

4. 6-3 熱中症発生要因の分析と熱中症予防行動の検討

4.1 概要

4.1.1 背景・目的

都市化の進展に伴うヒートアイランド現象の進行に重ねて、気候変動による気温上昇によって熱中症などの健康被害が生じている。たとえば、福岡市内の熱中症搬送状況は、冷夏や WBGT（暑さ指数）が低い時期にも搬送者が発生する実態があり、既存の熱中症予防の指標（気温・WBGT）だけでは、十分な予防行動がとれないという課題がある。

本調査は、熱中症の発生状況を把握し、将来の気候変動の影響も加味した上で、適応策と熱中症予防行動に係る普及・注意喚起方法の検討を行ったものである。

4.1.2 実施体制

本調査の実施者：一般財団法人九州環境管理協会

アドバイザー：国立研究開発法人国立環境研究所 客員研究員 小野雅司

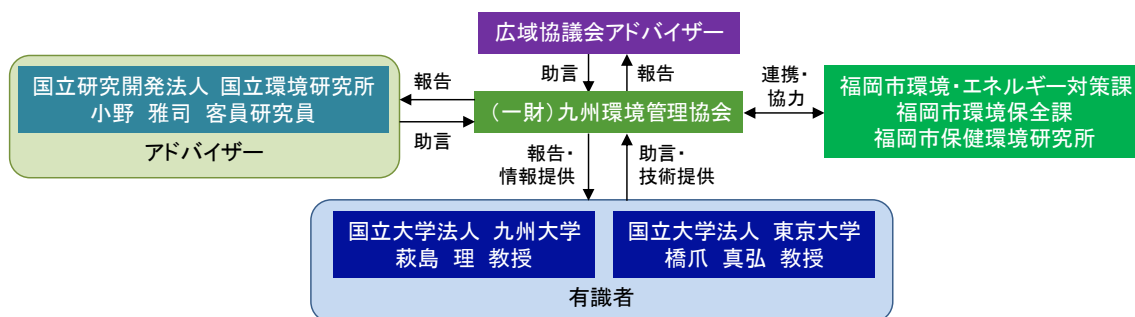


図 4.1-1 実施体制

4.1.3 実施スケジュール（実績）

平成 29 年度は、福岡市における熱中症救急搬送データ、気象観測データ、建物用途・形状データ等の基礎データを収集整理するとともに、人工排熱量算定及び都市気温シミュレーションモデルの構築、ならびに熱中症に関する既往研究の知見を踏まえた熱中症救急搬送データの分析を実施した。

平成 30 年度は、福岡市内の夏季の気温分布を現地観測し、その結果を検証データとして、都市気温シミュレーションモデルによる気温予測結果の妥当性を確認した。また、将来影響予測に用いる影響評価式として、熱中症救急搬送者数と気象要素（気温、WBGT 等）の関係式を導出し、これと将来の都市気温シミュレーションの結果から、熱中症救急搬送者数を指標とする将来影響予測を実施した。

令和元年度は、既存対策事例等から有効と考えられる適応策をリストアップした上で、熱中症救急搬送データの分析結果や現地踏査・ヒアリングの結果、都市気温シミュレーションによる対策実施の効果予測結果等から、効果が高いと考えられる適応策を選定した。その上で、熱中症予防に効果的な啓発・注意喚起のあり方を検討するとともに、本調査の手法や結果の他地域への適用性を検討した。

