の先頭にある Z は標準化（無次元化）した得点であることを示しており、式(1b)で算出する。

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \tag{2b}$$

ここで、 X ：確率変数、 μ ：平均、 σ ：標準偏差とする。

(2) 都市機能集積数を構成する3要素の算定方法

徒歩圏内の人口(NPD)：徒歩圏内の人口が多い（人口密度が高い）ほど近隣において多様な人との交流が生まれ、徒歩による外出機会が増加すると考えられる。そのため、当指標の算出方法として、ここでは昼間人口ではなく、まちの状態（ポテンシャル）としての人口として徒歩圏内の常住人口を徒歩圏内の面積で割ることで算出する。徒歩圏内の常住人口は国勢調査（2015年版）250mメッシュ単位の人口データを用いて、面積按分を行い、徒歩圏内の人口とした。

徒歩圏内の施設利用度(FAC)：徒歩圏内に多様な目的地の種類が豊富な地域ほど、様々な活動機会が身近に存在し、徒歩での外出機会が増加すると考えられる。当指標の算出方法として、各種の生活関連施設が徒歩圏内に何種類あるかを指標化する。ここでは既往研究⁴⁾を参考に表-2.1に示す施設中、何種類の施設が徒歩圏内にあるかを数え上げて指標とした。

徒歩圏内の交差点数(SC)：徒歩圏内の交差点が多いほど道路の接続性が高く、歩行による目的地への到達が容易になるため、徒歩での外出機会が増加すると考えられる。当指標の算出方法として、交差点を「ArcGIS Geo Suite道路網」（2016年版）の道路ネットワークのデータから生成し、3つ以上の道路セグメントと結びついたネットワーク上のノードを交差点とみなして、徒歩圏内の交差点密度を計算する。

(3) 熱中症搬送者データ

熱中症に関する統計データは、総務省消防庁で集計され、5月～10月の期間において、毎週、公表されている。しかし、本データは都道府県単位での年代、性別、発生覚知場所、傷病程度の集計データのため、本研究で必要とする空間単位よりも空間解像度が粗い。そこで、2019年1月に、筆者らは各消防部局に、救急搬送データの個票から、熱中症に関する事案のみを抽出いただき、個人情報を含まない、覚知時刻（年月日時分）、救急車到着地点住所（町・字）、同場所（住居、道路、教育機関等）、性別、年齢、傷病程度（軽傷～死亡、その他）に関する情報の提供を依頼し、入手した。

(4) 分析方法

各都市の町・字単位での都市機能集積指数と熱中症搬送数の相関分析を行う。その後、都市機能集積指数を用いて、都市毎にクラスター分析により地域特性の区分を行い、最後に、暑熱障害に対する脆弱度の可視化を行う。

3.3 熱環境リスクの定量モデルの構築

(1) 熱環境リスク評価の位置づけ

気候変動適応法(2018年)では各自治体に地域気候変動適応計画策定が求められている。

適応策検討には市街地内にある暑熱危険度の高い小空間群の抽出が不可欠である。近年数値シミュレーションにより詳細な環境予測が可能となっており、これを用いた危険空間抽出検討も数多く行われている。しかしこれらは特定期間・特定空間を対象とした実験的解析・オーダーメイドの高度解析であり、広域汎用的に展開する上では課題が多い。本研究では広域を対象としつつ経済性に優れたリモートセンシング技術等を活用し、詳細かつ広域の環境解析手法の開発を目指した。航空機に搭載したLiDARセンサより地上地物の形態情報取得が容易となっている。この地上地物形態情報は、国土計画のDX、自動運転技術実用化など国土交通省が推進する「Project Plateau」など、全国的にデータ整備が広がりつつある。本研究はこうした新しいデジタルデータを活用し、市街地内にある暑熱危険度の高い小空間群の抽出

表-2.1 施設利用度の算出に用いた施設一覧

施設	出典
小、中学校	国土数値情報「学校」
役場	同 上「市町村役場・ 公的集会施設」
公民館	
公園	同 上「都市公園」
図書館	同 上「文化施設」
郵便局	同 上「郵便局」
バス停	同 上「バス停留所」
鉄道駅	同 上「鉄道」
内科・外科・婦人科	PAREA Medical 病院・診療所

のための広域性、汎用性、経済性に優れた手法開発を目指すものである。

本研究では2019年には本研究の基礎となるヘリによる熱画像計測とその基礎的な分析を行った。その上で、ここでは空間周囲の表面温度を平均した周壁平均温度（MRT）を指標とすることを試みた。MRT、つまり表面温度の高低により熱中症に関連する暑熱危険度を示そうというもので、都市建築技術者、植栽管理者などに対策提案を促すことが容易となることが期待できる。

(2) 評価方法

熱環境リスクの定量モデルの構造を図-2.2に示す。本研究では周壁平均温度（MRT）により街区の熱環境評価を行った。[1. MRT分布推定ツール] オープンソースの地理情報システムQGISのプロセッシングツール都市熱環境マルチスケール予測ツール（UMEP）⁵⁾を用いた。なお、本研究で用いるMRTは日射を考慮したものである。本研究では、街区の周壁平均温度（MRT）推計値と実際の熱中症発症状況との対比することにより、周壁平均温度（MRT）の危険度の指数化を試みた。[2. 熱中症搬送者情報] 一般に熱中症搬送者情報は個人情報保護の観点から搬送位置情報は空間が特定しにくくなるような処理が一樣に行われている。本研究で用いた熱中症搬送者情報は、通常の熱中症搬送者情報と異なり、個人情報との紐付けが困難な屋外での発症事象については具体的・詳細な位置情報を含むものを提供頂いた。これにより屋外の解析では従来よりも精度の高い指標取得が期待できる。用いた熱中症搬送者情報の期間は2015年1月～2019年10月のものである。[3. 対象エリア] 神戸市の中心市街地、三宮地区である。[4. 対象期間] 神戸市で日別熱中症搬送者数の多かった2018年7月11日～2018年8月10日とした。[5. 気象データ] 周壁平均温度（MRT）推計に用いた気象データは期間各時刻の気象庁地域気象観測システム等実測値を用いた。[6. 地物形状データ] 街区や、街路樹・公園等都市緑地内等の樹木の形状情報には、兵庫県が整備した1mの空間分解能を持つ3D都市モデル「全県土高精度3次元データ」（2020）⁶⁾を用いた。[7. 緑地被覆位置情報] 樹木位置の特定にはMaxar社の人工衛星WorldView-2の、地上分解能がそれぞれ可視0.5メートル、近赤外域等2.0メートルの高分解能観測データ（2019年6月25日（JST）観測）を用いた。[8. 人流データ] 熱環境的に危険な場所でも歩行者等が少ない場所是对策順位を低くすべきであろう。今回各街区空間の滞在者数を知るために、本検証対象期間に得られたモバイル空間統計データを用いた。歩行者の抽出には簡易な移動速度を用い、時速 0.1～7kmのものを歩行者とした。

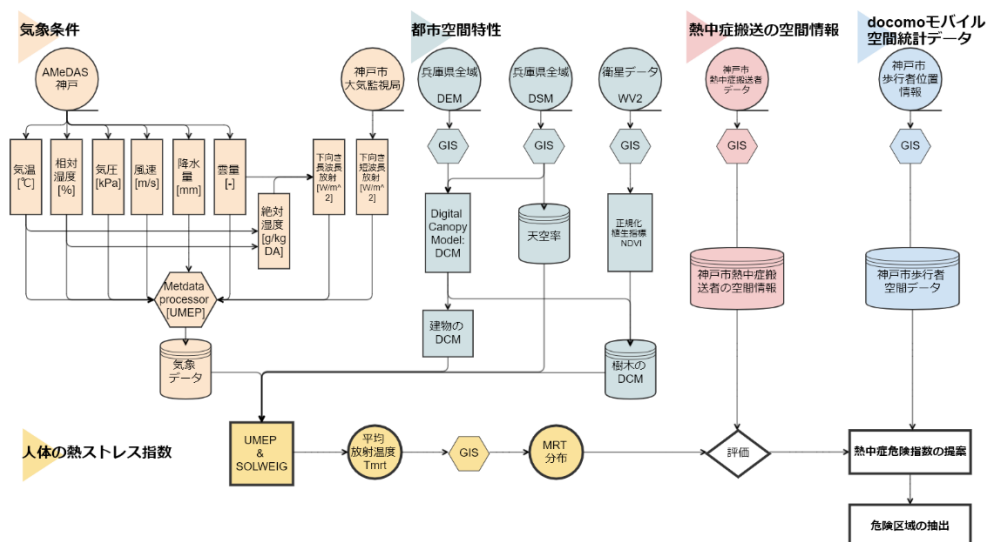


図-2.2 熱環境リスクの定量モデルの構造

3.4 熱中症予防のための対策行動の因果モデルの構築による行動変容支援のために必要な要件の抽出

(1) 因果構造モデルの位置づけ

熱中症予防に関しては、各省からガイドラインなどが示されており、現在では、環境省を始め、複数の省庁で構成される熱中症関係省庁連絡会議において、効率的、効果的な熱中症対策の実施方策が検討されている¹⁾。しかし、我が国での熱中症による被害は増加傾向にある。このことから熱中症対策にお

ける態度と行動は乖離していると考えられる。

態度と行動の乖離を引き起こす規定因の統合モデルとして、広瀬⁷⁾の環境配慮的行動と規定因との要因連関モデル（以下、「広瀬モデル」）がある。当モデルは、環境配慮的行動において、行動までの意思決定のプロセスを、目標意図の形成までと環境配慮的行動意図までの2つの段階に分けて説明している。

熱中症対策は、「水分をこまめにとる」や「エアコンを適度に利用する」など比較的、その対策行動自体は知られているが、実践されていない、あるいは実践されているが十分でないために熱中症が発症していると思われる。すなわち、一人一人に対して、如何に熱中症対策行動を実践してもらうかを明らかにする必要がある。そこで本研究では、広瀬モデルを用いた熱中症対策行動因果モデルを構築することで、人々の熱中症対策の行動変容を促進するための必要な要件を抽出することを目的とする。

(2) アンケート調査の概要

表-2.2 にアンケート調査の概要を示す。調査時期は2020年3月である。調査方法は、Webアンケート調査であり、(株)マクロミルに委託し、調査を実施した。本アンケート調査の有効サンプル数は524名である。その内訳は、性別は男女、それぞれ半数ずつ、年代別では、20～39歳、40～64歳、65～74歳、75歳以上で、それぞれ、148名（28%）、208名（40%）、84名（16%）、84名（16%）となっている。なお、後述の共分散構造分析は、全体ならびに、全体を若者群、高齢者群の2群にわけて分析を行う。本研究では65歳以上を「高齢者群」、65歳未満を「若者群」とする。また、熱中症に対する意識や行動は、相対的に涼しい地域と暑い地域など、地域により違いがあると考えられる。本報告では、その地域特性は考慮せず、高齢者の熱中症搬送数が多いことから、年齢群に着目する。対象は大阪府大阪市、豊中市の居住者とし、Webアンケートを実施後、熱中症に対する意識と行動の関係について分析する。

本研究で因子分析、共分散構造分析を実施するために、熱中症に関する関心、認識、意識などについて14項目の質問と、現在の屋内外の熱中症対策行動に関する事項について質問を行った。

(3) 分析方法

作成した意識因子を用いて、広瀬モデルを参考にしながら、目標意図の形成（熱中症に対する態度）と環境配慮的行動意図（行動の実施）の2つの段階に分けて、熱中症対策行動の因果仮説モデルを作成した。具体的には、熱中症に対する態度の規定因として、「リスク認知（暑熱環境が厳しくなることに対する被害の深刻さに関する認知）」「外力認知（自分のいる環境が熱中症を引き起こしやすいことに関する認知）」および「情報提供の認識（熱中症対策の具体策や注意喚起に関する認識）」とし、行動の実施の規定因として、「家計への影響（熱中症対策の費用に関する評価）」、「リスク受容（暑さが厳しくなっている環境に対する熱中症対策の実行可能性の評価）」を設定した。

次に、行動の実施について、本研究で取り上げた34個の熱中症対策行動の実施率を分析した結果、熱中症対策行動の実施率は行動によって大きく異なり、多くの人が実行していて普及しているといえる行動から、実行している人の方が少ない行動まで多様であることが分かった。前田ら⁸⁾は、廃棄物発生抑制行動の意思決定モデルを作成する際、行動を実行度で3つに分類し、それぞれモデルを作成している。このことから、熱中症対策行動においても、行動の実施率によって人々の意思構造は違うのではないかと考えた。そのため、緑のカーテンや打ち水など居住形態により実施できないものや、最高気温の確認等、その確認だけでは熱中症対策にならないものについては除外し、熱中症対策行動を屋内行動で実施率が高い行動（以下、「屋内上位行動」）、屋内行動で実施率が低い行動（以下、「屋内下位行動」）、屋外行動で実施率が高い行動（以下、「屋外上位行動」）、屋外行動で実施率が低い行動（以下、「屋外下位行動」）の4つの分野（以下、「行動分野」）に分類し、実施率を参考にしながらそれぞれに行動を3つずつ振り分け、分野ごとにモデルを作成した。

表-2.2 アンケート調査の概要

調査時期	2020年3月			
調査方法	インターネットによる Web アンケート			
サンプル数	総計：524			
	性別：262（男性），262（女性）			
	年代：			
	20～39 歳	40～64 歳	65～74 歳	75 歳以上
	148	208	84	84
	若者群（非高齢者）		高齢者群	
	356		168	
対象地域	大阪府大阪市，豊中市の在住者			
主な質問項目	熱中症に関する関心，認識，意識に関する事項，屋内外の熱中症対策行動に関する事項等.			

3.5 行動変容支援のアルゴリズムとツールの構築

行動変容支援のツールとして、(1)3.1に示した熱中症警戒情報のためのWBGTの予測システム、(2)3.4の因果構造を考慮した熱中症対策ガイドブックの開発ならびに(3)活動量、温湿度等のモニタリングに基づく熱中症のリスクを評価するシステムの構築、(4)歩行時の日射による暴露時間を軽減するための避暑ナビゲーションシステムの方法について示す。

(1) WBGTの予測方法

3.2に示した熱中症警戒情報を実用化するためにはWBGTの予測が不可欠となる。そのため、ここでは自己回帰モデルをベースとした2-fold法によるWBGTの予測方法について示す。

暑さ指数の時系列性や自己相関性を取り入れるため、過去の履歴データに基づいた自己回帰モデルをベースとし、予測モデルの入力 $\mathbf{x}(t)$ および出力 $y(t)$ を次のように設定する：

$$\mathbf{x}(t) = (wbgt_{t-t_1}, wbgt_{t-t_2}, \dots, wbgt_{t-t_n})^T \quad (3)$$

$$y(t) = wbgt_t \quad (4)$$

ここで、 $wbgt_j$ は時刻 j における暑さ指数を表す。また、暑さ指数の周期性や時系列的変動による自己相関性が強いことから、入力ベクトル $\mathbf{x}(t)$ における $t_i, i = 1, \dots, n$ は以下のように設定する：

$$t_1 = 72, t_2 = 48, t_3 = 24, t_4 = 18, t_5 = 12, t_6 = 6, t_7 = 3, t_8 = 2, t_9 = 1$$

直近(1-3時間前)の暑さ指数の変動を考慮しながら、72時間前からの暑さ指数の動きを取り入れると、精度の高い将来予測ができると考える。

さらに、暑さ指数の短期(3時間前後)および中期(72時間前後)予測の精度向上を図るために、線形回帰モデルに予測とサポートベクター回帰(Support Vector Regression ; SVR)を融合した2-fold学習法を提案する：

I. 与えられた学習データ $(\mathbf{x}_i, y_i), i = 1, 2, \dots, l$ に対し、線形回帰分析により $f_L(\mathbf{x})$ を作成する。

II. 手順Iで得られた $f_L(\mathbf{x})$ から生じる近似誤差 $\varepsilon_i = y_i - f_L(\mathbf{x}_i)$ をもとに、 $(\mathbf{x}_i, \varepsilon_i), i = 1, 2, \dots, l$ を学習データとして、サポートベクター回帰により $f_\varepsilon(\mathbf{x})$ を求める。

III. 手順Iと手順IIで得られた結果から、 $\hat{f}(\mathbf{x}) := f_L(\mathbf{x}) + f_\varepsilon(\mathbf{x})$ により暑さ指数の予測値を算出する。

提案法の概念図を図-2.3に示す。図中の○は学習データ(観測された履歴データ)であり、実線は予測結果である。図-2.3(a)では、全体的動向は予測可能であるが、部分的な変動に対する誤差は大きいことがわかる。その誤差を非線形回帰モデルで補正した結果が図-2.3(b)である。したがって、提案の学習法では線形1次多項式モデルにより暑さ指数の長期的な動向を予測しながら、非線形回帰を用いて、周期性による局所的な変動の補正を行うことで、予測精度の向上を図る。

大阪市で観測された暑さ指数の実況値(2010年-2019年；6月-9月；9時-21時までの3時間おき)をもとに、暑さ指数の予測モデルを構築し、推定結果を図-2.4に示す。暑さ指数の推定値と実況値はほぼ一致していることから、提案方法による暑さ指数の予測モデルは高い精度で予測できると判断する。



(a) 手順Iでの予測結果

(b) 手順IIによる補正後

図-2.3 提案方法の概念図

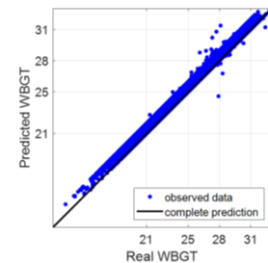


図-2.4 提案法による推定結果

(2) 熱中症対策ガイドブックの開発

ST3が中心となり、地域共創拠点として立ち上げた『関西大学リビングラボ』では、複数のアクションリサーチに取り組んでおり、2020年度は熱中症予防ガイドの開発と市民とのWSによる未来デザインを行った。そこでの意見ならびに熱中症対策行動の因果構造を踏まえて熱中症対策ガイドブックを開発した。開発したガイドブックは目標・学び・書き込み式のワークを含む「ステージ学習」と、21個の熱中症対策行動における行動実施状況を5段階で評価し、ステージを判断するための「ステージ・ステータスチェ

ック」から構成されている。対象者は現在の自分に合った書き込み式のワーク学習を行い、定期的に「ステージ・ステータスチェック」で現在の熱中症対策行動変容ステージを把握することで、自分のペースで無理なく熱中症対策行動を習慣化できるよう設計している。なお、本ガイドブックについては誰でも利用できるように本研究課題のHPにおいて公表している (<https://wps.itc.kansai-u.ac.jp/ische/wp-content/uploads/sites/114/2021/03/Guidbook202008.pdf>)。

