

平成 31 年 4 月 5 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04464

研究課題名（和文）専門家協働ワークショップによる気候変動に対する適応都市設計ガイドラインの作成

研究課題名（英文）Organization of adaptive urban design guidelines for climate change through expert collaborative workshops

研究代表者

竹林 英樹（Takebayashi, Hideki）

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80304129

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：ドイツと日本の代表的な都市における将来気候の予測結果に基づいて都市環境気候図を作成し、都市計画実務者と気候専門家による専門家協働ワークショップを通して、適応都市の具体像を検討した。最終年度にドイツのカールスルーエ、エッセン、ベルリンと日本の神戸で専門家協働ワークショップを実施し、適応都市設計ガイドラインの作成を進めるとともに、関連分野の職員との間で情報、意見交換を行い、適応都市の実現に向けた検討の方向性や課題を議論した。具体的には、外部空間の緑や外部環境に対する市民の感覚、メンテナンスに対する行政と市民の役割分担、施策の実践に向けた行政、大学、企業等の協働関係、などが議論された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、極端な高温化現象を背景として、街区レベルでの暑さ対策の検討、実践が課題となっている。極端な高温化現象は、世界的には熱波と呼ばれ、多くの死者が発生する気象災害として認識されている。この課題に対して、技術的な対応として、将来気候の予測結果に基づいて都市環境気候図を作成し、適応都市設計ガイドラインを整備した点に学術的意義があり、それらの成果を背景として、専門家協働ワークショップを実施し、行政、大学、市民、企業が連携して取り組む方向性を議論した点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Based on the prediction results of future climate in several cities of Germany and Japan, urban environmental climate map was created, and the potential image of the adaptation city was discussed through the expert collaboration workshop by urban planning and climate experts. In the final year, we carried out expert collaborative workshops in Karlsruhe, Essen, Berlin in Germany and Kobe in Japan. We examined the adaptive urban design guidelines and exchanged information and opinions with the experts in this field, and discussed the direction and issues of the study toward the realization of the adaptation city. The followings were discussed; citizen's sense of outdoor environment and green, roles of government and citizens for the green maintenance, collaboration between government, university and company for the practice of measure.

研究分野：都市環境工学

キーワード：適応策 適応都市 暑さ対策 ワークショップ 専門家 ドイツ 都市環境気候図 熱波

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化現象に加え都市を取り巻く環境はより複雑性を増している。地球温暖化問題に対しては、CO<sub>2</sub> 排出量の抑制による緩和策とともに、温暖化に伴う様々な影響を出来る限り低減する適応策の検討も必要であると指摘されている。将来予想される気候変動に対して、建築、都市の分野においても適切な適応策を講じる必要がある。極端な高温化現象は、世界的には熱波と呼ばれ、インドなどでは多くの死者が発生する気象災害として認識されている。エアコンの普及が進んだ日本においても、その利用が不適切な場合や、屋外での活動を避けられない場合、体調不良と重なる場合などに熱中症となる危険性があり、高温時の熱中症搬送者数の増加が指摘されている。熱中症を回避するには、人体の高温環境への暴露を回避する必要がある。夏の外部空間において、高温環境から人体を回避するには、ミスト散布やクールペイブメント、クールウォールも提案されているが、日陰へ人を誘導することが最も有効である。

### 2. 研究の目的

本研究では、気候変動に適応する都市を“適応都市”と呼び、その具体像を描くことを目的とした。以前より学術交流を続けてきたシュツットガルト大学のバウミュラー教授とのディスカッションを通して、専門家協働ワークショップによる適応都市の具体像の検討について研究計画を構想した。バウミュラー教授は、シュツットガルト市において長年にわたり都市環境気候図（クリマアトラス）の整備を担当し、都市計画に対して風の道の重要性を主張するなど実践的な研究の実績を有する。バウミュラー教授は 2015 年 3 月に来日し、神戸市の都市計画実務者（住宅都市局、建設局、みなと総局、都市問題研究所）との意見交換を実施し、都市計画実務者の認識、研究者側からの情報提供の可能性などについて情報交換、及び、課題認識を行っている。