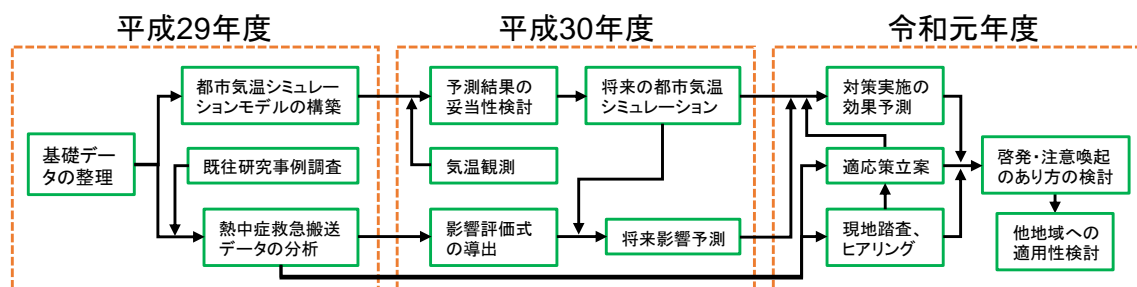


図 4.1-2 実施スケジュール

4.1.4 気候シナリオ基本情報

表 4.1-1 気候シナリオ基本情報

項目	福岡市における年間の熱中症救急搬送者数
気候シナリオ名	気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム
気候モデル	MRI-NHRCM02
気候パラメータ	気温、降水量、スカラー風速、比湿、下向き短波放射量、 下向き長波放射量（いずれも時別値）
排出シナリオ	RCP8.5
予測期間	21 世紀末
バイアス補正の有無	【気温、降水量、スカラー風速、比湿、下向き短波放射量】 あり（地域） 【下向き短波放射量】 なし

4.1.5 気候変動影響予測結果の概要

文献調査の結果、熱中症救急搬送者数は気温や暑さ指数（WBGT）との相関が高く、これらの上昇にともない指数関数的に増加する傾向にあることがわかった。

また、将来の熱中症発生リスクに関して将来予測を行ったところ、RCP8.5 では、福岡市における夏季（4月～10月）の平均気温は、現在から21世紀末にかけて、平均で約4℃上昇すると予測された。その場合、福岡市における21世紀末の熱中症発生リスクは現在の3～4倍となり、また都市のヒートアイランド現象により、都心部での熱中症発生リスクは住宅地の1.2倍程度となる可能性がある。