本調査は、一般市民27名を対象に実施した。調査前後にアンケートを実施し、対象者の熱中症に対する意識変化と行動変容ステージを把握することで、ガイドブックの熱中症対策支援ツールとしての有効性を検証した。

(3) 活動量、温湿度等のモニタリングに基づく熱中症のリスクを評価するシステム

交通行動パターンから熱中症のリスクを評価し、交通行動変容を期待した環境政策の有効性を示す。具体的には、GPSを用いた交通行動データおよび温度・湿度計測装置を用いて、交通行動者の熱中症リスクを定量化する。熱中症リスクの高い交通行動パターンを分析し、交通行動を変更することによる熱中症リスクの低減効果を定量的に検討する。

(4) 避暑ナビゲーションシステム

暑熱による影響を軽減する対策の一つとして、人々が健康で安全に外出する機会の提供が必要である。そこで、ウォーキング時の暑熱軽減のための経路算出手法を提案する。本手法は、「(手法 A) 道路上の日陰量の算出」と「(手法 B) 暑熱リスクを軽減する経路の算出」の 2 つの手法からなる。以下、これらの手法について具体的に説明する。

a) (手法 A) 道路上の日陰量の算出

(後述の) 暑熱リスクを軽減することができる徒歩経路を算出するためには、指定した日時において道路上にどれだけ日陰ができるかを知る必要がある。そこでここでは、その手法を提案する。

道路（枝）上の日陰量を算出するための準備として、ある建物が道路上のある 1 点に陰をつくるための条件を以下のように整理した。

条件 1: 道路上の点から見た建物の方角

条件 2: 「道路上の地点と建物との距離」と「建物の高度」の関係

これらの条件を調べると指定した特定の日に道路上のある 1 点が陰になっているかどうか分かる。

これにより各交差点間を (N+1) 個に均等に分割し、N 個の分割点が陰になっているかどうかを調べることができる。このとき k 個の分割点が陰になっていた場合、当該交差点間の日陰率を k/N と定めることにする。

b) (手法 B) 暑熱リスクを軽減する経路の算出

出発地から目的地まで、できるだけ短い距離、かつ、できるだけ日陰になっている道を歩く経路を求める最適化問題を定式化し、それを最適化ソルバで解くことで、暑熱リスクを軽減する経路を算出する。

ここでは、以下の 2 つの最適化問題を考える。

$\begin{array}{ll} \text{minimize} & \sum_{(i,j) \in E} w_{ij} x_{ij} \\ \text{subject to} & \sum_{(i,v) \in E} x_{iv} = \sum_{(v,j) \in E} x_{vj} \quad (v \in V, v \neq o, d) \\ & \sum_{(o,j) \in E} x_{oj} - \sum_{(j,o) \in E} x_{jo} = 1 \\ & \sum_{(d,j) \in E} x_{dj} - \sum_{(j,d) \in E} x_{jd} = -1 \end{array}$	$\begin{array}{ll} \text{minimize} & \sum_{(i,j) \in E} (w_{ij} - \bar{w}_{ij}) x_{ij} \\ \text{subject to} & \sum_{(i,v) \in E} x_{iv} = \sum_{(v,j) \in E} x_{vj} \quad (v \in V, v \neq o, d) \\ & \sum_{(o,j) \in E} x_{oj} - \sum_{(j,o) \in E} x_{jo} = 1 \\ & \sum_{(d,j) \in E} x_{dj} - \sum_{(j,d) \in E} x_{jd} = -1 \\ & x_{ij} + x_{ji} \leq 1 \quad ((i,j) \in E) \\ & \sum_{(i,j) \in E} \bar{w}_{ij} x_{ij} \leq rL \end{array}$
---	--

最適化問題 1: 最短経路の算出

最適化問題 2: 暑熱リスク軽減経路の算出

V: 交差点の集合, E: 枝 (交差点間) の集合, o: 始点, d: 終点

w_{ij} : 枝 (i, j) の長さ, $\bar{w}_{ij}$: 枝 (i, j) のうち日陰部分の長さ

L: 始点から終点までの最短経路長 (= 最適化問題 1 の最適値), r: L に対する経路長の許容比率

最適化問題 1 では、定めた出発地点から目的地までの最短経路長を算出することができる。また最適化問題 2 では、最適化問題 1 の結果をもとに、出発地点から目的地までの最短の経路より長くなりすぎず、かつ日の当たる道のりを最小にする徒歩経路を算出する。

3.6 大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いた将来気候における脆弱性評価

ST1で構築した熱中症救急搬送予測モデルと、ST2で分析を行った将来気候データd4PDF（5km-SICAT）を用いて将来の熱中症救急搬送数の推計を行う。ここでは対象都市は堺市とする。将来気候データはRCP8.5シナリオで2061～2090年頃を模した2℃上昇シナリオ（d2PDF）と、2081～2110年頃を模した4℃上昇シナリオ（d4PDF）のデータを用いた。本研究では、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）において作成された20kmの領域モデルから過去実験（1981～2010年頃）で12メンバー、2℃上昇実験で6SST×2メンバー、4℃上昇実験で6SST×2メンバーを抽出し、5kmにダウンスケーリングしたd2PDF、d4PDF（5km、SI-CAT）のデータを用いる。本データセットは1時間毎の気温と降水量が格納されている。

4. 結果及び考察

4.1 暑熱に対する脆弱性指標の提案

(1) 従来指標と新指標を用いた結果の比較

本評価指標の特徴の一つは、熱中症に関して自分事として捉えてもらうために、危険度レベルとこれまでに救急搬送された割合の関係を示すことである。そのため、ここでは、DT値と救急搬送数の非超過確率の関係（図-2.5）より考察する。危険度レベル別（注意、警戒、厳重警戒、危険）の救急搬送数の非超過確率は、それぞれ、6%、12%、40%、60%である。

すなわち、「警戒」レベルで、救急搬送数の約9割の方へのアラートを出すことを意味している。また、「危険」と「厳重警戒」の危険度レベルの違いは、「危険」の救急搬送確率は、「厳重警戒」のそれよりも1.5倍高いことを意味する。このように定量的にリスクの大きさ、違いを市民に対して説明することが可能である。また、本手法による判定結果と、従来のWBGTによる判定結果を比較するために、DT値ならびにWBGTの危険度レベルと救急搬送数の非超過確率の関係を図-2.5に示す。図-2.5よりDT値による危険度レベルの判定の方が安全側の結果であり、多くの人に対して早期の注意喚起が可能である。

上記の非超過確率による比較より、DT値が安全側の結果であることを示した。一方で、不要な注意喚起を促している可能性もある。そのため、ここでは、対象期間の全918日のうち、救急搬送数が0人の日数と1人以上の日数を評価指標とし、日最大のDT値とWBGTによる危険度の判定割合の違いを比較評価した（図-2.6）。例えば、救急搬送数が0人の日数で見た場合、「危険」や「厳重警戒」の割合が多いと不要な注意喚起を促しているということになる。一方、1人以上の人数で見た場合、「危険」や「厳重警戒」の割合が多いと適切に注意喚起を促していることになる。

救急搬送数が0人の日数は424日であり、DT値とWBGTによる危険度の判定結果について、「危険」は、それぞれ2%と1%でほとんど差がなく、「厳重警戒」では、それぞれ6%と10%で、わずかにWBGTによる判定の方が大きい。一方、「普通」は、それぞれ39%と19%であった。この結果よりDT値を用いた危険度の判定は、WBGTによる判定と比較して、不要な注意喚起を促していないことが確認できた。

次に、救急搬送数が1人以上の日数は494日であり、DT値とWBGTによる危険度の判定結果について、「危険」「厳重警戒」を併せると、それぞれ65%と66%となり、DT値、WBGTによる判定割合にほとんど差はない。この結果より、DT値を用いた判定は、これまでのWBGTによる判定と比較して、同等の注意喚起は可

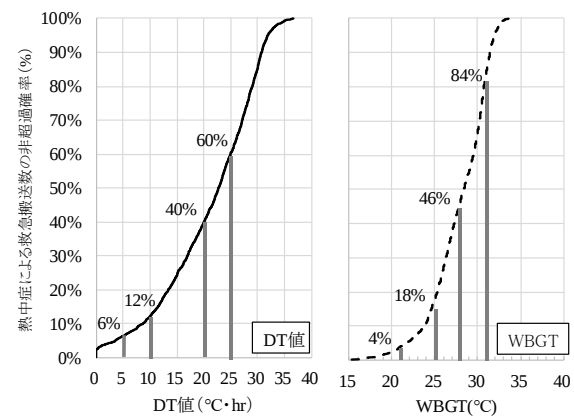


図-2.5 各指標と熱中症による救急搬送数の非超過確率の関係（左：DT値、右：WBGT）

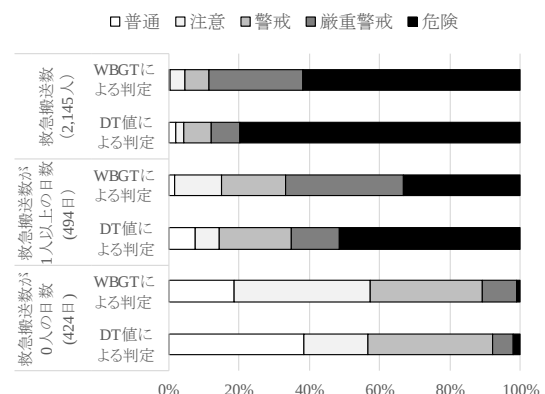


図-2.6 日最大のDT値とWBGTによる危険度の割合

能であり、かつ「危険」と判定される割合は多いことから、より強い注意喚起がなされることになる。

(2) 新指標の活用方法

上記の検証には、実測値のWBGTを用いたが、本指標のインプットデータは、環境省が提供する翌々日までの3時間毎のWBGTの予測値である。本予測値に基づくDT値を算定し、危険度レベルの判定、情報提供を行う。これにより、各地域の特性を考慮した暑熱環境の危険度レベルが表現され、かつ、これまでの知見に基づくWBGTに基づく行動指針と併せて情報を提供することで、市民は、暑熱環境の危険度を理解した上で、適応行動を選択することが可能になる。

4.2 地域的脆弱度評価モデルの構築

(1) 都市機能集積指数と熱中症搬送数の相関分析とクラスター分析による地域特性

各都市の町・字単位での都市機能集積指数を3.1に示した方法によりGISを用いて算定した。その上で、都市機能集積指数と熱中症搬送数の単相関分析を行った。3都市に共通して、都市機能集積指数と住宅ならびに道路からの熱中症搬送数には、正の相関が見られた。一定の相関が認められたことより都市機能集積指数は住宅、道路からの熱中症搬送数の地域特性を説明できる指標と言える。

町・字の地域特性を明らかにするために、都市機能集積指数の3つの構成要素（人口密度・施設利用度・交差点密度）を用いてクラスター分析を実施した。クラスター分析後、各クラスター間における住宅、道路別で熱中症搬送数に差があるかを有意確率5%でt検定を行った。都市機能集積指数の3要素でクラスター分析を行った結果を表-2.3に示す。評価指標の特徴を踏まえ地域特性として5分類を抽出した。

(2) 都市機能集積指数と熱中症搬送数の相関分析とクラスター分析による地域特性

本研究では暑熱障害に対する脆弱度を、都市機能集積指数によるクラスター分析結果をもとに、5分類とする。道路、住宅からの熱中症の搬送数は町・字単位で異なることから、道路、住宅での熱中症の脆弱度を別々で表現し、外出時ならびに在宅時での脆弱性を理解してもらう。そのため、ここでは、地域特性区分毎に、熱中症搬送数の実績値に基づき4区分の脆弱度レベルを設定した。脆弱度レベルについて、第一に、今回入手した熱中症搬送者データで一人も搬送されていない（搬送実績のない）町・字をレベル「極小」とした。第二に、搬送実績のある町・字のうち、熱中症搬送数の多い町・字の上位25%をレベル「高」、下位25%をレベル「小」、その間をレベル「中」と設定した。対象地域における可視化結果の一例として堺市を図-2.7に示す。3都市機能集積指数を構成する3要素でクラスター分析を行い熱中症搬送数との関係性を検討した結果、傾向として、高密度住宅型に属する地域では、熱中症搬送数が多く、都心部型や郊外型に属する地域では、熱中症搬送数が少ないことが明らかとなった。本手法により町・字単位での熱中症の脆弱度を可視化できた。

4.3 熱環境リスクの定量モデルの構築

(1) 樹陰と建物影との対策効果比較

表-2.3 クラスター分析結果と各クラスターの特徴

都市	クラスター	町数	評価指標値				平均搬送数	
			UFA	ZNPD	ZFAC	ZSC	住宅	道路
堺市	高密度住宅型	26	0.59	2.49	0.18	-0.90	7.08	3.81
	低密度住宅型	59	-0.21	0.74	-0.65	-0.73	3.73	2.07
	施設集積型	95	0.00	-0.04	0.27	-0.23	1.72	1.59
	郊外型	64	-0.89	-0.51	-1.33	-0.84	1.00	0.89
	都心部型	105	0.52	-0.69	0.89	1.35	0.51	0.46
神戸市	高密度住宅型	110	0.49	2.09	0.06	-0.68	4.41	1.55
	低密度住宅型	135	-0.35	0.02	-0.78	-0.28	1.10	0.34
	施設集積型	141	0.59	-0.36	1.46	0.67	1.18	0.94
	郊外型	150	-1.12	-0.80	-1.20	-1.35	0.46	0.26
	都心部型	264	0.29	-0.24	0.28	0.84	1.43	0.72
京都市	高密度住宅型	55	0.79	1.22	0.60	0.56	10.89	6.22
	低密度住宅型	61	-0.10	0.15	-0.54	0.09	7.66	5.30
	郊外型	37	-1.62	-1.38	-1.64	-1.84	6.59	3.19
	都心部型	74	0.31	-0.34	0.82	0.43	3.91	4.05

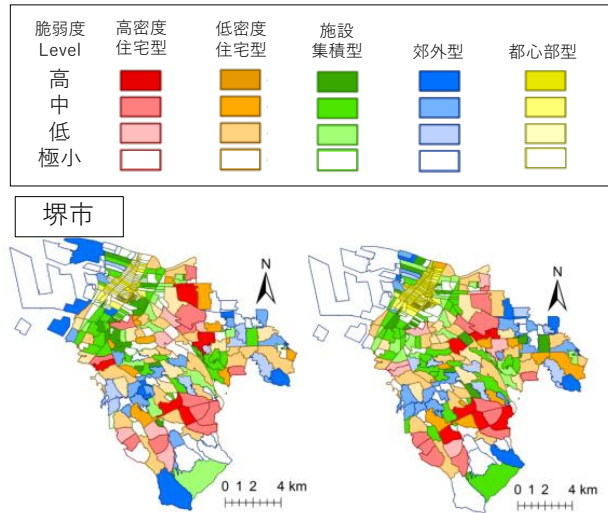


図-2.7 暑熱障害に対する脆弱度の可視化結果

時刻別MRT分布図が対象期間に全744葉が得られた。一例を図-2.8に示す。図-2.8は1日中晴天であった2018年8月4日の最もMRT値が高くなった14時における東遊園地周辺のMRT分布図である。

時刻別MRT分布図を見ると同じ日陰でも樹陰部と建物の影とでは日差しを受けた場所のMRT値との差が異なった。期間の晴天日中14時の場合、樹陰部は約30℃、MRT値が低下したのに対し、建物影ではMRT値低下は約25℃であった。これは樹木葉面の表面温度が建物壁面の表面温度よりも低いため生じた差であると思われる。市街地に緑陰はより効果的に安全空間を担保している状況が読み取れた。

(2) MRT_{hour}による熱中症発症警戒レベル

時刻別MRT分布図を見ると、日射の有無等により時刻別に大きく熱環境が変化する。危険なレベルとその継続時間を併せて評価するため、本研究では建築の冷暖房負荷指標として用いられる度日（ディグリーアワー）に倣い、まず危険レベル閾値を設定し、次に閾値を超過したMRT値の時間積算値

（以下「MRT_{hour}」と表記する）を求めることで、空間の危険評価に用いた。閾値となるMRT値は40℃とした。MRT値は1メートル分解能であるが、ここではある程度の広がりを持ったエリア別に空間評価するため空間単位は25メートルメッシュとし、メッシュ内の時刻別MRT平均値により評価を行った。

図-2.8に屋外熱中症搬送発生度数と上記で求めた搬送地点MRT_{hour}との関係を示す。横軸は解析期間内で積算して得られたMRT_{hour}の値である。上記結果より本研究では空間別の熱中症発症警戒レベルを以下のとおりとした。期間内1250℃・hour以下では搬送者は見られなかった。1250℃・hour以上で搬送者が現れ始め、このレベルを「注意（緑色）」とした。2000℃・hour以上となると搬送者の累計が約50%となることから「警戒（黄色）」、2750℃・hour以上では搬送者の累計が約80%となるため「危険（赤色）」とした。一方、3500℃・hour以上となるのはグラウンドや広場、突堤等であった。後述する人流データを用いた滞在者数調査では滞在者密度が低いエリアであった。また3500℃・hour以上は中心市街地では出現事例が少なく、ここでの色分けでは灰色としている。

(3) 熱中症発症警戒レベルの高い地点の抽出

図-2.10に対象エリアのMRT_{hour}分布図を示す。図中 JR三ノ宮駅西口・阪急神戸三宮駅東口南側歩行者溜りでMRT_{hour}が3000~3500℃・hourと、厳しい暑熱環境であることが分かる。このほか日射があたりやすいと思われる建物の南側（道路北側）や低層住宅地内の街路などで熱中症の危険性が高くなる傾向がみられた。一方、熱中症発症警戒レベルが高くなった場所同等の条件下でも図中上側東西道路（国道道路）などのように、街路樹近傍でMRT_{hour}値が低いエリアも見られた。これなどより熱中症発症警戒レベルの高い地点には、街路樹などの適正配置によってMRT値を低減できる可能性が示唆された。図中、東遊園地や生田神社社寺林のように樹木密度がある程度確保された空間はMRT_{hour}が1000℃・hour以下であった。面的に樹木が配置された空間は、街路樹のような線形植栽空間よりも大きな低減効果を持つクールスポットとなっていることが伺えた。