### 3. 研究の方法

本研究では、都市形態と熱（主に放射と風）環境の関係の分析結果に基づき、都市形態に応じた高温化適応策の導入戦略を検討した。これらの検討を通して、世界の多くの都市で発生するリスクがある極端な高温化（熱波）による災害に対する工学的な対処方法の提案、整理を行った。具体的には以下の項目を検討した。代表的な都市空間を対象として街路形態の特徴が街路空間内の日射受熱量分布に及ぼす影響を分析し、放射環境に注目した高温化適応策の導入戦略を検討した。同様に街路形態の特徴が街路空間内の風環境に及ぼす影響を分析し、風環境に注目した高温化適応策の導入戦略を検討した。それらの結果を踏まえて街路形態の特徴に基づく高温化適応策の優先導入箇所を提示する際の指針を検討した。これらの知見をカールスルーエ、エッセン、ベルリン、神戸の関連部局の専門家と共有する機会を持つことで、今後の検討の方向性や課題を考察した。

### 4. 研究成果

#### (1) 高温化適応策の優先的導入箇所の検討

高温化による悪影響を緩和するための様々な対策技術が既に提案されている。日射遮蔽（日除け、オーニング）、蒸発冷却（緑化、保水性材料）、ミスト散布、風の道などに代表される対策技術を適材適所に導入する必要がある。そのためには、導入対象箇所の特徴を適切に把握する必要がある。本研究では、夏季日中の極端な高温化現象に注目し、その特徴を都市スケール、街区スケール別に分析し、どの様な箇所から優先的に導入するのが適当であるか検討した。

都市スケールでの温熱感指標の分析結果（図 1）より、海風の進入に伴う気温低下、湿度上昇、風速増加の複合的な効果により、温熱感指標の SET\*は海岸付近で若干低くなった。海岸付近の湿度上昇の悪影響は顕著ではなく、海岸付近では海風の進入により高温化が若干緩和される傾向にあると考察された。

街区スケールでの分析結果（図 2）より、広幅員の東西道路とオープンスペースでホットスポットのリスクが高い。東西道路での対策が必要であるとともに、南北道路の積極的な利用が想定される。次の提言案が導出された。東西道路では南側に歩行者を誘導することが望ましい。北側には街路樹等により日陰を作る必要がある。南北道路では午前東側、午後西側に歩行者を誘導することが望ましい。15m 以下の道路幅の道路で弱風になるリスクが高い。主風向に平行で広幅員の道路が風の道として温熱環境緩和に有効である。