(4) 暑熱環境リスクの評価結果

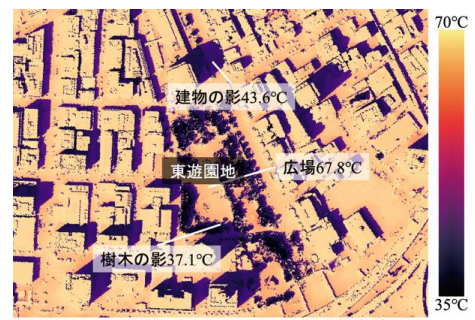


図-2.8 作成した時刻別MRTの一例

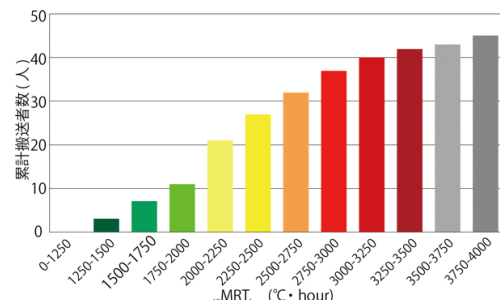


図-2.9 搬送地点のMRT_{hour}と累計搬送者数

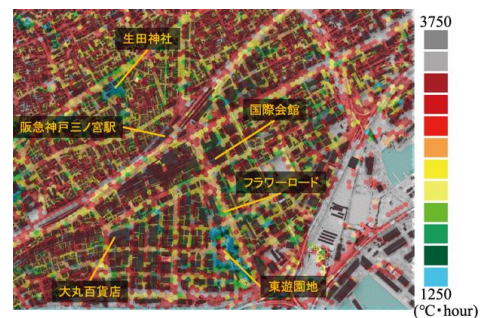


図-2.10 MRT_{hour}分布図

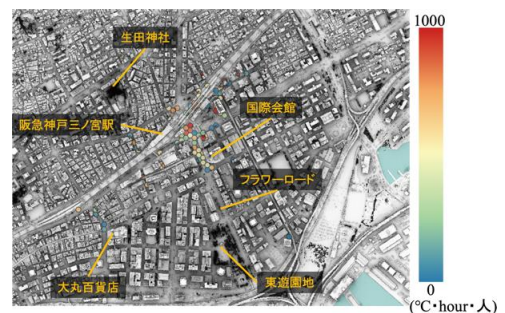


図-2.11 暑熱環境のリスク評価結果

市街地における暑熱対策は空間毎に効果的な対策を選択・実施する必要がある。熱中症発症警戒レベルの高い地点抽出に加えて、利用者・滞在者の多い地点の抽出と重ね合わせにより暑熱環境のリスク評価を行う。本研究では利用・滞在者数についてモバイル空間データによる位置情報を用いた日別・時刻別歩行者数情報の利用を試みた。ここではそのエリアに歩行者延べ人数にMRT_{hour}値を乗じるなどして求めた数値を算出し、危険区域とした。ここではMRT_{hour}が高く、延べ歩行者数がおおよそエリア内上位3%である100人以上の地点を考察の対象とした。なお駅ホーム上などは除外している。結果を図-2.11に示す。この結果、次のような地点が抽出された。

- (1) JR三ノ宮駅西口・阪急神戸三宮駅東口南側の交通センタービル前交差点
- (2) 三宮駅北側交差点
- (3) 三宮駅前神戸阪急百貨店・国際会館西側歩道
- (4) 元町地区の大丸神戸店北西側歩道

天空が開けた公園内やグラウンド内では、非常に厳しい暑熱環境となっている場所も多かったが、日別・時刻別歩行者数は概ね少なく、早急に対策が急がれる地点はなかった。クールスポットとなっていた東遊園地や生田神社寺林も日別・時刻別歩行者数は少なく、4.6で示すような適応インフラなどを活用しつつ、クールスポットとしての有効な活用策が必要と考えられる。

4.4 熱中症予防のための対策行動の因果モデルの構築による行動変容支援のために必要な要件の抽出

4つの行動分野における熱中症対策行動の実施を構成概念として熱中症対策行動因果仮説モデルを作成した。熱中症対策行動についてSEMによる共分散構造分析を行った結果を図-2.12に示す。潜在変数間の共分散の矢印や誤差変数、攪乱変数などは図-2.12では省略した。ここでは紙面の都合上、屋内上位行動における共分散構造分析結果のみを示すが、各分野における行動の実施へのパス係数並びに熱中症に対する態度へのパス係数についてまとめたものを表-2.4、2.5に示す。

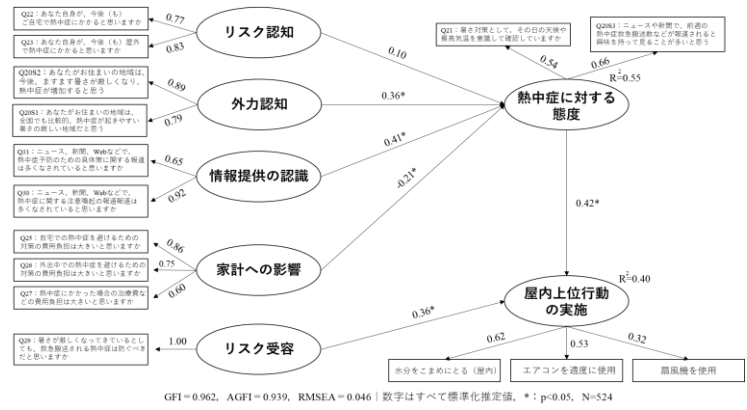


図-2.12 熱中症対策行動因果モデル分析結果（屋内上位行動）

表-2.4 熱中症に対する態度へのパス係数一覧

行動分野	家計への影響	情報提供の認識	外力認知	リスク認知
屋内上位行動	-0.21*	0.41*	0.36*	0.10
屋内下位行動	-0.22*	0.41*	0.35*	0.13
屋外上位行動	-0.19*	0.42*	0.33*	0.13
屋外下位行動	-0.22*	0.40*	0.31*	0.14*

*: p<0.05

表-2.5 熱中症対策行動の実施へのパス係数一覧

行動分野	リスク受容	家計への影響	情報提供の認識	外力認知	リスク認知	熱中症に対する態度
屋内上位行動	0.36*	-0.09*	0.17*	0.15*	0.04	0.42*
屋内下位行動	0.55	-0.15*	0.29*	0.25*	0.09	0.70*
屋外上位行動	0.42*	-0.07*	0.16*	0.13*	0.05	0.38*
屋外下位行動	0.12	-0.13*	0.23*	0.18*	0.08*	0.58*

*: p<0.05

パス係数から判断して（表-2.5）、屋外上位行動を除けば、行動の実施に最も大きな影響を及ぼしたのは、熱中症に対する態度であり、次にリスク受容であった。屋外上位行動では、リスク受容（ $\beta=0.42$ ）の方が熱中症に対する態度（ $\beta=0.38$ ）よりやや影響が大きい。また、いずれの行動分野においても家計への影響は行動の実施に直接有意な影響を及ぼさなかった。

次に、熱中症に対する態度（表-2.4）には、いずれの行動分野においても情報提供の認識が最も大きく影響しており、次に外力認知、家計への影響であった。リスク認知は、屋外下位行動を除き、熱中症に対する態度に有意な影響を及ぼさなかった。なお、いずれの行動分野のモデルも、適合度は、GFI=0.956～0.964、AGFI=0.929～0.941、RMSEA=0.044～0.051となり、構築モデルはデータに適合した。

高齢者、若者群（65歳以上、未満の2群）毎の因果モデルも構築した（紙面の都合、結果は省略）と

ころ、熱中症対策行動の規定因は行動分野ごとに異なっていること、ならびに、熱中症に対する態度を規定する規定因は年齢群ごとに異なっていることを明らかにした。そのため、熱中症対策として、まずは、態度向上のために年齢群ごとにアプローチを検討することが重要である。また、若者群に対しては態度向上だけでなく、リスク受容として、暑さが厳しくなっている環境変化と救急搬送されない対策に関する啓発が効果的である。

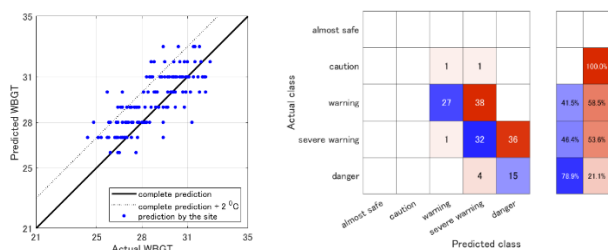
4.5 行動変容支援のアルゴリズムとツールの構築

(1) WBGTの予測方法

構築した予測モデルに基づき、2020年8月の暑さ指数の将来予測を行う。毎日18時の時点で翌日9/12/15/18/21時における暑さ指数を予測した結果を図-2.13(a)、図-2.14(a)に示す。予測の暑さ指数をもとに、判定された危険度レベルの判定結果に対する混同行列（学習モデルの性能を測る指標の一つ）をそれぞれ図-2.13(b)と図-2.14(b)に示す。ここで、行は真の危険度レベルに対応し、列は予測された危険度レベルに対応する。対角線上のセルにある数字は正しく分類されたデータ数であり、その合計が大きい方が高精度で分類可能であると判断する。右側の2列は、各危険度レベルについて、正しく分類された観測データ数と誤って分類された観測データ数の割合（再現率）を表す。

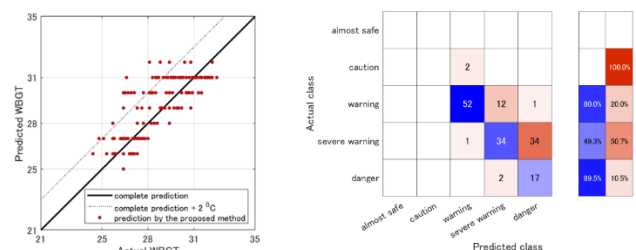
図-2.13(a)と図-2.14(a)から、現行方式の熱中症予防情報サイトと提案方式の両方における暑さ指数は、熱中症予防のため、実測値よりも高めの予測になっていることがわかる。近似精度を表すRMSE (root mean squared error ; 二乗平均平方根誤差) は、提案法では1.34であり、現行方式の1.48に対し、同程度以上の精度で予測が可能であると判断する。さらに、暑さ指数が28℃以上の場合、現行方式による予測と比べ、提案方式による予測の方が、予測精度がよいことがわかる。

一方、提案方式の予測精度に基づいた危険度レベルの判定結果図-2.14(b)からは、現行方式の結果図-2.13(b)に比べ、正解率および各危険度レベルに対する再現率も高いことがわかる。特に、危険度レベルが厳重警戒と危険の場合に対する再現率は80%以上であり、本研究で得られた成果は、熱中症予防の取り組みに寄与できると期待する。



(a) 暑さ指数の予測 精度RMSE=1.48 (b) 危険度レベルに対する 分類精度 (正解率=48%)

図-2.13 熱中症予防情報サイトからの予測結果



(a) 暑さ指数の予測 精度(RMSE=1.34) (b) 危険度レベルに対する 分類精度 (正解率=66%)

図-2.14 今回の検証による予測結果

(2) 熱中症対策ガイドブックの開発

対象者における調査開始時および終了時のステージ分布、ステージ変容結果について図-2.15に示す。調査開始時に熱中症対策行動の習慣化（ステージ5）されていた人は15名（55.6%）であった。調査終了時では24名（88.9%）が熱中症対策行動を実施しており、20名（74.1%）の行動の習慣化が確認できた。また、アンケートの結果から、本調査を経て「エアコンを適度に使用」「室内温度の確認」において有意な行動変容効果が確認された。このことから本ガイドブックは熱中症対策行動の中でも、屋内における比較的行いやすい行動に対して効果があると考えられる。

(3) 活動量、温湿度等のモニタリングに基づく熱中症のリスクを評価するシステム

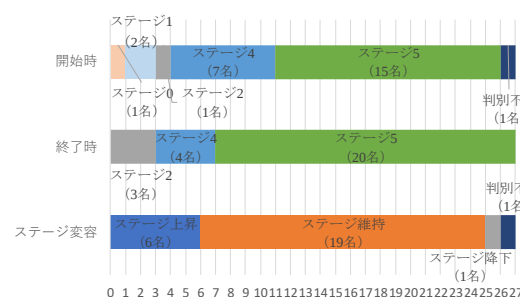


図-2.15 対象者のステージ変容 (N=27)

調査対象とした全調査期間について、歩行時の熱ストレスリスクを検討する。図-2.16に、時間帯別の歩行時間をWBGTのランク別（注意・警戒・厳重警戒・危険）に示す。グラフに、豊中市の調査期間内の時刻別の平均気温を併記している。本図より、12時台・15時台・18時台・17時台の歩行時間が長いことが分かる。また、「危険」判定の歩行は8時台・11時台～12時台、「厳重警戒」判定の歩行は、8時台・10時台・17時台～18時台に多い。特に、気温が高い13時台では歩行時間は多くないが、危険判定の割合は最大である(17%)。一方、帰宅トリップが多い17時台・18時台では、危険判定の割合は7%・2%であり、比較的少数となっている。

つぎに、熱中症リスクが高い歩行場所を検討する。図-2.17に、「厳重警戒」「危険」判定の歩行経路を示す。本図より、鉄道駅周辺において、危険判定の徒歩移動が多いことが分かる。特に、豊中市役所が位置する阪急・曽根駅～豊中駅周辺の地域で多くみられる。また、厳重警戒判定の移動場所は、危険判定の場所と比較して広域的に分布している。このような調査を広域的に実施し、危険判定が多い徒歩移動場所のパターンを見つけていくと、コンビニエンスストアなどの冷房が完備しており気軽に立ち寄れる場所の整備・誘致など、歩行環境整備場所の優先順位が決定できると考えられる。

(4) 避暑ナビゲーションシステム

本研究では、大阪府吹田市 江坂・豊津地区の 700m 四方の範囲を対象として実験を行った（図-2.18）。対象エリアの建物データは、国土地理院提供のレーザ・プロファイラデータから 50cm 解像度の DSM (Digital Surface Model), DEM (Digital Elevation Model) を作成し、これを建物ポリゴンデータに付与して生成した。対象地域内に指定した始点・終点間の最短距離は 1145.0(m) であった（図-2.19）。これに対し、 $r=1.10, 1.20$ とした場合、すなわち経路長の上限を 1145.0×1.10 (m), 1145.0×1.20 (m) とした場合の、日の当たる道のりをなるべく最小化した経路が図-2.20 である。図-2.20に示すように、各時刻において、経路長の上限範囲内で、日の当たる経路をなるべく最小化した経路を得ることができた。許容比率を大きくすることで日の当たる経路長は減少し、夕方は太陽の高度が低くなるため減少量が大きくなる。

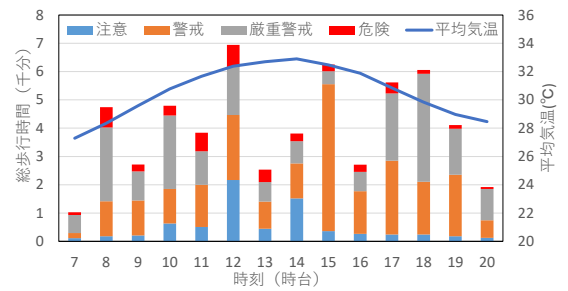


図-2.16 時刻別・WBGTランク別の歩行時間

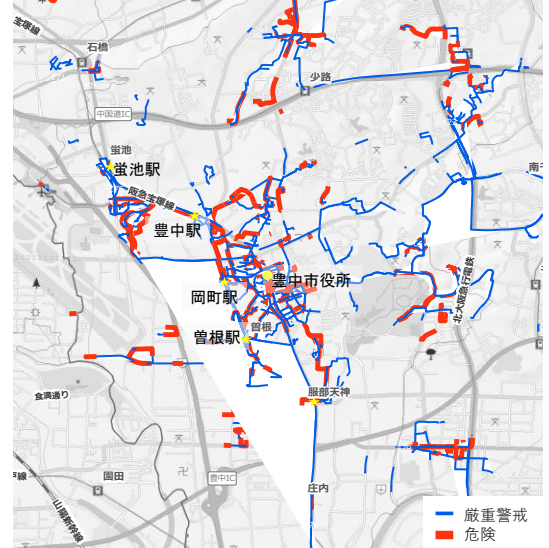


図-2.17 WBGT指標値が高い徒歩移動パターン

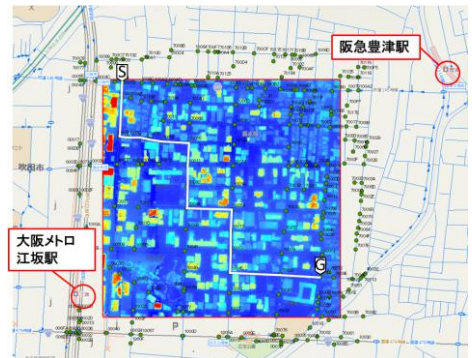


図-2.18 実験対象地域

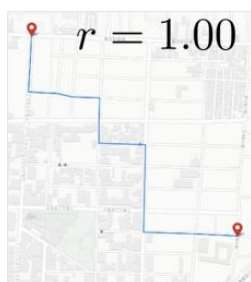


図-2.19 最短経路

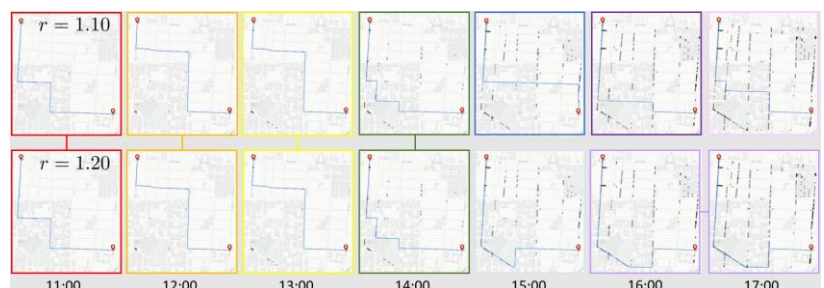


図-2.20 日の当たる経路をなるべく最小化した経路

4.6 大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いた将来気候における脆弱性評価

地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース「d4PDF」のアンサンブルデータである過去実験（以下、HPB）、2℃上昇実験（以下、HFB2K）、4℃上昇実験（以下、HFB4K）のデータをインプット（外力）データとし、（2）で構築した熱中症救急搬送モデルを用いて中等症以上の熱中症搬送数の推計を行った。ここでは、リスクの増大量を把握するために、将来における人口や高齢化率、土地利用は同一という条件にて実施した。

推計結果を図-2.21に示す。HPB、HFB2K、HFB4Kのいずれも12メンバー×30年間のアンサンブルデータである。図-2.21は各メンバーの30年間の平均値を棒グラフで示したものである。HPB、HFB2K、HFB4Kの12メンバーの平均値を算定した結果、それぞれ38.2人、64.9人、147.8人となった。2℃上昇で約1.7倍、4℃上昇で約3.9倍に増大することが示された。また、HPB、HFB2K、HFB4Kの12メンバーの標準偏差を求めたところ、それぞれ±1.2人、4.5人、26.8人であった。4℃上昇時の結果は、不確実性の幅が広いことがわかる。現在、温暖化による平均気温の上昇について、2℃未満、できれば1.5℃未満を目標に脱炭素化を促進している。今回の中等症以上の熱中症搬送数の推計結果から見ても、4℃上昇による影響は極めて大きく、温暖化対策の着実な推進による2℃未満の目標達成と、それでも現状よりは増加する熱中症発症数に対しての適応策の検討が必要である。