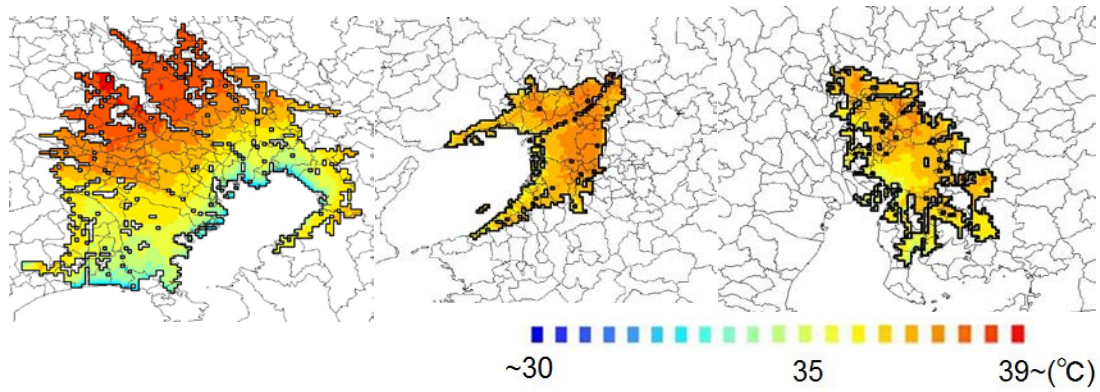


図1 夏季晴天海風日 14 時の東京，大阪，名古屋の温熱感指標 SET\*（標準新有効温度）分布



図2 夏季晴天日の日積算日射量の 80%未満と以上（神戸市中心市街地南部）

## (2) 高温化適応策の概要と効果

まちなかの暑さ対策ガイドライン，平成 28 年度環境省委託業務報告書，大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアムアイデアコンペに掲載されている高温化適応策のメニュー，評価指標，主な効果メカニズムを整理した。いずれの検討でも類似のメニューが挙げられており，効果のメカニズムは，日射遮蔽，蒸発冷却，日射反射が主であり，日射透過率，蒸発効率（蒸発量），日射反射率が評価指標である。温熱感評価の感度解析により，高温化適応策の性能評価の方法を整理し，様々な高温化適応策を評価した（図 3）。日射遮蔽技術（オーニング，フラクタール形状の日射遮蔽，メッシュ形状の日射遮蔽）による MRT の低下量が大きく，それに伴う SET\* の低下量も大きい。

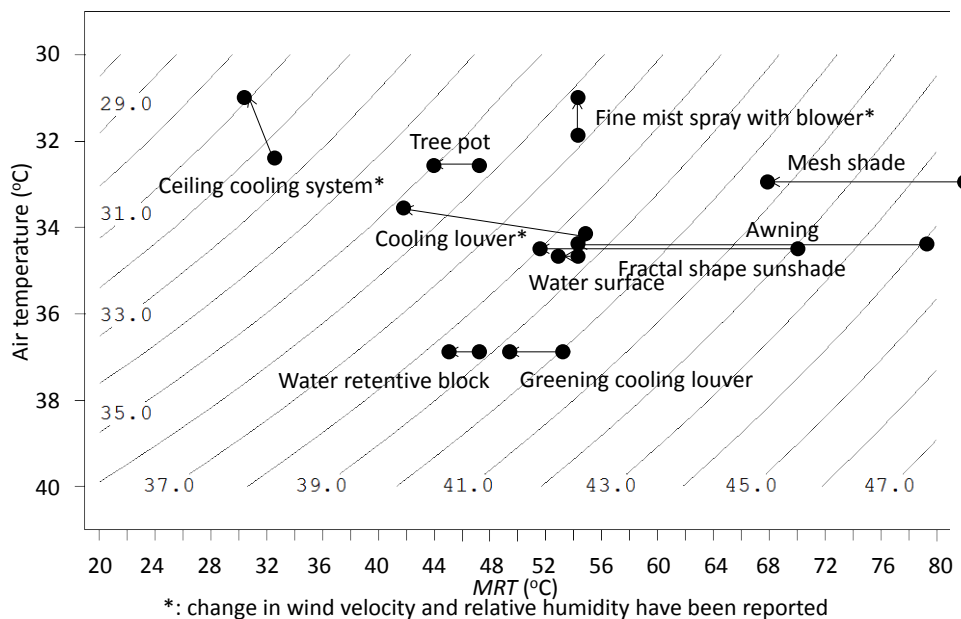


図3 様々な高温化適応策の事例の評価結果（平成28年度環境省委託業務報告書より）

### (3) 専門家協働ワークショップにおける議論

#### ・日本側からの話題提供と議論

日本における暑さ対策に関する取組の概要、暑さ対策技術導入効果の簡易評価方法（竹林）、ホットスポットの抽出結果（橘高）、ドイツと日本の気候特性（森山、渡辺）、専門家ワークショップの可能性（田中）などを紹介した。ドイツの研究者や実務者からは、暑さ対策技術としての蒸発冷却の可能性、ヨーロッパの都市における街路空間内の換気促進への建物高さのバラツキの考慮、気温上昇が冷房負荷に及ぼす影響、人口減少と建築、都市環境の関係、などについて質疑、意見交換が行われた。

#### ・カールスルーエでのワークショップ

カールスルーエ市の環境保護と労働安全局の Julia Hackenbruch 博士より、緩和策、フィージビリティスタディ、適応策の戦略検討を進めていると紹介され、市民の健康の視点から取り組みを進めており、雨水排水の取り組み、グリーンインフラの整備などが具体例として示された。都市計画家で Kaiserslautern 工科大学教授の Martin Berchtold 博士より、都市開発における気候適応の枠組計画として、カールスルーエとともにフライブルグ、チューリッヒの事例が紹介され、都市構造に基づいた温熱環境指標 PET の計算結果からホットスポットを抽出し、適応策の導入戦略が提案された過程が説明され、市民が暑さから非難する場所として市内の動物園などが位置付けられていると説明された。

#### ・エッセンでのワークショップ

ドイツ気象局（DWD）の Guido Halbig 氏より、ハノーファ大学他との共同で開発された都市キャニオンスケールの数値モデル PALM model (The Parallelized Large-Eddy Simulation Model) が紹介された。日本における同様のモデルの開発状況が質問され、共同開発モデルの必要性などについて議論された。ルール地域連合（RVR）の Wolfgang Beckroege 博士より、ルール地域の環境政策の概要が紹介された。エネルギー政策としての太陽光パネルの設置可能性評価、交通問題の課題としてディーゼルエンジン車の規制政策が紹介され、ストリートキャニオン内の高濃度化の課題が議論された。ルール地域連合（RVR）の Astrid Snowdon-Mahnke 氏より、ルール地域のクリマアトラスが紹介された。ローカスケールの検討事例も紹介され、日本の整備状況が質問された。将来気候の予測や適応策に関する検討として、豪雨洪水対策や高齢化率増加に伴う熱中症対策などの課題の検討状況が紹介された。エッセン市の環境局の Matthias Sinn 氏より、エッセン市がグリーンキャピタル 2017 になった経緯が説明された。再開発事例、サイクリングロードの整備状況などが説明された。

#### ・ベルリンでのワークショップ

ベルリン工科大学の Thomas Nehls 博士より、壁面緑化のフィールド測定サイトを案内頂き、コンテナを用いた重量測定による蒸発フラックスの算出結果、日射遮蔽効果と蒸発冷却効果の寄与を分離して評価した結果が説明された。ベルリン工科大学の Fred Meier 博士より、気象タワーなどの測定サイトを案内頂き、観測ネットワーク、タワー、赤外カメラ、ライダーなどの測定とメソ、ローカスケールの計算を組み合わせた研究の成果が紹介された。Citizen weather station を用いた気温の空間分布の分析について議論された。ベルリン工科大学の Achim Holtmann 氏より、ベルリン地域のメソスケールの気温分布の解析結果が紹介された。精度検証の方法と結果、都市後方への移流効果の分析結果などが議論された。環境活動団体（BUND）の Herbert Lohner 氏より、ベルリン市や様々な大学などと連携して都市緑化の推