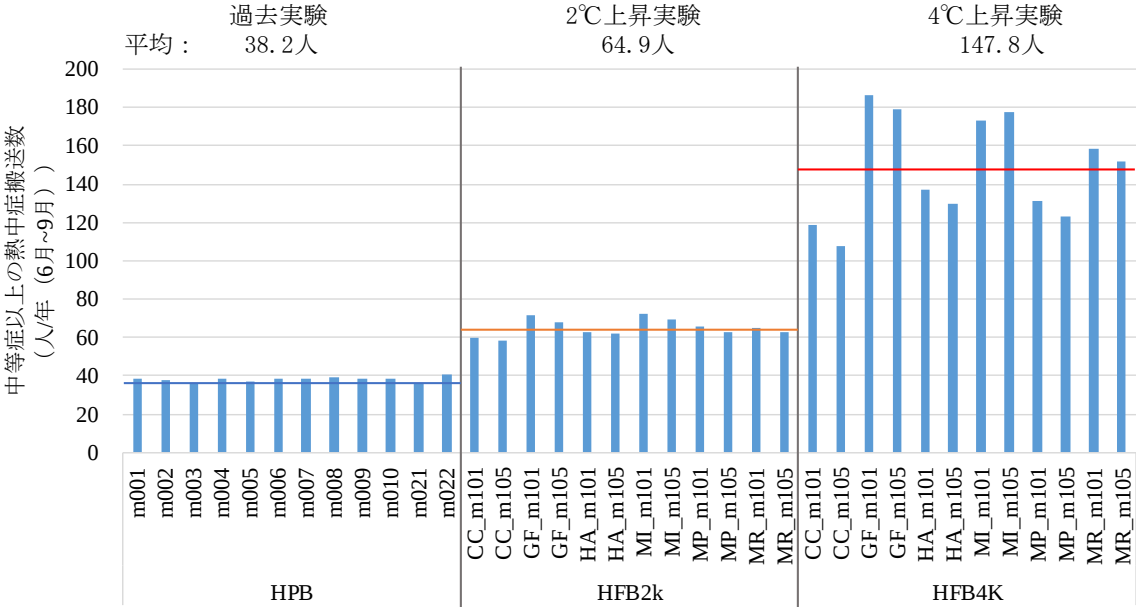


図-2.21 将来気候下における熱中症救急搬送数の推計結果

5. 研究目標の達成状況

(1)これまでの熱中症予防に用いられていた指標（WBGT）をベースとしつつ、影響時間を考慮した暑熱に対する脆弱性指標（DT値）を定義し、WBGTによる判定と比較して、不要な注意喚起は促しておらず、かつ、これまでのWBGTによる判定と比較して、同等の注意喚起が可能であり、より多くの人に強いレベルの注意喚起がなされることを確認した（引用文献⁹⁾）。(2)熱中症搬送データ等と相関する地域条件より、熱中症の脆弱度の評価モデルの構築と可視化方法を提案し、神戸市、京都市、堺市に適用し、その有用性を示した（引用文献¹⁰⁾、土木学会 環境システム優秀論文賞）。(3) (1)の概念を空間に落とし込みかつへりによる熱画像計測などの結果も考慮し、MRTの累積時間と人流データの関係から暑熱環境リスクの定量モデルを構築した（引用文献¹¹⁾）。ただし、SNSデータも加えたリアルタイム予測についても検討を試みたが、SNSデータについて暑さに関する情報が十分得られなかったため、その点はモデルに組み込むことができなかった。(4)アンケート調査に基づき、熱中症予防のための熱中症対

策行動因果モデルを構築し、行動変容支援のために必要な要件を抽出し、年齢別のアプローチについて示唆を得た（引用文献¹²⁾）。(5)行動変容支援ツールとして機会学習によるWBGTの予測システムの構築ならびに多理論統合モデルに基づく市民向けの熱中症対策ガイドブックを開発した。また、熱中症リスクを軽減するための温湿度などのモニタリングに基づくリスク評価システムの開発（引用文献¹³⁾）ならびに避暑ナビゲーションシステムを開発した。(6)ST1で構築した高精度の熱中症予測モデルと、ST2で分析した大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用いて、将来気候における暑熱に対する脆弱性評価を実施した（今後、査読付き論文に投稿予定）。

以上のように、サブテーマ2では、当初の研究目標を達成し、その成果を査読付き論文として公表している。そのため当初の目標は概ね達成されたと評価している。

6. 引用文献

- 1) 環境省熱中症予防情報サイト：https://www.wbgt.env.go.jp/heatillness_rma.php、閲覧日：2020.4
- 2) 日本体育協会：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック（初版）、1994.
- 3) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針Ver.3、2013
- 4) 中谷友樹、前田一馬、永田彰平：地理情報システムを用いたウォーカビリティ指数の作成に関するノート、生田真人教授退職記念論集、pp.60-74、2018
- 5) Lindberg F, Grimmond CSB, Gabey A, Huang B, Kent CW, Sun T, Theeuwes N, Järvi L, Ward H, Capel-Timms I, Chang YY, Jonsson P, Krave N, Liu D, Meyer D, Olofson F, Tan JG, Wästberg D, Xue L, Zhang Z 「Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) - An integrated tool for city-based climate services. Environmental Modelling and Software」 99, 70-87, 2018
- 6) 兵庫県企画県民部科学情報局情報企画課高度情報化班：兵庫県全域高精度3次元データ（2020）
- 7) 広瀬幸雄：環境配慮的行動の規定因について、社会心理学研究, Vol. 10, No. 1, pp. 44-55, 1994.
- 8) 前田洋枝、広瀬幸雄、河合智也：廃棄物発生抑制行動の心理学的規定因、環境科学会誌 25 (2)、pp. 87-94、2012.
- 9) 尾崎平、北詰恵一、西村邦宏、盛岡通：熱中症の救急搬送データに基づく危険度評価手法の検討、土木学会論文集G（環境）、Vol. 76、No. 5、pp. I_451-I_459、2020. 9
- 10) 尾崎平、沓澤篤樹、郭敏娜、北詰恵一、西村邦宏、盛岡通：熱中症搬送者データと都市機能集積指数に基づく都市域の暑熱障害に対する脆弱性評価－堺市・神戸市・京都市を対象として－、土木学会論文集G（環境）、Vol. 76、No. 6、pp. II_209-218、2020.10
- 11) 湊太雅、宮崎 ひろ志、尾崎平、北詰 恵一：神戸市熱中症搬送者データに基づく市街地における熱中症発症危険地区の抽出－時間積算平均放射温度による市街地熱中症発症危険レベル推定手法の提案－、都市計画学会、Vol. 56、pp. 1488-1492、2021. 11
- 12) 尾崎平、阪上勇登、北詰恵一：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、pp. II_139-II_148、2021. 10
- 13) 井ノ口弘昭、秋山孝正：交通行動に着目した熱中症リスク評価に関する研究、土木学会論文集G（環境）、Vol. 77、No. 6、II_131-II_137、2021. 10

Ⅱ－３ 健康と環境の持続可能な地域共創拠点形成政策

関西大学

環境都市工学部 教授

北詰 恵一

経済学部 教授

本西 泰三

政策創造学部 教授

石田 成則

先端科学技術推進機構 PD

郭 敏娜

〔要旨〕

サブテーマ3は、適応行動を支える社会基盤のための企業の技術および自治体の政策を開発する新たなプロセス、およびセルフケア行動変容のために市民自らその開発プロセスに参加するしくみとして、アライアンス型のオープンイノベーション方式による持続可能な地域共創拠点（リビングラボ）の形成と実装を行うことを目的とした。まず、健康まちづくりの進む北大阪健康医療都市（以下健都）に拠点を置く「関大リビングラボ」を実際に設立・運営し、特に課題化プロセスを担う「共創カフェ」を21回開催し、健康と環境に関わる価値創造の手法に関わる知見を、実際の地域プロジェクトへの適用に関する議論と並行して蓄積した。さらに、国内外のリビングラボに関する先進事例およびネットワークの知見から、効果的な価値創造を促す評価モデルを含むプロセスモデルを構築し、実際の地域共創拠点におけるワークショップに適用して、その妥当性を明らかにした。最後に、「市民ができる夏の暑さ対策」と題した地域共創拠点を実践し、市民自身が考える将来の姿をもとに、環境と健康の好循環のための、セルフケアとして自身でできること、外出時のコモン空間への要件、社会インパクトを踏まえた制度への示唆などを明らかにした。本研究のアウトプットである「適応政策プラットフォーム」で明示された暑熱環境に刺激され、「熱中症予防ガイド」に基づき向上した適応意識により、「行動支援ツール」で支援された行動変容が、「暑熱環境軽減技術」として作成されたコモンインフラへの示唆や社会システムの変更意向などに繋がっていく過程を明らかにした。

1. 研究開発目的

高齢化社会に対応する予防的健康行動・セルフケア行動変容と悪化する暑熱環境に賢く対応する適応行動を支える社会基盤が互いに好循環の関係を持続的に持ち続けるしくみを構築する必要がある。そのためには、将来の暑熱環境の高い精度での予測と、それに基づいて詳細な地域単位で暑熱脆弱度およびリスクを市民に明示することが望まれるが、それだけでなく、適応行動を支える社会基盤のための企業の技術および自治体の政策を開発する新たなプロセス、およびセルフケア行動変容のために市民自らその開発プロセスに参加するしくみが必要となる。そのために、個々の企業・自治体内の閉じた範囲での限られたノウハウによるものではなく、産官学民が情報を交換し合うことで互いに制約となっていた壁を超える新しい開発のしくみを構築し、同時に、行動変容が期待される市民が、差し迫る暑熱環境の悪化に対して自身の健康を維持しつつ適応するための潜在的なニーズに気づきながら、共に開発に参画できるものとしていく。ヨーロッパで実践が進むリビングラボは、利用者・市民主導の技術・政策開発のしくみであり、本研究では、それを日本の地域に立脚し価値を与えるものとして「地域共創拠点」と呼ぶこととし、地域共創拠点を設立し、健康と環境の好循環を実現する技術・政策開発の道筋をつけていくこととしたい。

すなわち、本研究開発は、アライアンス型のオープンイノベーション方式による持続可能な地域共創拠点（リビングラボ）の形成と実装を行うことを目的とする。その目的の達成のため、それぞれST1とST2の成果と双方向でやり取りしながら進めていくこととする。

2. 研究目標

熱中症発生と関連づけられた寄与要因を踏まえ、セルフケアの予防的行動変容の実効性を確認し、コモンの備えとして共有していくための地域制度づくりや社会インパクトに繋がる要因もテーマとして取

り入れた地域共創拠点を実際に設立・運営する。European Network of Living Labs（以下ENoLL）や国内先進事例・文献をもとに、効果的に価値創造を促すプロセスモデルを構築する。ST1、ST2の成果をもとに、介入政策を考える上で重要となる熱中症予防ガイド、個人向けの行動変容支援ツール、政策・意思決定者向けの適応政策プラットフォーム、暑熱環境軽減技術に求められる要件について、地域共創拠点においてワークショップなどを通じて実践する。

3. 研究開発内容

サブテーマ1、2、3共通のアウトプットは、「熱中症予防ガイド」、「適応政策プラットフォーム」、「行動変容支援ツール」、「暑熱環境軽減技術」の4つであり、サブテーマ3における地域共創拠点もこれらに向けた研究開発を行う。

(1) 施策の社会実装のための地域共創拠点と仕組みづくり

健康と環境に関わる政策は、共に行動変容と新しい社会システムを必要とする点で共通しており、そこに着目して好循環の政策を考える。行動変容を求める市民を中心に据えつつ、それを支える社会システムの革新が求められるため、世界的な地域共創拠点のネットワークであるENoLLが「市民・生活者を中心に据え、企業、地方自治体、大学・研究機関等が共創することで、商品・サービスの開発・改善や地域課題の解決に向けた取組みを行うオープンイノベーションのエコシステム」と定義する地域共創拠点が有効である¹⁾。本研究では、実際に、この地域共創拠点を設立・運営し、有効な価値創造に繋がる仕組みづくりを行う。このうち、特に参加者が課題を持ち寄り議論する「共創カフェ」を運用し、産官学民の参画を得て、幅広いテーマから課題を抽出する。

(2) 地域共創拠点における共創の方法論の開発

環境と健康の好循環を実現するアクティビティデザインとしての地域共創拠点での共創のプロセスを方法論として確立する。具体的には、次のようなステップで行った。

- ① ENoLLのラーニングプログラム、国内外リビングラボネットワークからの知見の整理
- ② 効果的な共創のためのファシリテーターの要件とマニュアルの作成
- ③ 課題化段階における共創プロセスモデルの開発
- ④ 共創の観点からみたワークショップ評価モデルの開発
- ⑤ 方法論の普及のための方向性

これらの方法論を、地域共創拠点で実際に行われたワークショップでの議論に適用し、その妥当性を検証した。

(3) 適応メニュー評価のための地域共創拠点での実践的検証

建物内外における暑熱への適応メニューを考えるため、取り組みの代表例として「市民ができる夏の暑さ対策」をテーマとし、大阪府豊中市のNP0法人である「とよなか市民環境会議アジェンダ21」の協力を得て、共創のためのプロセスを導入したワークショップを実施した。特に、ワークショップ進行の過程で内容に即した分析情報を投入したり、円滑な価値創造プロセスのためのワークシートをもとに議論してもらったりするなどの方法論を適用した。そして、議論内容をテキスト分析し、その意図がどの程度効果を発揮したかを検証した。また、広範囲な都市に対するwebアンケートと対象自治体でのアンケートデータの情報提供を行い、取り組みの広域展開や時間継続のあり方などに繋げる工夫をした。また、暑熱環境の悪化への適用行動が及ぼす社会インパクトとして、熱中症リスクを踏まえた社会システムへの変更意向を確認した。

また、気候変動により激化する暑熱環境に対して、都市のオープンスペースを対象とした脱炭素型で暑熱対策となる新たな納涼空間、人々の憩いの場、賑わいの拠点なる暑熱環境軽減技術の開発が望まれる。そこで、地域共創拠点活動の一環として、大学、企業、市民（NP0）の連携によるコモンの備えとし

での暑熱環境軽減技術の開発を進めた。今回提案する適応インフラは、御堂筋や銀座のホコ天、札幌大通りなどのストリート、あるいは公園などの都市のオープンスペースに適用・普及展開や2025年の大阪万博なども見越した想定を行い、①都市の納涼・避暑空間としての役割、②ひとが集まる集いの場・憩いの場として賑わい空間の役割、③本研究で開発した熱中症予防ガイドや環境省が示す熱中症予防サイトなどの情報発信の場としての役割、などの相乗的な機能を想定して開発計画を立案した。その開発プロセスは、まず、本装置の開発は多くの提案からよりよいものを構築することを意図してコンペ形式で実施した。コンペは2021年1月18日～3月15日とし、実装部門、未来部門を設定し、それぞれ、29件、22件の応募があった。なお、実装部門では、主たる素材に木材を活用することを条件とした。次に、審査会を実施した。審査会は、第三者の有識者5名により3月末に開催し、最優秀作品を決定した。その後、数ヶ月にわたり提案者らと協議を重ね、最優秀作品の具現化を図った(図-3.1、スマートアンブレラ事業と命名し、取り組み、装置の略称をSUと表記する)。暑熱環境軽減施設の開発にあたって脱炭素型であることに重きを置き、資材のほとんどに木材を用いた。主部材は支柱となる木材と上部を覆う膜素材で構成されている。本装置を用いて図-3.2に示すように温熱環境測定実験と被験者実験の2つを8月28日～9月1日、9月5日～9月7日の9時～17時に実施した。



図-3.1 開発した暑熱環境軽減装置

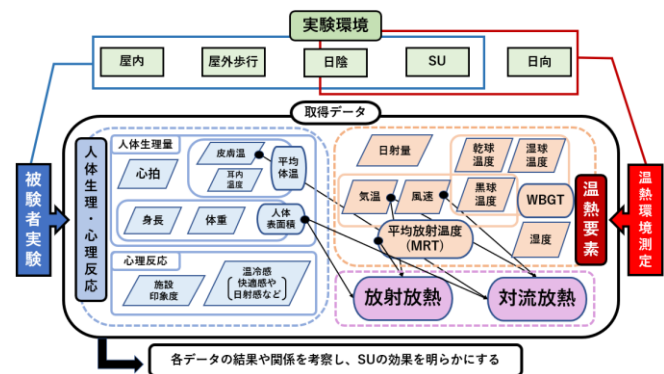


図-3.2 開発した装置の暑熱環境軽減効果を評価するための計測項目・枠組み

4. 結果及び考察

(1) 施策の社会実装のための地域共創拠点と仕組みづくり

本研究の主たるフィールドとする北大阪健康医療都市（以下健都）は、大阪府吹田市と摂津市に跨る約23haの土地を敷地とするまちづくり事業である。この地で展開予定である「健都ウェルビーイング・リビングラボ」の前身組織である「関西大学リビングラボ」を2019年7月に設立した。健康と環境の好循環を扱うために、企業・経済団体、金融機関、両地方自治体、両市の市民・NPO法人、健都に立地する医療および食・栄養などに関わる研究機関、そして国立循環器病研究センターと関西大学が関わる産官学民による活動を開始した。この地域共創拠点は、課題→実証→開発・評価→フィードバックのプロセスを意識し、参加者が課題を持ち込み議論する「共創カフェ」、市民主導で実証事業を行う「ヘルスケア倶楽部」、具体的なプロジェクトチームによる商品・政策の開発・評価を行う「未来デザイン工房」によって構成した。特に、「共創カフェ」は、図-3.3に示すように、2019年度に5回、2020年度に8回、2021年度に8回の計21回実施し。毎回、10～30人程度の参加を得た。共創カフェは、プロジェクト化を目指した問題点を持ち寄る企業や市民団体あるいは価値創造の好事例の実践者や手法を持つ主体が30分前後話題提供し、その後、ファシリテーターが議論を進める形式で行った。トータル時間は1時間半から2時間である。ファシリテーターは、関西大学リビングラボ代表が務めた。図中、開催日とテーマを記載するとともに、話題提供者を産官学民に分類している。各回は、大きく2つの流れを構成しており、ひとつは価値創造の手法やヒントについてであり、もうひとつは具体的な課題や具体的なプロジェクトについてである。3年間の期間の中で、節目となる時期に、産官学民の代表者による議論、参加者からの集中的な問題提起、共創への意識付けのための情報提供の会を設定するとともに、知見が蓄積したところで、環境と健康の好循環に関するテーマや社会インパクトに繋がるテーマを設定して、より価値の創造に資する内容としていった。

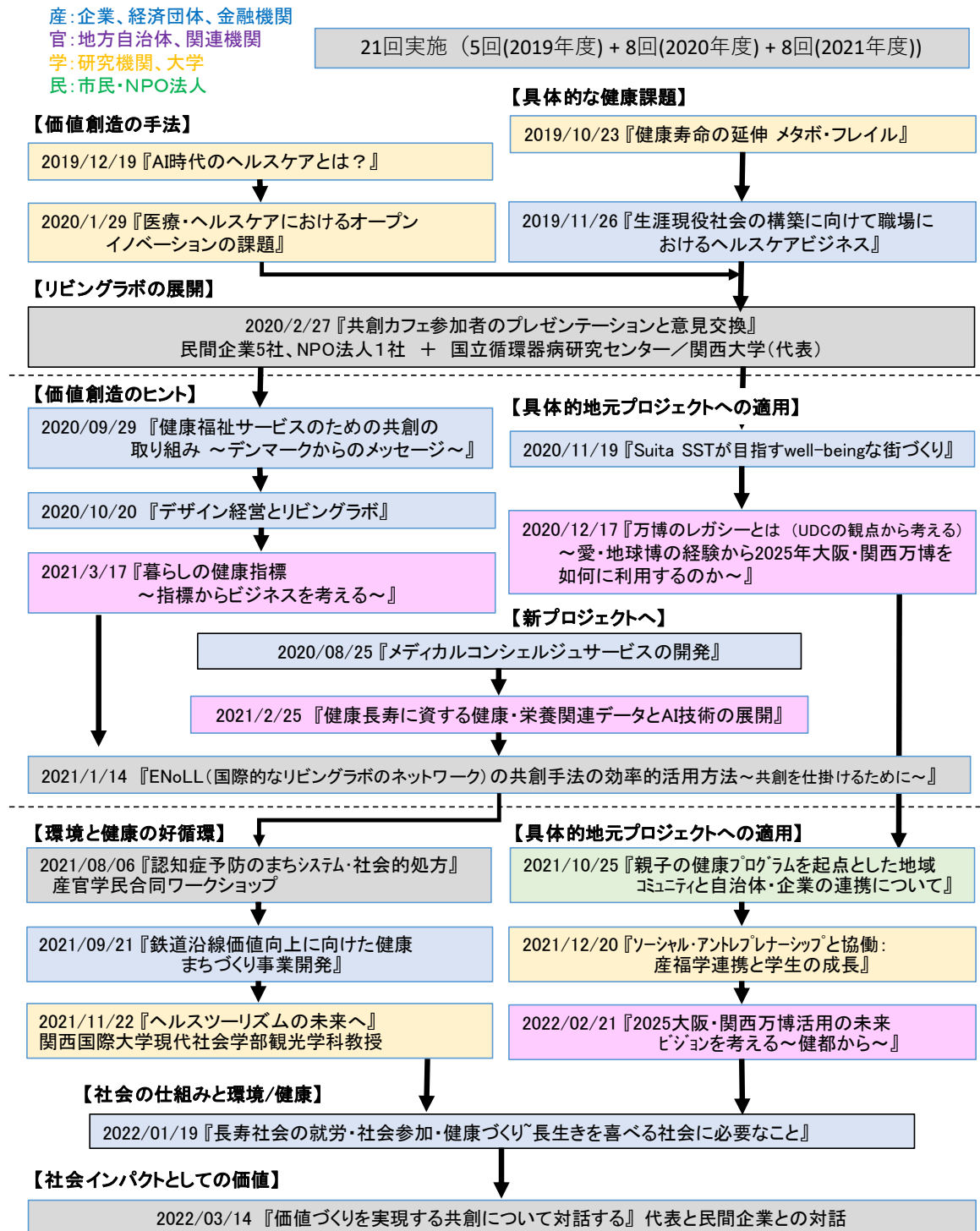


図-3.3 「関西大学リビングラボ」共創カフェの実施概要

これにより、次のような結果が得られた。

【地域共創拠点の課題設定段階「共創カフェ」機能の実践モデルの提供】

- ① テーマ（健康と環境の好循環）の社会環境に焦点を当てる議論を可能とした
- ② 参加者にとってのステークホルダーとしての意識の醸成を促進した
- ③ 実現性への懸念情報を提供した
- ④ イノベーションが目標であることを明確とした。より具体的には、社会的処方、鉄道沿線価値、ヘルスツーリズムなどの価値創造の多様な手法を紹介し、各ステークホルダー自身の関心を得るとともに、取り組みへのヒントとすることができた。
- ⑤ 摂津市におけるNPO活動、学生による産福学連携、大阪・関西万博などの具体的なプロジェクト

を紹介し、参加者の関心に繋げることができた。

- ⑥ 自分の抱えている課題をリビングラボで解決するためのプロジェクト化のため、新プロジェクトへの誘いを行った。

【参加者自身の確認の重要性の確認（事後アンケート）】

- ① 「得たものは何ですか」、「共創を図りたいテーマ、課題は何ですか」という問いを投げかけ、知識・情報の確認、自分のテーマとの関連づけ、価値創造につなげる思考を促した。実際に、2年目以降のテーマは、参加者からの要望を反映したものが多い。
- ② ステークホルダー自身からの「共創カフェ」の改善提案が見られた。プロセスそのものへの主体的関与があり、意見交換の会や産官学民合同ワークショップ等の方法は、これらの提案によって実現したものである。

(2) 地域共創拠点における共創の方法論の開発

① ENoLLのラーニングプログラム、国内外リビングラボネットワークからの知見の整理

過去5年間の文献に対し、地域共創拠点において重要な要素であるLiving Lab, Open Innovation, Methodology, Co-creation, Healthcare, Age Friendly, Real-life Environment, Smart Cityをキーワードとして得た123文献を体系的にレビューすると、手法やケーススタディ(43文献)やそれまでの文献レビュー(23文献)が多い中で、健康や地球環境問題のほか、IT化やスマートシティ、ビジネスなどの多様なテーマが取り扱われていること、適用場所を都市だけでなく農村に広げた展開が読み取れた。国際的には、地域共創拠点は適用拡大の局面にあるものの、その手法については定まったものがあるわけではないことを確認した。

一方で、それらの情報が世界的に最も集中しているENoLLは、ラーニングプログラムを実施しており、2020年9月より8週にわたるプログラムを受講した。そのプログラム構成は、現段階での地域共創拠点の基本的な捉え方であると考え、1週目のガイダンスと最終週のまとめの他、ステークホルダーエンゲージメント、共創、市民参加の理論と実際、産官学民共創プロジェクト、価値創出、ビジネスモデルという捉え方に沿ってキーワードを抽出した。なお、その材料を元に国内の地域共創拠点ネットワークを活かして関東圏での実施経験のある研究員と遠隔ミーティングを2020年9月～2021年6月まで行い、その抽出に一般性を持たせた。また、国外のネットワークとして母国と日本の両方での実施経験の多いPublic Intelligence社との遠隔ミーティングを2021年5月に行い、日本における地域共創拠点において、「プロセスに依存する傾向があつて目標への明確な道筋を示すことが重要である」との指摘を受けている。ここで得たキーワードや知見は、③のプロセスモデル構築に用いる。

さらに、国内で共創のツール開発を進めるNPO法人ミラツクに、設計、準備、運営、研究協力を得て、「未来デザイン工房」に繋げる試みとして、「潜在的な未来の可能性」をテーマとし、未来予測が書かれたカードから関心に応じてプラス面とマイナス面に分けて選び、共感を得ることで社会デザインのヒントを導き出すワークショップを実施した。参加者は、産学官民にわたる43名であり、表-3.1は、その意見分布集計である。このことから、未来社会デザインであっても、身近な「仕事・ライフスタイル」に関心を繋げて把握する一方、マイナス面（あるいはどちらともいえない）の評価のばらつきがプラス面よりも大きく、評価のばらつきの大きい点に創造のヒントがあると解釈された。ただし、そうであれば、この手法は、まだマイナス面に着目した課題解決型であり、共創につながるcreative commonsとしての未来像の共有には、マイナス面をプラスに向ける共有化ツールが必要であることが示唆された。

表-3.1 ワークショップにおける意見の分布

テーマ別	仕事・ライフスタイル	医療関係	テクノロジー
サンプル数	103	35	66
平均値	0.49	0.37	0.73
分散	2.27	1.15	2.59
	地球規模の問題	コミュニティ・つながり	その他
サンプル数	43	30	15
平均値	0.98	0.80	0.53
分散	2.58	4.09	2.38

評価方向別	プラス面	マイナス面	どちらともいえない
サンプル数	163	108	23
平均値	0.51	0.77	0.91
分散	1.99	3.01	3.12

② 効果的な共創のためのファシリテーターの要件とマニュアルの作成

国内の地域共創拠点ネットワークでの遠隔ミーティングを活用し、日本人の心理特性に応じたファシリテーションマニュアルの作成を試みた。状況によって意見を選んだり中間的な回答を好んだりするなど²⁾、議論の生産性ブロッキングとなる可能性が高いと判断されたものを回避するためのファシリテーターマニュアルとした。実際の利用場面での利便性を考慮し、「実践編」と「理論編」に分けた構成とし、日本人特有の行動への対応部分が明確になるように工夫している。

図-3.4は、新しい公園利用をテーマとした地域共創拠点の例である。参加者は、吹田市の公園関係者および関連組織、公園の環境を活かして健康事業を進めようとする企業、および大学教員であり、2020年10月～12月に3回実施した。ここでは、ファシリテーターの大きな役割であるステークホルダーエンゲージメントについて評価を行った。評価軸を作るにあたり、英国にある非営利組織The Institute of Social and Ethical Accountability 社のAA1000AP（2018）³⁾と米国のBusiness for Social Responsibility社のFive-Step Approach to Stakeholder Engagement⁴⁾を参考にした。具体的には、協力度、能力度、信頼度の3つを挙げ、協力度は、主に発言内容にキーワードとなる単語の発生数を分析するテキストマイニングの手法、能力度は複数の単語が短時間で発言される組合せをネットワーク図で示す共起ネットワークによって分析できる。また、信頼度は、ファシリテーターを介した発言だけでなく互いの主体間のやり取りが増加することを示すミーティングの流れ分析によって知ることができる。第2回から第3回にかけ、ステークホルダーエンゲージメントが進み、ファシリテーターの誘導により、彼を介さない主体間の発言のやりとりが増加し、効率的な議論ができていくことが見てとれる。

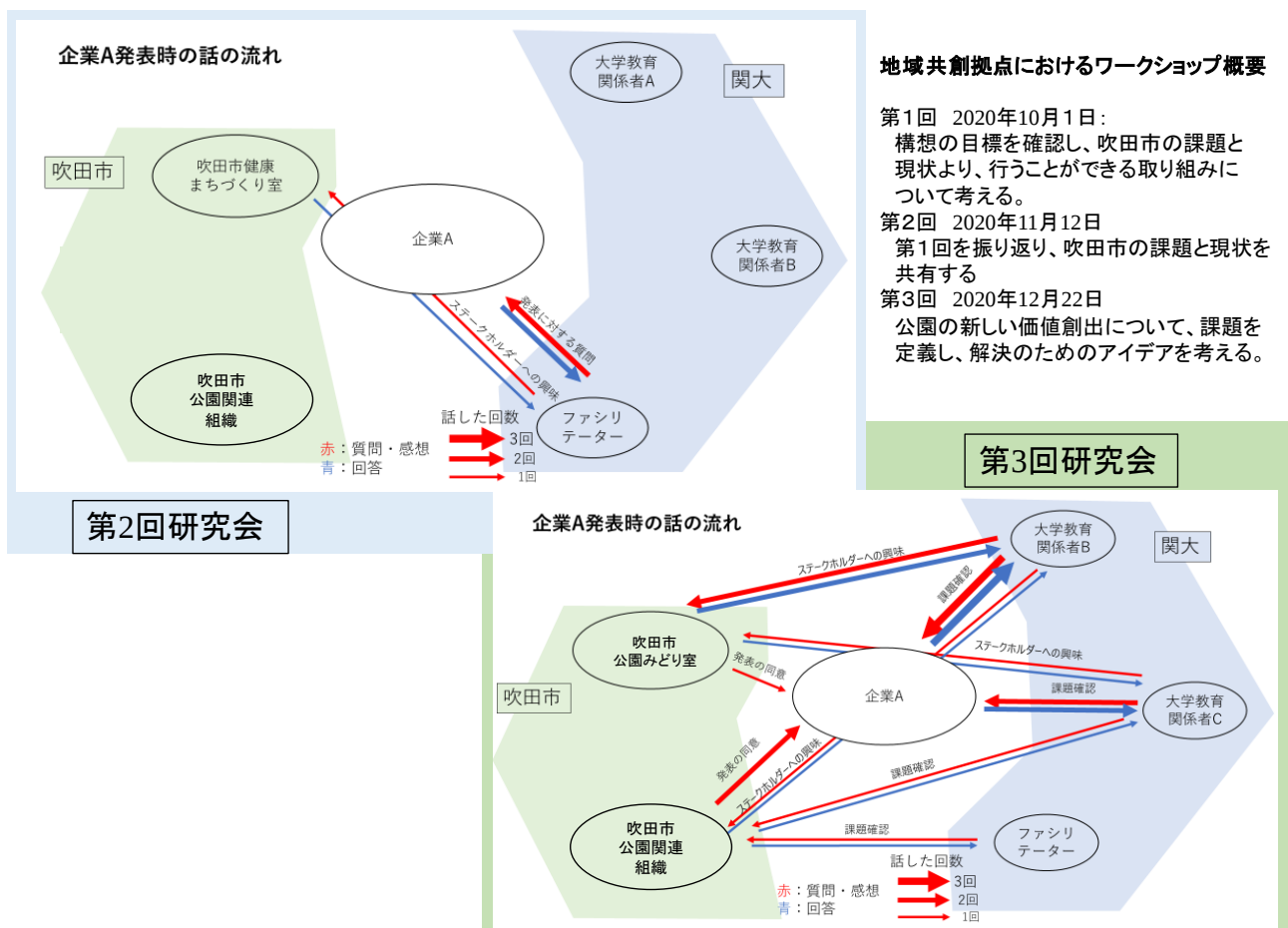


図-3.4 主体間の議論の流れ分析図

③ 課題化段階における共創プロセスモデルの開発

①で抽出したキーワードを用いて、共創プロセスモデルを構築した。関西大学リビングラボ2021年度第2回共創カフェに対する分析例を示す。図-3.5は、発言者とその内容を追跡する議論の流れ分析の例

である。この共創カフェにおける話題提供者は、民間企業H社で、テーマは「鉄道沿線価値向上に向けた健康まちづくり事業開発」、38名（産：22名，官：3名，学：13名）が参加した。全体テーマを基に質問と回答により議論が進行した。抽出したキーワードを用いて、質問および回答にそれぞれ議論の流れにおけるラベリングを行い、議論の中で時間がかけられているところ、かけられていないところを分析した。ラベリングは、個々の発言を、①で抽出した共創にとって重要と考えられるキーワードで性格付けしたものであり、プロセス中の発言を客観的に位置づけるものとして用いている。

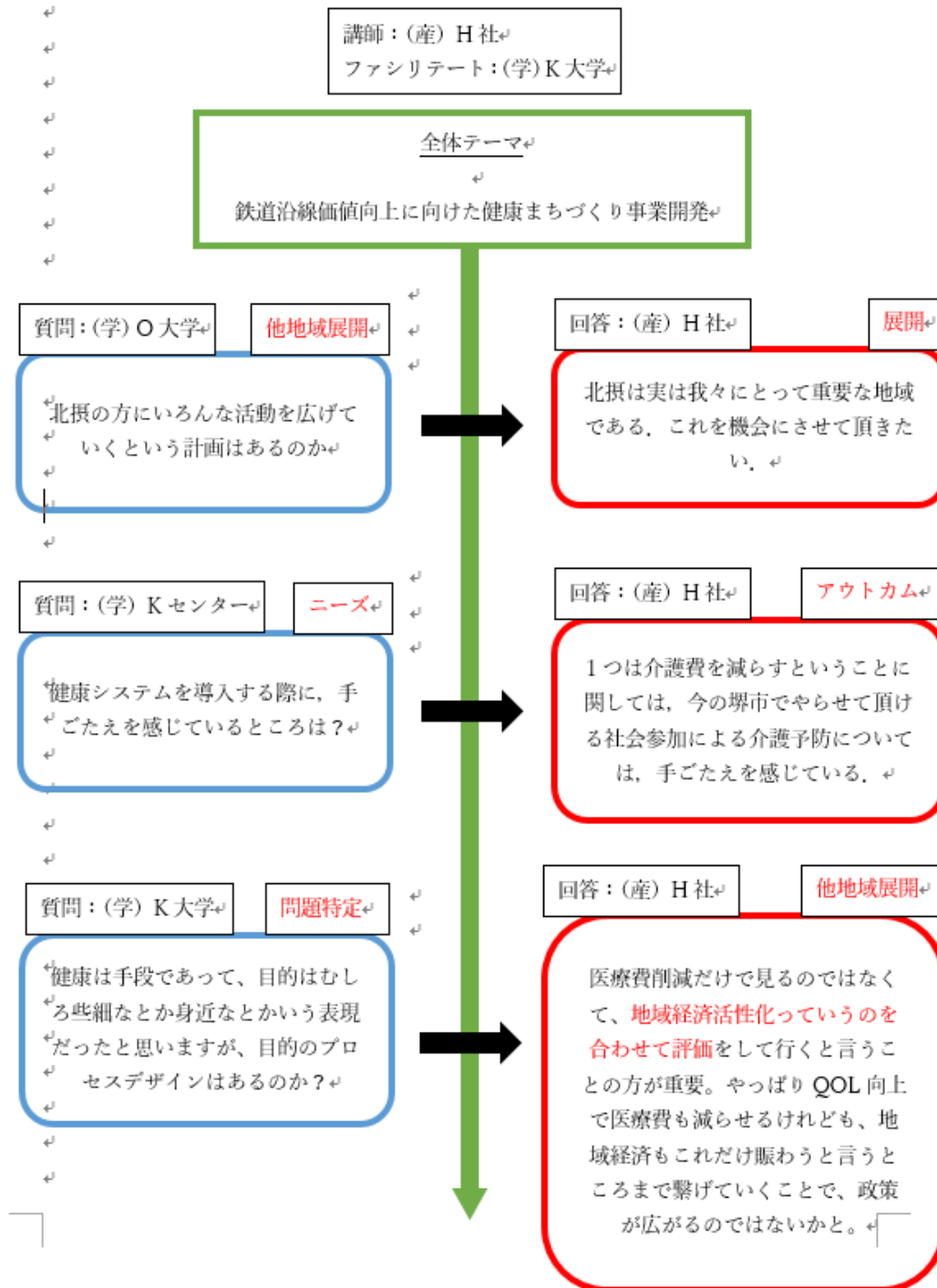


図-3.5 第2回共創カフェ 質疑回答とラベリング

図-3.6が共創プロセスモデルである。図中の青文字は、議論が進む上での大きな流れを示しており、黒文字は、さらに詳細に議論の流れを示したものである。赤文字はラベリングワードを示しており、複数回該当する場合は数字を併記する。図中、議論の流れは、価値化の方向性模索型、視点変更型、枠組