進や環境配慮施策の実践に向けた計画や枠組み作りを支援する活動やその一環で作成された地図が紹介された。

・神戸での極端な高温化対策に向けた国際ワークショップ

シュツットガルト大学の Juergen Baumueller 教授をゲストに迎え、神戸市の企画調整局、環境局、建設局、住宅都市局より 9 名の専門家（実務者）に参加して頂いて、研究代表者らとともに議論を行った。Juergen Baumueller 教授より、気候変動の実態、都市における影響、ドイツの都市における適応戦略、グリーンインフラによる適応策などが紹介された。外部空間の緑や外部環境に対する市民の感覚、メンテナンスに対する行政と市民の役割分担、施策の実践に向けた行政、大学、企業等の協働関係、などが議論された。2019 年度の具体的な施策の可能性を検討するとともに、三宮駅前の整備に対しては、暑さ対策への配慮に関する知見を反映させる必要があるのではないかと議論された。大学と行政が連携して議論するとともに、関連の部局からも議論に参加頂くことも有効であると認識された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 竹林英樹, 妹尾将司, メソ気象モデル WRF を用いた海岸に立地する都市の規模と夏期のヒートアイランド強度の関係分析, 日本建築学会環境系論文集, 査読有, 第 726 号, 2016, pp.707-713  
<https://doi.org/10.3130/aije.81.707>
- ② H. Takebayashi, High-Reflectance Technology on Building Façades: Installation Guidelines for Pedestrian Comfort, Sustainability, 査読有, 8, 2016, pp.1-9  
<https://doi.org/10.3390/su8080785>
- ③ H. Takebayashi, Y. Kiyama, N. Yamamoto, Analysis of wind and radiant environment in street canyons for production of urban climate maps at district scale, Journal of Heat Island Institute International, 査読有, 12(2), 2017, pp.78-83
- ④ H. Takebayashi, Influence of Urban Green Area on Air Temperature of Surrounding Built-Up Area, Climate, 査読有, 5(3), 2017, pp.1-12  
<https://doi.org/10.3390/cli5030060>
- ⑤ H. Takebayashi, M. Kasahara, S. Tanabe, M. Kouyama, Analysis of Solar Radiation Shading Effects by Trees in the Open Space around Buildings, Sustainability, 査読有, 9(8), 2017, pp.1-9  
<https://doi.org/10.3390/su9081398>
- ⑥ 大田修平, 松尾薫, 横山真, 佐々木唯, 田中貴宏, 広島市における夏季の気温・湿度分布推定および冷房負荷の分布特性に関する研究—メソ気象モデル WRF を用いた検討—, 都市計画論文集, 査読有, 52(3), 2017, pp.739-746  
<https://doi.org/10.11361/journalcpj.52.739>
- ⑦ H. Takebayashi, S. Kyogoku, Thermal Environmental Design in Outdoor Space Focusing on Radiation Environment Influenced by Ground Cover Material and Solar Shading, through the Examination on the Redevelopment Buildings in Front of Central Osaka Station, Sustainability, 査読有, 10(2), 2018, pp.1-11  
<https://doi.org/10.3390/su10020337>
- ⑧ H. Takebayashi, M. Senoo, Analysis of the relationship between urban size and heat island intensity using WRF model, Urban Climate, 査読有, 24, 2018, pp.287-298  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.12.003>
- ⑨ H. Takebayashi, A Simple Method to Evaluate Adaptation Measures for Urban Heat Island, Environments, 査読有, 5, 70, 2018, pp.1-13  
<https://doi.org/10.3390/environments5060070>
- ⑩ H. Takebayashi, T. Tanaka, M. Moriyama, H. Watanabe, H. Miyazaki, K. Kittaka, Relationship between City Size, Coastal Land Use, and Summer Daytime Air Temperature Rise with Distance from Coast, Climate, 査読有, 6, 84, 2018, pp.1-13  
<https://doi.org/10.3390/cli6040084>

[学会発表] (計 5 件)

- ① H. Takebayashi, A Simple Method to evaluate adaptation measures for Urban Heat Island, International Conference Advances in Urban Mitigation Technologies, 2018
- ② H. Takebayashi, Study on evaluation method of heat island adaptation measures, 10th International Conference of Urban Climate, 2018
- ③ K. Kittaka, H. Takebayashi, M. Moriyama, H. Miyazaki, H. Watanabe, T. Tanaka, Characteristics of hotspots in street canyon in various urban blocks, International workshop on wind-related disasters and mitigation, 2018
- ④ H. Takebayashi, T. Tanaka, M. Moriyama, H. Watanabe, H. Miyazaki, K. Kittaka, Relationship between city size, coastal land use and summer daytime air temperature rise with distance from coast, International Conference on Urban Comfort and

Environmental Quality, 2017

- ⑤ H. Takebayashi, Y. Kiyama, N. Yamamoto, Analysis on wind and radiant environment in street canyon for preparation of urban climate map in district scale, The 8th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, 2017

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：田中 貴宏

ローマ字氏名：(TANAKA, Takahiro)

所属研究機関名：広島大学

部局名：大学院工学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：30379490

研究分担者氏名：森山 正和

ローマ字氏名：(MORIYAMA, Masakazu)

所属研究機関名：神戸大学

部局名：大学院工学研究科

職名：名誉教授

研究者番号（8桁）：70047405

研究分担者氏名：渡辺 浩文

ローマ字氏名：(WATANABE, Hironori)

所属研究機関名：東北工業大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：60247236

研究分担者氏名：宮崎 ひろ志

ローマ字氏名：(MIYAZAKI, Hiroshi)

所属研究機関名：関西大学

部局名：環境都市工学部

職名：専任講師

研究者番号（8桁）：50254462

研究分担者氏名：橋高 康介

ローマ字氏名：(KITTAKA, Kosuke)

所属研究機関名：神戸大学

部局名：工学研究科

職名：教室系技術職員

研究者番号（8桁）：90772640