み拡張型の3パターンに類型化される。各型についての特徴は、次のようになる。

【価値化の方向性模索型】：議論の流れにおける、現状の確認、有効事例の紹介、技術の紹介、関連テーマの融合が価値化の方向性模索型に当てはまる。ラベリング用語としては、価値消費、教訓、価値提供、価値提案が当てはまる。共有された有効事例の情報をきっかけに参加者から関連する技術や融合テーマの提案があり、技術や分野に新しい組合せによる価値創造が展開されるプロセスである。

【視点変更型】：議論の流れの中で、視点の変更が試行される場合、視点変更型に当てはまる。評価・思考実験・視点変更提案がループされる形で議論が進む。例えば健康をテーマとした議論の場合、体の健康だけでなく心の健康を考える必要がある、高齢者だけでなく子育て層へのアプローチが必要というような発言は視点の変更試行に当てはまる。視点を変更することによって、それまで見えていなかった要素を見出し、再びオリジナルの視点に価値を持たせるプロセスである。

【枠組み拡張型】：個別論を全体論に拡張したり、階層構造にあるテーマの上位概念を模索したりする取組みが、枠組み拡張型に当てはまる。評価・思考実験・拡張提案がループされる形で議論が進む。例えば、健康をテーマとした議論からITの領域まで考える、あるいは対象を鉄道沿線からまちづくり全体に拡張するというような発言は、枠組み拡張型に当てはまる。各論と総論を行き来したり、狭域での議論を広域の議論から見直したりすることによって価値を生み出すプロセスである。

このプロセスモデルは、共創カフェでの議論進行に合わせて、類型化されたプロセスに応じて適切な運営を行い、効果的に共創価値を見出すため、ファシリテーターはもちろんのこと、参加者も共有することを想定している。

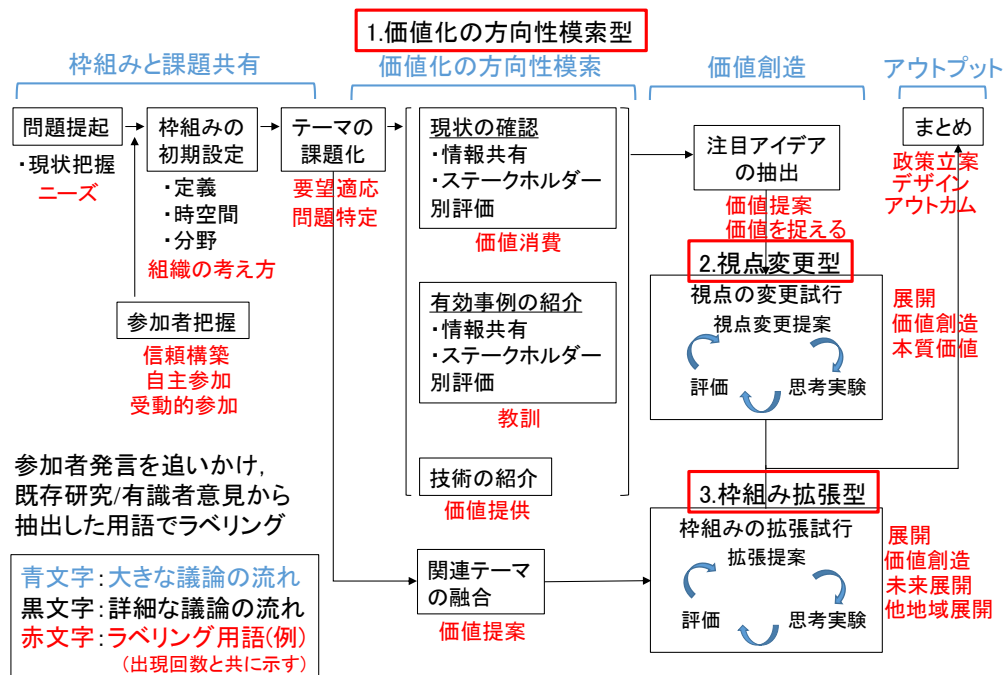


図-3.6 共創プロセスモデル

④ 共創の観点からみたワークショップ評価モデルの開発

地域共創拠点のワークショップに対する共創の観点からみた評価モデルを開発した。適用対象は、「共創カフェ」における4回のワークショップである。議事録をテキストデータとして計量的に分析するため、社会調査の学術研究で広く使われているKH Coder(制作者:立命館大学, 樋口耕一准教授)をツールとして用いた。評価項目は、共創カフェの主旨から、(i)共創目標への指向性、(ii)参加者の理解度、(iii)課題解決性、(iv)新たな価値創造性、(v)プロジェクト可能性の5項目とし、4段階の評価基

準を設定し、総合的に評価可能なようにレーダーチャートを作成した。各評価基準は、表-3.2に示す通りであり、レーダーチャートは図-3.7に示す。なお、本評価モデルは、各ワークショップの性格付けをすることで、多様な価値創造のプロセスがある中で、それぞれの特徴を認識した上で取り組むことを狙いとしたものである。

表-3.2 評価項目別評価点基準

(i) 共創目標への指向性

各ワークショップのテーマに最も近い単語である「テーマコード」が議論の中心にあったか

1点	テーマコードを中心に議論が行われなかった
2点	テーマコードを中心的に議論されたが、他のコードとの共起が5未満だった
3点	テーマコードを中心的に議論されたが、他のコードとの共起が5以上10未満だった
4点	テーマコードを中心的に議論されたが、他のコードとの共起が10以上だった

(ii) 参加者の理解度

参加者の理解度が高い文末表現を1ptとした時、その点数の多さ

1点	点数が100pt未満
2点	点数が100pt以上150pt未満
3点	点数が150pt以上200pt未満
4点	点数が200pt以上

(iii) 課題解決性

課題に関する議論を受け、その課題を解決に導く議論が行われたか

1点	課題に関する議論を受け、その課題を解決に導く議論が行われなかった
2点	課題に関する議論を受け、その課題を解決に導く議論が1回しか行われなかった
3点	課題に関する議論を受け、その課題を解決に導く議論が2回行われた
4点	課題に関する議論を受け、その課題を解決に導く議論が3回以上行われた

(iv) 新たな価値創造性

価値創造性キーワードが、前半に出現すれば1pt、後半に出現すれば2pt

1点	点数が50pt未満
2点	点数が50pt以上100pt未満
3点	点数が100pt以上150pt未満
4点	点数が150pt以上

(v) プロジェクト可能性

プロジェクト可能性というキーワードの出現について、前半の出現を1pt、後半の出現を2pt

1点	点数が30pt未満
2点	点数が30pt以上50pt未満
3点	点数が50pt以上100pt未満
4点	点数が100pt以上

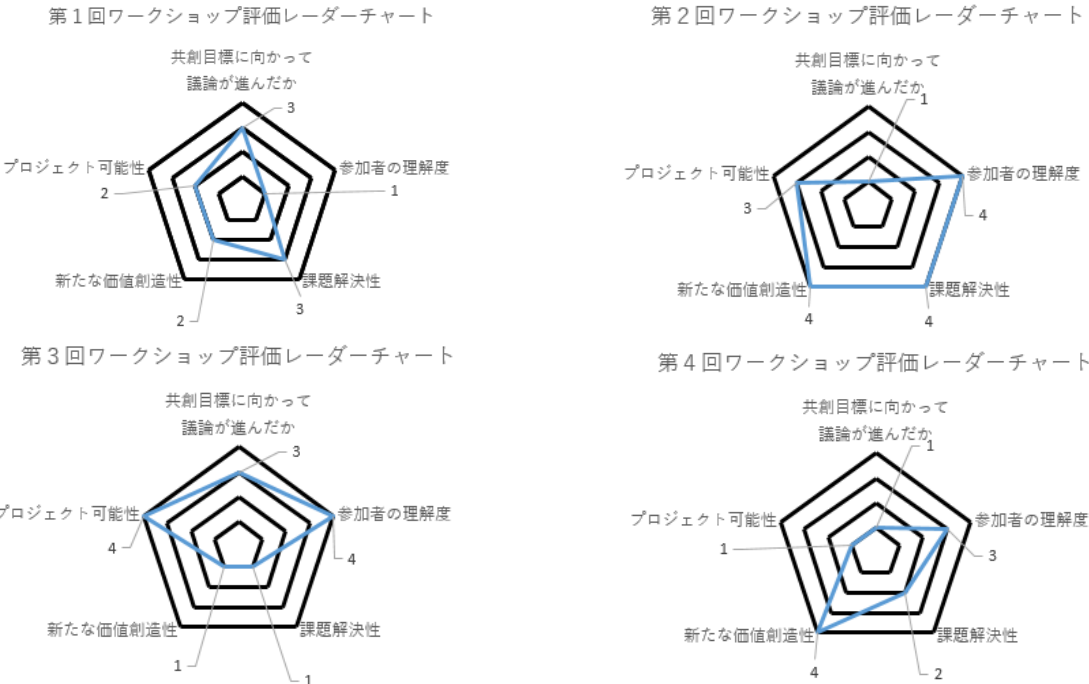


図-3.7 各ワークショップの評価レーダーチャート

例えば、第1回ワークショップでは、4名の話題提供があったため、参加者は、個々の内容は理解したものの、全体像を把握するための工夫が必要だったケースであると考えられる。また、質疑応答の時間も比較的少なかったため、価値創造性やプロジェクトが生まれづらい状況であった。第2回では、話題提供が幅広い知識で質疑応答が進行したため、参加者の理解や課題解決、価値創造が生まれやすい状況であった。一方、幅広い分野の質疑応答が行われたことで、ワークショップテーマに関する議論が比較的少なくなった。第3回では、話題提供者がプロジェクト化に積極的に取り組んだ経験を持っていたため、新たなプロジェクトが生まれるきっかけになったといえる。一方、質疑応答を終え、参加者が理解を示したことによる新たな課題化も生じた。第4回では、話題提供者が市民と一緒にあった取り組みを行っていたことで、新たな価値が生まれたきっかけになったといえる。

⑤ 方法論の普及のための方向性

地域共創拠点での取り組みの中にワークショップという表現を使った共創の場が形成されるが、一般的なワークショップと異なり、新しいアイデアに対して感度の高い利用者・市民が主体となり、技術開発や政策立案の比較的上流から試行錯誤を繰り返すプロセスに参画している。企業による技術提供あるいは自治体による政策情報提供や研究機関による情報分析の明示機能が不可欠である。本研究において、熱中症予測モデルや脆弱度・リスク評価モデルと一体となった取り組みをしている理由もそこにある。このため、本章で示したようなプロセス評価モデルなどが必要となり、これに基づいたワークショップの設置、ファシリテーターによる運営、プロセスに応じた参加者の発言などが求められる。

一方で、ヨーロッパを中心とした海外では、すでに440を超える地域共創拠点があり、アジアにおいても韓国を中心にまちづくり・環境政策や健康分野での実績を挙げている。日本では、企業を中心としたリビングラボが多く存在してモニタリングを中心とした役割を果たしているが、地域住民主体の政策立案を指向する地域共創拠点は、そのポテンシャルに比して少ない。(3)に示すように、市民主体の環境政策においては、社会システムの変更も巻き込むような新しい政策が求められることから、地域共創拠点の意義は高い。本研究においても、地域共創拠点間のネットワークをもとに手法開発を進めることができたことから、環境政策の共通課題をきっかけとしたネットワーク化と新規展開プログラムを作成することで、地域共創拠点の拡大が見込めるのではないかと考えている。

(3) 適応メニュー評価のための地域共創拠点での実践的検証

豊中市民を対象に「市民ができる夏の暑さ対策」について地域共創拠点活動を実践し、検証を行った。2019年度は、6/11、7/29、8/27の3回ワークショップを実施した。具体的には、なりた未来と自分のできること/行うべきことという枠組みで行い、「環境にやさしい行動と熱中症対策の両立」、「快適になった家から外出しない傾向への対応」、「暑い屋外環境に外出するインセンティブ」などについて議論をした。これを受け、2020年度には、10/4・6（参加者の都合に応じていずれかの日）と3/10の2回ワークショップを実施した。「暑熱環境の悪化と熱中症対策の両立」にテーマを絞り、サブテーマ1で示された熱中症予測の情報を提供し、サブテーマ2で作成したガイドブック効果検証と並行して、その効果を調べた。

図-3.8は、その進め方である。意識の高い参加者が多いことから、多くの発言が期待できる一方、議論の方向性がぶれないようにすることが重要と考え、未来設定を強調し共有する進め方としている。なお、本地域共創拠点のワークショップは、ファシリテーターの仲介による議論より

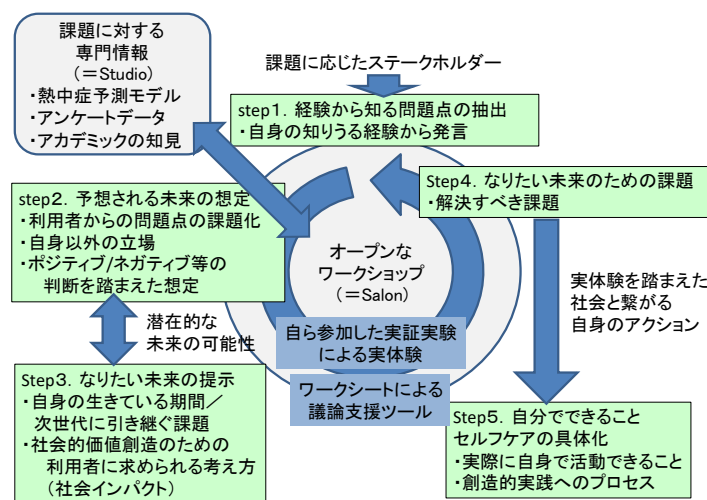


図-3.8 地域共創拠点の進め方

も参加主体者間の議論が進み、プロセスモデルとしては視点変更型に相当し、議論に応じて適切な分析情報を提供することが重要なタイプである。このため、オープンなワークショップであるSalonのほか、高い分析機能を持つStudio機能を付随させた型式とした⁵⁾。結果、暑い夏の外出条件の抽出（→コモン装置実証(ST2)へ）や環境と健康間のとるべきバランス、社会インパクトとしての社会システムの変更意向への影響などを知ることができた。

提供する分析情報の材料として、全国各都市（札幌/仙台/東京/新潟/名古屋/大阪/広島/高知/福岡/鹿児島/那覇）と豊中市について、WEBアンケートを実施した。WEB型式で2020年3月19日～23日に実施したもので、全国では3,000件、豊中市に限ると262件の回答を得ている。アンケートは本ワークショップで特に話題として挙げたエアコン利用と温度管理についての基本的な傾向は地域性が認められ、対象地域の豊中では、熱中症対策としてのエアコンの賢い利用を実施している人の比率が全サンプル平均で74%であるのに対し81%と高いことが分かっており、地域の関心に応じた地域共創拠点のマネジメントが必要であることを示唆している。

図-3.9は、室内でのエアコンの使い方を環境問題と関連づけながら尋ねたものである。ワークショップでは、高齢者を中心にエアコンを適切に利用しないことや環境問題が懸念されるとの指摘があり、そのような議論への提供情報として示したものである。熱中症の危険度が高い高齢者の方が、熱中症を理由とせず環境問題を理由としてエアコン利用の優先順位を考える結果となっている。図-3.10は、環境や健康を理由に生活習慣を変える可能性について尋ねたものである。ワークショップでは、暑熱環境が悪化することで熱中症の危険性が高まっていることにどのように対応してよいか、という指摘があり、生活習慣との比較を示したものである。生活習慣を変えない層が12～19%いる一方、生活習慣を変えるために効果のある情報は、高齢者を中心に環境より健康の方であることを示している。健康情報をトリガーとした環境行動への誘因の可能性を示している。このことは、後に示す社会システム変更意向にもつながっており、適応行動や社会システム変更などは、個人の健康状態についての適切な情報提供によって大きく動くことが期待される。

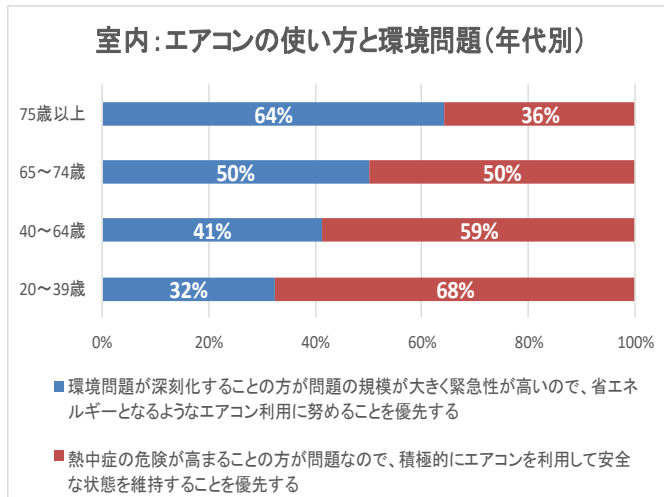


図-3.9 室内でのエアコンの使い方と環境問題

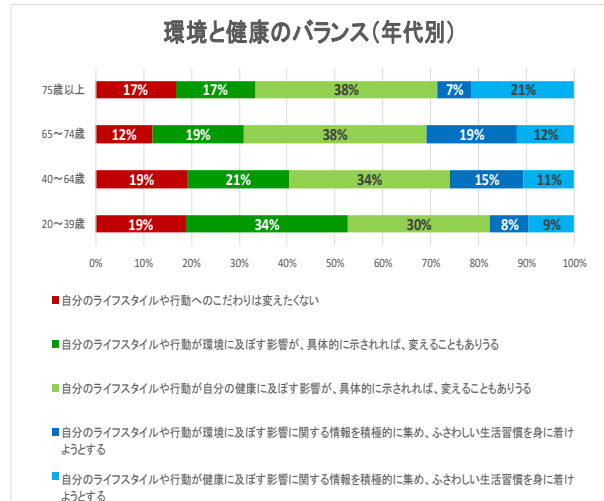


図-3.10 環境と健康のバランス

なお、同様に、屋外での行動に向けて、暑い夏に外出するための条件を尋ねており、その結果を図-3.11に示す。「気軽に立ち寄れる冷房がきいている施設」のシェアが高いほか、「風通しのよい歩道」や「日影が確保されている公園」が高齢者では50%あることがわかる。ワークショップでも、健康のために暑くても外出を心がける、との指摘があり、若年層を中心に低い値を示しているものの、サブテーマ2で行う公園でのコモンインフラに対する動機づけとなっている。

図-3.12は、ワークショップの発言内容のテキスト分析結果である。第1回目の議論を受けて、サブテーマ1の成果に関連しサブテーマ2の取り組みを踏まえて、熱中症リスクや適応行動に関するエビデンス情報を用意し、第2回目にワークショップの場に提供した。発言内容を記録し、多次元尺度構成法を用いて各回の意見分布をクラスター化して整理した。この結果、一般的な知識から価値観および行動様

式につながり政策に展開するといった各ステップの意図は参加者に意識されていることが概要別クラスター数の推移から知ることができた。また、第1回目の議論を踏まえ、大学から暑熱環境に対する市民意識などの情報を第2回に提供した結果、第1回は、初期テーマに関する多様な議論が意見分布を拡散させ、第2回の資料提供が共創課題や目標の共有によって意見分布を収斂させ、第3回は地域共創に向けた再展開を示唆する意見分布となったことが確認できた。一方で、エビデンス情報を受けて議論していくなかで、必ずしも環境への知識が多くない人々への共創の成果の共有方法について懸念が出たことも指摘される。実際に、ワークショップでは、将来の自分の健康状態を想定した上での生活習慣を今から身に付けるなどの指摘も見られた。

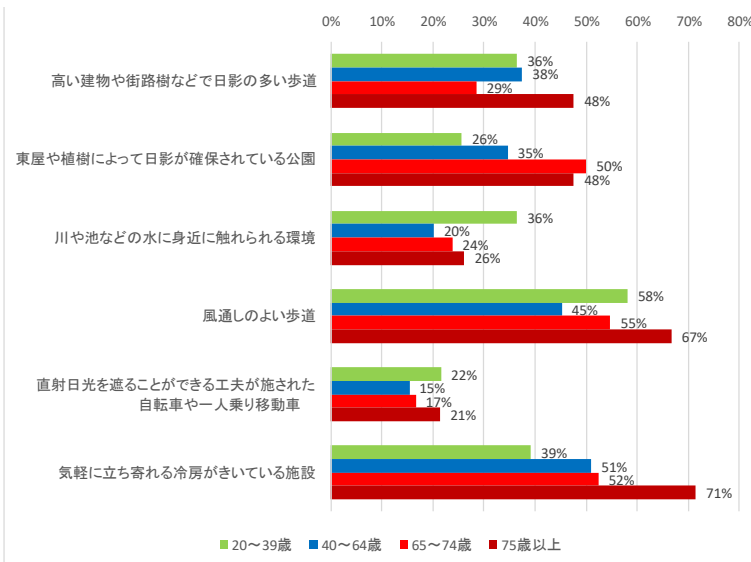


図-3.11 暑い夏に外出するための条件

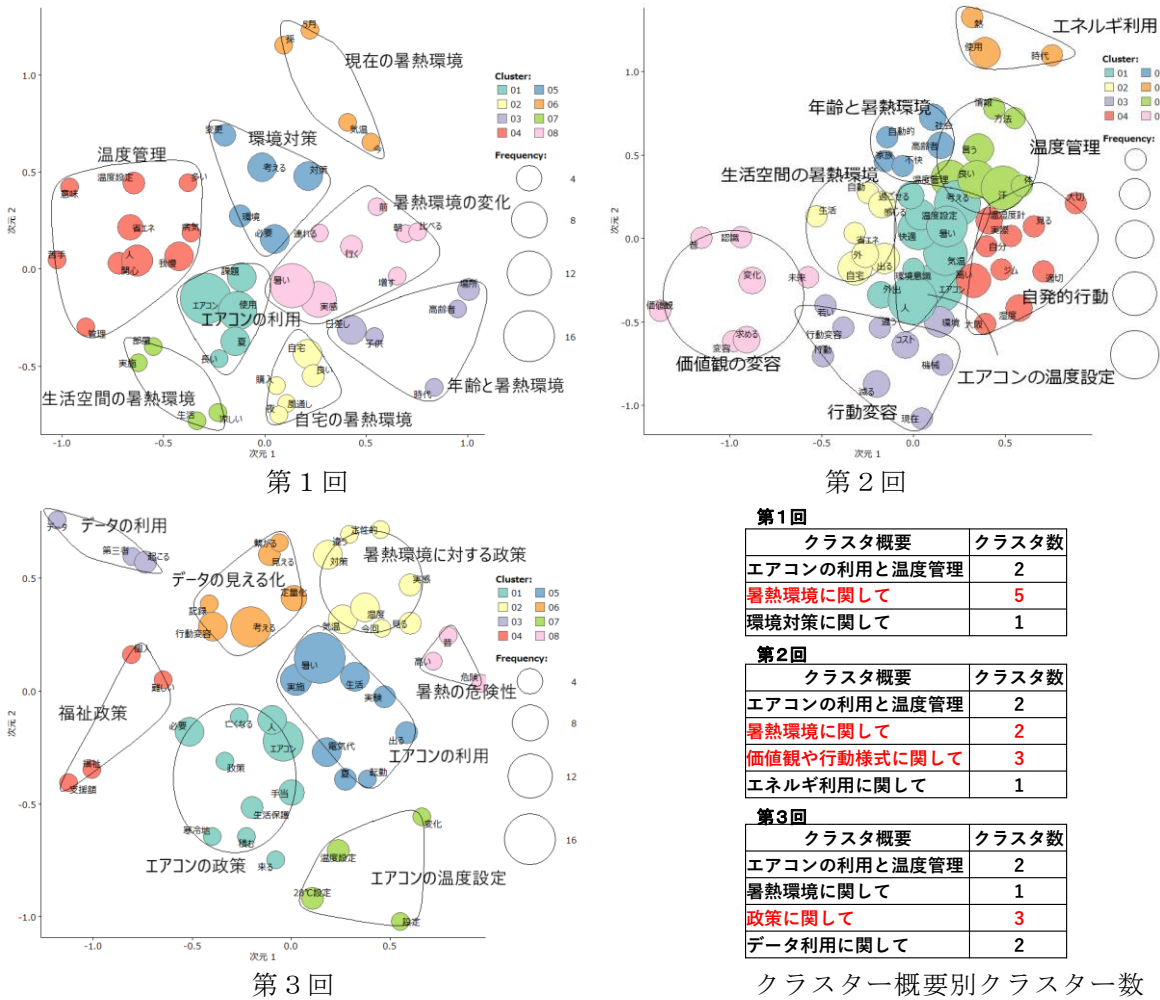


図-3.12 ワークショップにおける発言内容のテキスト分析結果

図-3.13は、ワークショップの結果をまとめたものである。「自分でできること、行うべきこと」において、定量データが示されることの効果や行動変容への意欲が示されている。

なお、別調査として、熱中症に関する知識と防止行動の関係について調べた。これは、自治体が市民の健康のための日常の歩数目標の達成を支援する取り組み参加者445名にアンケートしたものであり、熱中症知識量と自信に関する結果が図-3.14、防止行動に関する結果が図-3.15である。

熱中症への知識に自信がありながら知識量に乏しく防止行動を十分にとらない回答者がみられることが確認できる。このことから暑熱環境下での熱中症リスクや適応行動に関する情報の共有や賢い行動への誘導のためには、単に知識の提供のしくみだけでなく、地域共創拠点のような活動を経た政策が必要であることを示唆しており、拠点での継続的・テーマ連動的な取り組みが求められることを確認した。

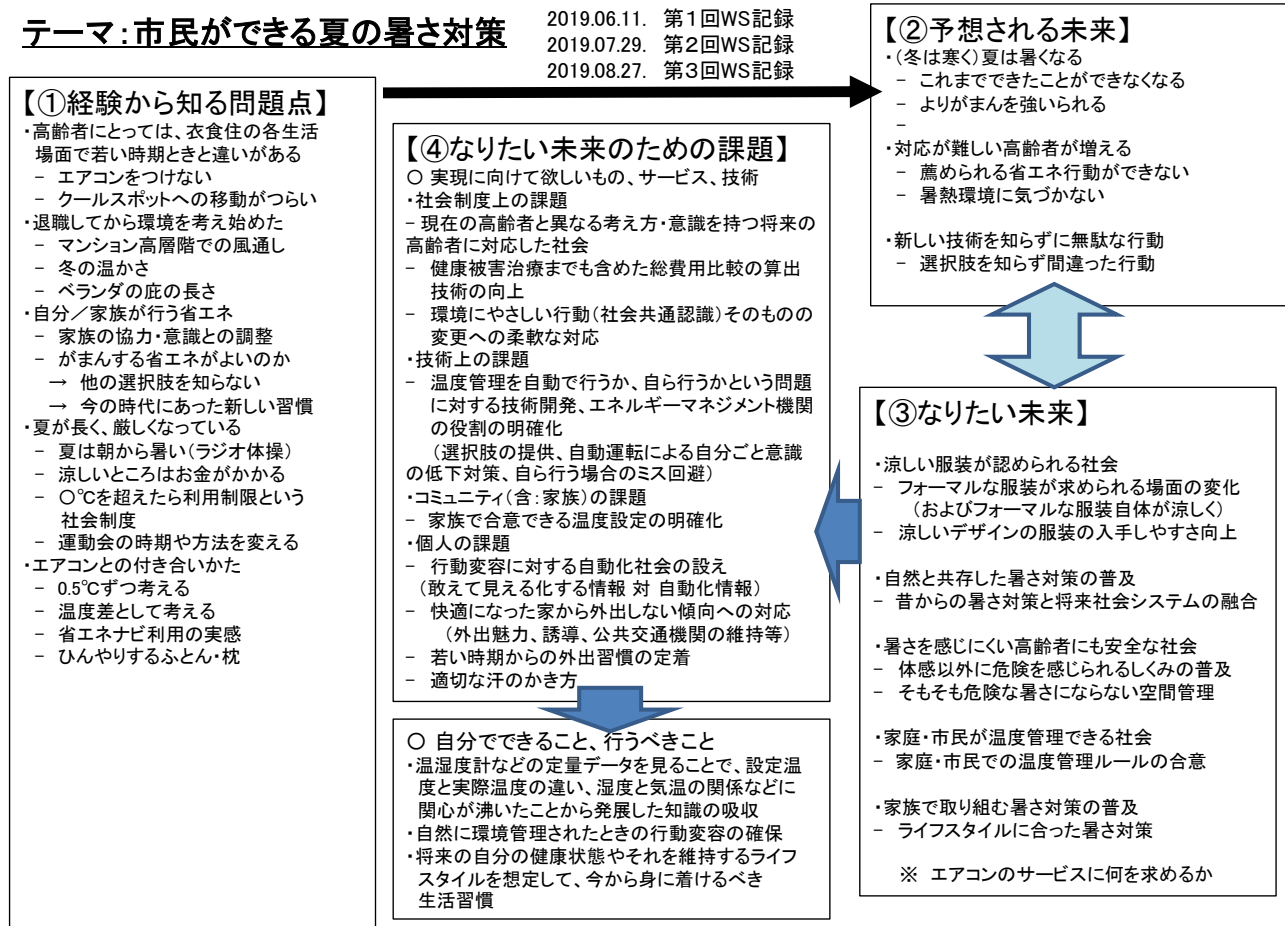


図-3.13 ワークショップの結果

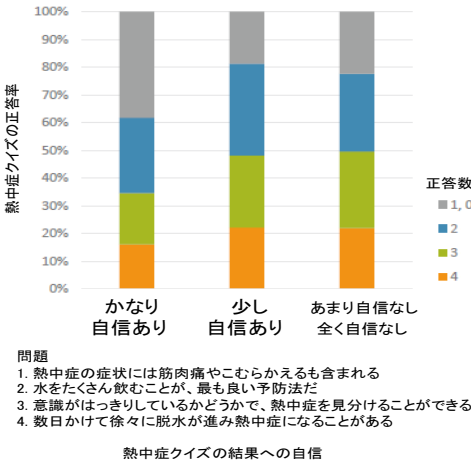


図-3.14 熱中症の知識量と自信

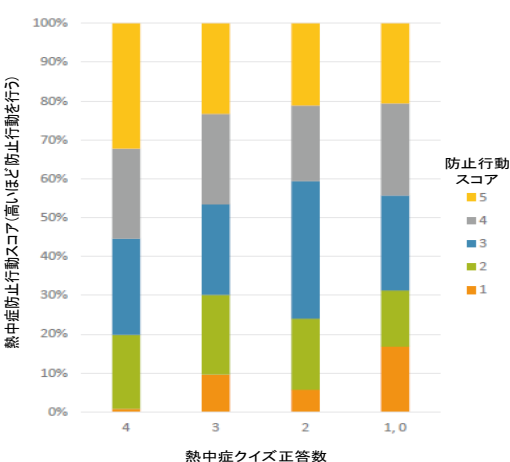


図-3.15 熱中症知識量と防止行動

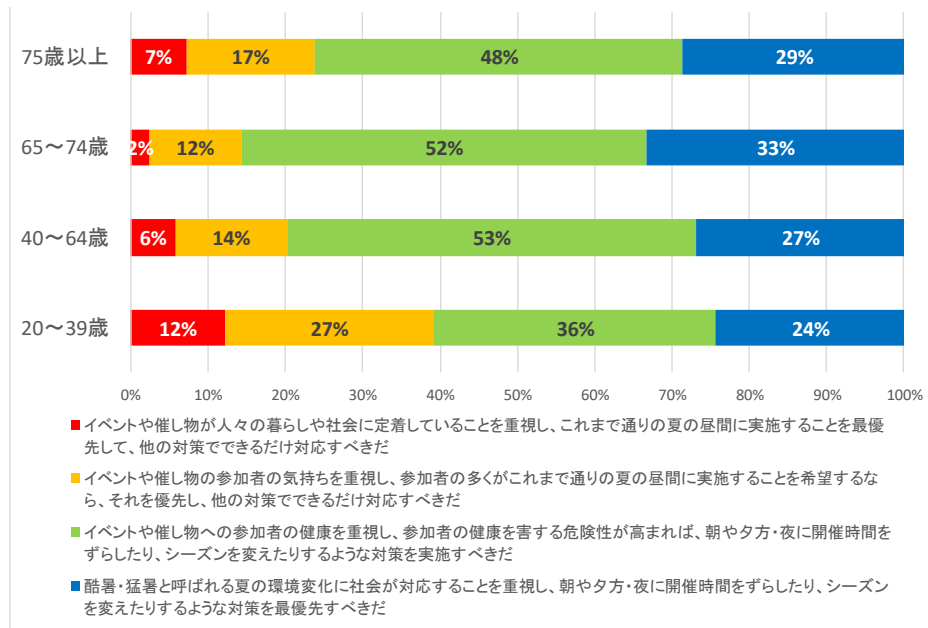


図-3.16 社会インパクトとしてのシステム変更意向

これらの取組みの結果、どのような社会インパクトが認められるかを調べた。図-3.16は、豊中市民に尋ねた社会インパクトとしてのシステム変更意向である。夏の暑さに対して、健康被害を理由とした暮らしや社会システムの変更に、年齢階層に違いはあるものの、60～85%が賛同している。これらに対し、ワークショップでは、地元少年野球の試合の13時～15時の暑い時期の開催を回避し午前や夕方に実施するケースや高齢者が担い手の中心となる地藏盆での模擬店の中止、市民活動での草抜きの時間帯の相当へのシフトなどが示され、特に身近な催しものについては、それまで定例となっていたシステムの変更に賛同が得られ、好意的に協力してもらえる状況が明らかとなった。

次に暑熱環境軽減技術の効果検証について述べる。第一に、暑熱環境調査は、気温が上昇する11:00～15:00について、緑陰と日向、SU施設内におけるWBGT平均値を算出した。一例として最も平均気温の高かった8月31日のWBGT経時変化と平均値結果を図-3.17に示す。それぞれのWBGT変動幅は緑陰が約4.0℃、SUは約4.5℃、日向は約8℃であった。WBGT変動幅の大小関係は緑陰<SU<日向となり、この関係は全ての実験日でみられた。WBGTの平均値の結果からは、緑陰が最も低い約25.5℃、日向が最も高い約28℃、そしてSUは約26.25℃となり、大小関係は緑陰<SU<日向であった。この関係は全ての実験日でみられた。

第二に、人体生理量は、被験者ごとに心拍周期RRIを計測し、直前の歩行時のRRIの平均値に対する屋外着座時のRRIの平均値を求め、RRI比率を算出した。このRRI比率をストレス度合の指標とした（RRI比率が小さいほど人体にストレスがかかっている）。被験者ごとのRRI比率の結果を図-3.18に示す。ここで、実験が午前と午後に分かれているため、屋内外着座時のRRI平均を安静時の心拍ベースラインとして、午前と午後の比率を算出し、それぞれのRRI比率の誤差範囲とした。この誤差範囲を超える差が緑陰とSUとでみられた場合に有意な差があったと定義した。有意な差があったのは被験者B、D、F、H、Kであり、SU<緑陰となったのは3名、緑陰<SUとなったのは2名、差がなく同等となったのは6名であった。よって、緑陰とSUの着座におけるストレス度合は、ほぼ同等程度といえる。

次に放熱量と温冷感の関係について、人体における放熱量として放射放熱R、対流放熱Cを以下の式(5)(6)で算出した。

$$R[W/m^2] = hr(tsk - MRT) \times \frac{As - Ab}{As} \quad (1)$$

$$C[W/m^2] = hc(tsk - ta) \times \frac{As - Ab}{As} \quad (2)$$

(hr:放射熱伝導率[W/(m²・K)], tsk:平均皮膚温[℃], MRT:平均放射温度[℃], ta:気温[℃], As:体表面積[m²], 臀部接触面積[m²], hc:対流熱伝導率[W/(m²・K)])

この放射放熱量は数値が負の場合は受熱と扱い、周囲環境から体表面に対しての熱伝導量を示す。つ

まり、数値が小さいほど受熱量は大きく、暑く感じる。また、対流放熱についても体表面と外気温との差から算出するため、正の値の場合は、値が大きいほど、体表面から外気へ逃げる熱量が多いこととなり、涼しく感じるといえる。この放射放熱と対流放熱の和を放熱量とする。温冷感アンケートのうち快適性の結果を集計し、被験者ごとの放熱量との関係をグラフ化したものを図-3.19に示す。図-3.19の結果より、緑陰での着座休憩では放熱量が正となり、SUでの着座ではほとんどの被験者において負の値(受熱)という結果となった。ただし、図-3.19よりこの放熱量と温冷感における快適性の関係は、放熱量が0に近いほどより快適と回答する傾向がみられた。緑陰とSUとの回答平均を算出すると、緑陰は「やや快適」であり、SUは「快適でも不快でもない」と「やや快適」の中間の回答結果であった。よって、緑陰の放熱量の平均は約25℃、SUの放熱量の平均は約-26℃と差異がみられるが、温冷感の快適性としては、極端に大きな差はみられなかった。

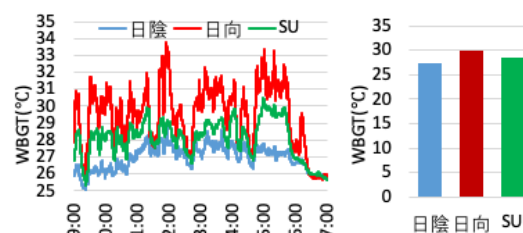


図-3.17 WBGT計測結果 (8月31日)

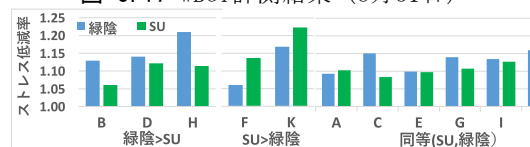


図-3.18 ストレス低減率(屋外着座時/歩行時)

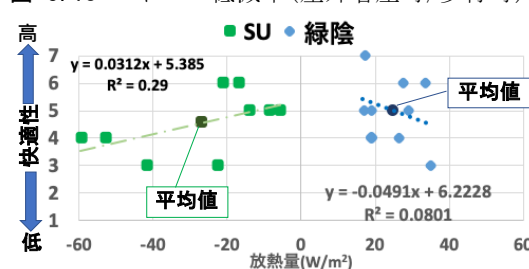


図-3.19 放熱量と快適性申告結果の関係

5. 研究目標の達成状況

健康と環境の好循環の技術・政策を生み出すための地域共創拠点を「関大リビングラボ」として実際に設立し、取組みのきっかけとなる共創カフェや市民を主体とした環境政策について運営した。その運営に際し、ENoLLや国内先進事例・文献をもとに、効果的に価値創造を促すプロセスモデルを構築し、併せて価値の向上に繋がる手法や評価を行うモデルを開発し、妥当性を検証する中で、地域共創拠点の有効性を示した。

豊中市民を対象とした「市民ができる夏の暑さ対策」では、熱中症発生と関連づけられた情報をもとに、セルフケアの予防的行動変容への意向を確認し、外出をするための条件として挙げられた公園での日影をコモンの備えとして進めるようサブテーマ2の取組みに繋げた。また、身近な社会システムが健康をトリガーとして変更されるといふ社会インパクトに繋がる要因も示すことができた。また、暑熱環境軽減技術の実証実験を行い、その効果を示した。これらの取組みによって、ST1、ST2の成果をもとに、介入政策を考える上で重要となる熱中症予防ガイド、個人向けの行動変容支援ツール、政策・意思決定者向けの適応政策プラットフォーム、暑熱環境軽減技術への示唆を得た。これらのことから、研究目標は達成した。

6. 引用文献

- 1) European Network of Living Labs, Ana Garcia Robles, Tuija Hirvikoski, Dimitri Schuurman and Lorna Stokes (main editors): Introducing ENoLL and its Living Lab community, 2016.
- 2) 平井美佳: Social Psychology, Vol. 39, No. 2, 103-113 (1999)
「日本人らしさ」についてのステレオタイプー「一般の日本人」と「自分自身」との差異ー
- 3) AccountAbility: AA1000 AccountAbility Principles, 2018.
- 4) Alison Taylor and Charlotte Bancelhon: Five-Step Approach to Stakeholder Engagement, Business for Social Responsibility (BSR), 2019.
- 5) 赤坂文弥, 木村篤信: 日本デザイン学会研究発表大会概要集 64(0), P22 (2017)
リビングラボの方法論的特徴の分析ー日本におけるリビングラボ事例の調査を通じてー

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) Soshiro Ogata, Misa Takegami, Taira Ozaki, Takahiro Nakashima, Daisuke Onozuka, Shunsuke Murata, Yuri Nakaoku, Koyu Suzuki, Akihito Hagihara, Teruo Noguchi, Koji Iihara, Keiichi Kitazume, Tohru Morioka, Shin Yamazaki, Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Kunihiro Nishimura: Nature Communications, 11page (2021)
Heatstroke predictions by machine learning, weather information, and an all-population registry for 12-hour heatstroke alerts
- 2) Takahiro Nakashima, Soshiro Ogata, Teruo Noguchi, Yoshio Tahara, Daisuke Onozuka, Satoshi Kato, Yoshiki Yamagata, Sunao Kojima, Taku Iwami, Tetsuya Sakamoto, Ken Nagao, Hiroshi Nonogi, Satoshi Yasuda, Koji Iihara, Robert W Neumar, and Kunihiro NishimuraA machine learning model for predicting out-of-hospital cardiac arrests using meteorological and chronological data Heart. 2021 May 17;107(13):1084-1091

【サブテーマ2】

- 1) Yoshiki Yamagata, Daisuke Murakami, Takahiro Yoshida: the 39th annual conference of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, 2019
Spatiotemporal heatwave risk evaluation: Considering hazard, exposure, and vulnerability.
(Proceedings of the 2019 IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Symposium, 5524-5527. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8898442).
- 2) Daisuke Murakami, Yoshiki Yamagata, Takahiro Yoshida, Tomoko Matsui: the 39th annual conference of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, 2019
Spatiotemporal heatwave risk modeling combining multiple observations.
(Proceedings of the 2019 IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Symposium, 5516-5519. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8898761).
- 3) Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Daisuke Murakami: the 29th International Cartographic Conference, 2019
Individual level heat risk evaluation using GPS towards smart navigation system.
(Proceedings of the International Cartographic Association, 2, 152. DOI: 10.5194/ica-proc-2-152-2019).
- 4) 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、pp. II_29-II_38、2019.
- 5) 尾崎平、北詰恵一、西村邦宏、盛岡通：熱中症の救急搬送データに基づく危険度評価手法の検討、土木学会論文集G（環境）、Vol.76、No.5、pp. I_451-I_459、2020. 9
- 6) 尾崎平、沓澤篤樹、郭敏娜、北詰恵一、西村邦宏、盛岡通：熱中症搬送者データと都市機能集積指数に基づく都市域の暑熱障害に対する脆弱性評価ー堺市・神戸市・京都市を対象としてー、土木学会論文集G（環境）、Vol.76、No.6、pp. II_209-218、2020.10
- 7) 尾崎平、阪上勇登、北詰恵一：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、pp. II_139-II_148、2021. 10
- 8) 井ノ口弘昭、秋山孝正：交通行動に着目した熱中症リスク評価に関する研究、土木学会論文集G（環境）、Vol.77、No.6、II_131-II_137、2021.10
- 9) 湊太雅、宮崎 ひろ志、尾崎平、北詰 恵一：神戸市熱中症搬送者データに基づく市街地における熱中症発症危険地区の抽出ー時間積算平均放射温度による市街地熱中症発症危険レベル推定

手法の提案-、都市計画学会、Vol.56、pp.1488-1492、2021.11

【サブテーマ3】

- 1) Keiichi KITAZUME, Mari TAKAKU, Mio NISHIYAMA and Yusuke OKAMURA: European Network of Living Labs, Proceedings of the Digital Living Lab Days Conference, 278-284 (2020)
Methodology for Establishing a Living Lab from Experiences in Japan
- 2) 郭 敏娜, 北詰 恵一, 杳澤 篤樹, 尾崎 平, 西村 邦宏, 盛岡 通: 環境共生, Vol.37, No.1, 77-82 (2021)
小地域の地理的条件の違いによる熱中症発症件数との関係分析

<査読付論文に準ずる成果発表>

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ2】

- 1) C. LU, Y.B. YUN, M.YOON: Proceedings of the SICE Annual Conference 2021, Application Machine Learning to the Prediction WBGT, PaperNo-0152, On CD-ROM (6 Pages)

【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ2】

- 1) 尾崎 平、黒田 章子、安部 寛喜、檀 寛成、安室 喜弘: 3DCGを用いた公園の暑さ指数の可視化、第60回土木計画学研究発表会講演集、CD-ROM (5頁)、2019.
- 2) 尾崎平、櫻井 順平、北詰恵一: 日常生活行動と暑熱環境の関係性分析、第62回土木計画学研究発表会講演集、CD-ROM (6頁)、2020.
- 3) 尾崎平、小堀 悠也、谷所慶: 健康増進広場におけるWBGTの推定と利用行動に関する考察、関西大学先端科学技術シンポジウム講演集、Vol.25、pp.28-31、2021.01
- 4) C. LU, Y.B. YUN, M.YOON: 31st European Conference on Operational Research (2021), "Prediction of Wet Bulb Globe Temperature using Machine Learning"

【サブテーマ3】

- 1) 岡村 雄介、黒田 修平、北詰 恵一: 健康と環境をテーマにしたリビングラボにおける効果的な方法論に関する研究、第60回土木計画学研究発表会講演集、CD-ROM (4頁)、2019.
- 2) 岡村 雄介、北詰 恵一: 健康まちづくり政策を推進するためのリビングラボの方法論に関する研究、第62回土木計画学研究発表会講演集、CD-ROM (5頁)、2020.

(2) 口頭発表(学会等)

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ2】

- 1) 井ノ口弘昭、秋山孝正: 高齢者の交通行動における熱中症リスクの計測方法に関する研究、第23回日本福祉のまちづくり学会全国大会、1a-3、2020.10
- 2) 尾崎平、小堀悠也: 公園内の暑熱環境の実態と推定、環境科学会2020年会、2020.09
- 3) 湊太雅、宮崎ひろ志、& 梶原佑介. (2020). 神戸市における熱中症発症者救急搬送データの解

析（その2）搬送者のカーネル密度分布を用いた考察．2020 年度日本建築学会大会（関東）学術講演会研究発表．（2020）

- 4) 梶原佑介、宮崎ひろ志、& 湊太雅．（2020）．神戸市における熱中症発症者救急搬送データの解析（その1）救急搬送データ概要と搬送時等の気象条件について．2020 年度日本建築学会大会（関東）学術講演会研究発表．（2020）
- 5) 尾崎 平、阪上 勇登、北詰 恵一：多理論統合モデルに基づく市民向けの熱中症対策ガイドブックの開発、環境科学会2021年会、2021.09
- 6) C. LU、Y. B. YUN、M. YOON：31st European Conference on Operational Research（2021）、
“Prediction of Wet Bulb Globe Temperature using Machine Learning”

【サブテーマ3】

- 1) 北詰 恵一、岡村 雄介、黒田 修平、石橋 愛彩：健康と環境をテーマとしたリビングラボ設立のプロセス、第47回環境システム研究論文発表会、CD-ROM（4頁）、2019.
- 2) 岡村 雄介、沙海 拓真、北詰 恵一：リビングラボにおける初期構想段階のステークホルダー間の関係分析、令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会、CD-ROM（2頁）、2021.
- 3) 北詰 恵一、久保田 圭悟：日本人の心理特性を考慮したリビングラボワークショップのファシリテーターマニュアルの提案、令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会、CD-ROM（2頁）、2021.
- 4) 久保田 圭悟、北詰 恵一：リビングラボにおけるワークショップで発言された動詞の抽象度分析、令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会、CD-ROM（2頁）、2022（投稿中）.

（3）「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ1】

- 1) 研究成果報告会、関西大学、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2020.3
（新型コロナウイルスの影響により中止となったが、HPで資料を公開中）
http://www.us.kansai-u.ac.jp/00AM_2019rep_HP.pdf
- 2) 一般公開シンポジウム、関西大学、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2020.3
（新型コロナウイルスの影響により中止となったが、HPで資料を公開中）
http://wps.itc.kansai-u.ac.jp/ische/wp-content/uploads/sites/114/2020/04/00PM_2019symp_HP.pdf
- 3) イノベーションストリームKANSAI2021、ナレッジキャピタルコングレコンベンションセンター、2021.12.
AIと天気情報等の活用による熱中症発症数の高精度予測－熱中症発症数AI予測モデルの開発－（参加者数：20名）
- 4) 第92回日本衛生学会共催セミナー3、兵庫医科大学、2022.03
高齢化社会における暑熱環境の変化が熱中症に与える影響評価（参加者数：約20名）

【サブテーマ2】

- 1) 建設技術展 2019 近畿 ええもん使こて、ええもん創ろ！、マイドームおおさか、2019.10
気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策（参加者数：43名
（技術展全体では、延べ14,238名））
- 2) 関西大学おおさか文化セミナー、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2019.10
気候変動により激甚化する災害－水害と熱中症を対象として－（参加者：約200名）
- 3) 研究成果報告会、関西大学、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2020.3
（新型コロナウイルスの影響により中止となったが、HPで資料を公開中）
http://www.us.kansai-u.ac.jp/00AM_2019rep_HP.pdf

- 4) 一般公開シンポジウム、関西大学、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2020. 3
(新型コロナウイルスの影響により中止となったが、HPで資料を公開中)
http://wps.itc.kansai-u.ac.jp/ische/wp-content/uploads/sites/114/2020/04/00PM_2019symp_HP.pdf
- 5) 建設技術展 2020 近畿 ええもん使こて、ええモン創ろ！、マイドームおおさか、2020. 10
気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策（参加者数：26 名
（技術展全体では、延べ 13,614 名））
- 6) 関西大学先端科学技術シンポジウム、 関西大学、2021. 01
健康増進広場におけるWBGTの推定と利用行動に関する考察（参加者数：約60名）
- 7) 建設技術展 2021 近畿 ええもん使こて、ええモン創ろ！、インテックス大阪、2021. 10
気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策（参加者数：35 名
（技術展全体では、延べ 14,491 名））
- 8) イノベーションストリームKANSAI2021、ナレッジキャピタルコングレコンベンションセンター、2021. 12.
都市域の暑熱に対する脆弱性評価（参加者数：20名）

【サブテーマ3】

- 1) 技術展 2019 近畿 ええもん使こて、ええモン創ろ！、マイドームおおさか、2019. 10
気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策（参加者数：43名
（技術展全体では、延べ14,238名））
- 2) 研究成果報告会、関西大学、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2020. 3
(新型コロナウイルスの影響により中止となったが、HPで資料を公開中)
http://www.us.kansai-u.ac.jp/00AM_2019rep_HP.pdf
- 3) 一般公開シンポジウム、関西大学、関西大学梅田キャンパス 8階 KANDAI Me RISEホール、2020. 3
(新型コロナウイルスの影響により中止となったが、HPで資料を公開中)
http://wps.itc.kansai-u.ac.jp/ische/wp-content/uploads/sites/114/2020/04/00PM_2019symp_HP.pdf
- 4) 建設技術展 2020 近畿 ええもん使こて、ええモン創ろ！、マイドームおおさか、2020. 10
気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策（参加者数：26 名
（技術展全体では、延べ 13,614 名））
- 5) 関西大学先端科学技術シンポジウム、 関西大学、2021. 01
健康増進広場におけるWBGTの推定と利用行動に関する考察（参加者数：約60名）
- 6) 建設技術展 2021 近畿 ええもん使こて、ええモン創ろ！、インテックス大阪、2021. 10
気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策（参加者数：35 名
（技術展全体では、延べ 14,491 名））
- 7) イノベーションストリームKANSAI2021、ナレッジキャピタルコングレコンベンションセンター、2021. 12.
地域共創拠点（リビングラボ）による共創カフェの取組（参加者数：20名）
- 8) 第92回日本衛生学会共催セミナー3、兵庫医科大学、2022. 03
高齢化社会における暑熱環境の変化が熱中症に与える影響評価（参加者数：約20名）

（4）マスコミ等への公表・報道等＞

【サブテーマ1】

- 1) 日刊工業新聞（令和3年7月29日、3頁、「国循・関西大 熱中症患者AIで予測 リスク詳細判断、ピーク推定」）

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

(5) 本研究費の研究成果による受賞

土木学会 環境システム優秀論文賞

2021年10月24日

「熱中症搬送者データと都市機能集積指数に基づく都市域の暑熱障害に対する脆弱性評価－堺市・神戸市・京都市を対象として－」

IV. 英文Abstract

Policy Measures to Innovate Synergistic Co-actions for People's Health and Global Environment under Climate Change with Urban Heat Wave in Vulnerable Aging Society

Principal Investigator: Keiichi KITAZUME

Institution: Kansai University, 3-3-35 Yamate-cho, Suita-shi, Osaka 564-8680 JAPAN

Tel: +81-6-6368-0892 / Fax: +81-6-6330-3770

E-mail: kitazume@kansai-u.ac.jp

Cooperated by: National Cerebral and Cardiovascular Center, National Institute for Environmental Studies, Kyoto Prefectural University of Medicine

[Abstract]

Key Words: Climate change, Heat stroke, Vulnerability assessment, Living-Lab, Behavior change

The purpose of this research is to analyze and evaluate the impact of the deterioration of the heat environment due to climate change on an evidence basis, develop support tools and design a process for a Living Lab to realize synergistic co-actions for people's health and global environment in light of an aging society and future urban vulnerability. The three subgroups will collaborate with each other by collecting detailed data related to heat stroke and developing prediction models, creating and implementing evaluation models and visualization and various adaptation measures at the detailed district level using spatio-temporal data, and developing and implementing methodologies for co-creation processes through the establishment and operation of Living Labs.

- A highly accurate heat stroke emergency transport prediction model is developed by using independently obtained heat stroke-related emergency transport data and correlating detailed location information with weather information by individual attribute. The model has improved accuracy, especially at the peak, and provides effective information for alerting the people. The model also estimates the number of emergency heat stroke cases under future climate conditions.
- Models are developed to evaluate vulnerability to heat stroke on a town-by-town and character-by-character basis by proposing a new index called the Urban Functional Agglomeration Index. For risk assessment, we propose a method to use the cumulative time of WBGT as a new alert indicator and developed a risk assessment model for each grid unit of outdoor space using the cumulative time of MRT and human flow data. In addition, we develop a guidebook for heat stroke prevention, a causal structure model for behavior change, and a navigation system for avoiding heat stroke. Furthermore, as an adaptive infrastructure for outdoor spaces, we propose a heat shelter using wood and membranes, and clarified its heat mitigation effects based on the heat environment and physiological responses of the human body.
- A Living Labs is established and implemented to realize the co-creation process in industry, government, academia, and the private sector. Facilitator manuals, a process model, and evaluation models that promote co-creation are developed and applied in practice, showing that the adaptation measures work effectively and have a significant social impact.