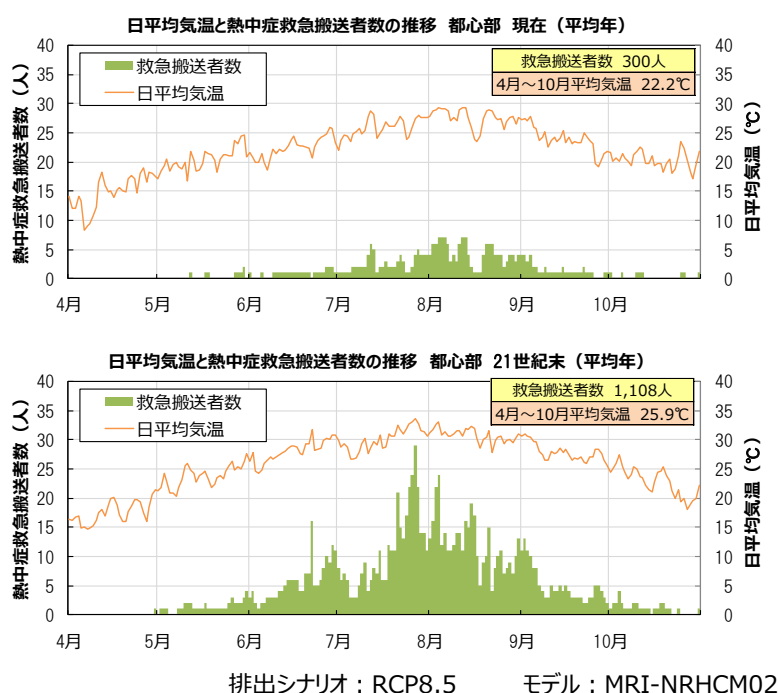


図 4.1-3 熱中症救急搬送者数の将来予測

（上：現在、下：21世紀末、いずれも都心部の都市構造を想定）

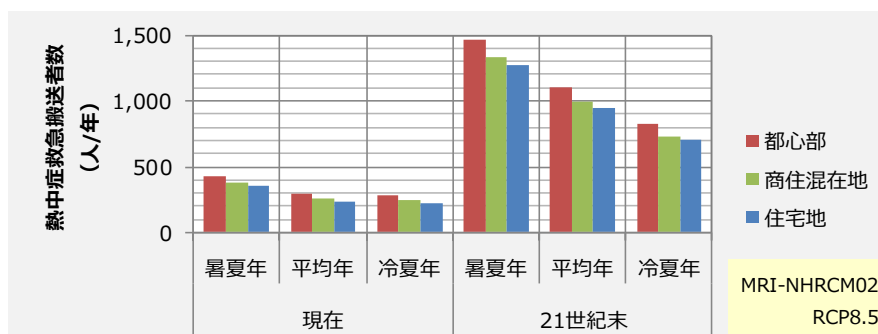


図 4.1-4 熱中症救急搬送者数の将来予測（都市形態別）

4.1.6 活用上の留意点

4.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気候変動による気象の変化（気温、降水量、風速、湿度、短波及び長波の放射量）のほか、都市のヒートアイランド現象の原因となる諸要素（人工排熱量、地表面被覆、都市形態）を考慮して、福岡市全域における年間の熱中症救急搬送者数の変化を予測した。

4.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

本調査において、福岡市における将来の熱中症救急搬送者数の予測を実施するにあたり、以下に示すような、現在から将来に向けての諸要素の変化は考慮していないことに注意が必要である。

- ・人口及び年齢構成の変化
- ・人工排熱量、地表面被覆、都市構造等の変化
- ・熱中症予防に関する人々の意識や対処行動の変化
- ・人々の生活スタイルや行動パターンの変化
- ・数十年かけて徐々に気温が上昇する過程での、暑熱に対する人の順化

4.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項

現在及び将来の都市気温予測に用いたシミュレータ AUSSSM は、同一形状の直方体建物が等間隔に無限に並ぶ理想的な都市の気温を予測するモデルであり、本調査ではこのモデルを用いて、福岡市内の都心部や住宅地など代表的な街並みの建物立地条件下での都市気温を予測し、その結果から福岡市全体としての熱中症救急搬送者数を推計している。つまり、たとえば本調査での「都心部の予測結果」とは、「福岡市内の都心部の街並みが無限に広がっている状況を仮定した場合の、福岡市全体での年間の熱中症救急搬送者数の予測結果」であり、実際の街並みのもとでの気温予測結果に基づき都心部や住宅地など土地利用種別に熱中症救急搬送者数を集計したものではない点に注意が必要である。

4.1.7 適応オプション

表 4.1-2 適応オプションのまとめ

分類	適応 オプション	想定される 実施主体			評価結果								備考
					現状		実現可能性				効果		
		行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト 面	情報 面	効果 発現 までの 時間	期待 される 効果の 程度	
熱環境 低荷の 低減	緑陰・日除 け・再帰反 射窓面の設 置	●	●		－	・設置に掘削が必要 ・製品、設置場所によっては関係 機関との調整が必要 ・緑陰の場合、樹木への支柱や灌 水設備、水の確保が必要 ・施工後、樹木・日除け材の清掃 や生育管理、害虫駆除等の管理体 制の確保が必要 ・緑陰の場合、信号や看板等の視 界を遮らないように注意が必要 ・人工日除けの場合、方位特性が ある製品は季節、時間帯によって 日射遮蔽効果が変化することがあ る ・強風等で破損する恐れがある	△	○	△	◎	短期	高	
	ミスト噴 霧・噴射	●	●		－	・強風時のミスト拡散、高温条件 下での不快感増大など、効果が期 待できない条件もある ・稼動に電気が必要 ・車道際に設置する場合、噴射量 や風向きにより交通の視認性への 影響が懸念されている ・ミストが人の口に入ったり吸引 される可能性を考慮して水質とタ ンク、ホースの管理が必要	△	○	△	◎	短期	中	
日常に おける 熱中症 予防	暑さ指数 （WBGT 値）、天気 予報等の活 用		●	●	－	特になし	◎	◎	◎	◎	長期	高	
通常の 回避	暑さ指数 （WBGT 値）計の準 備		●		－	・作業場所によって数値が大きく 異なる場合がある ・黒球が付いていない測定器は屋 外などの輻射熱がある作業場所に おいて、実際よりも低い数値が表 示されることがある	◎	○	△	◎	長期	高	
	室温の管理		●	●	－	・スポットクーラーからは逆向き に熱風が出ているため、スポット クーラー利用時には設置場所に注 意が必要である	◎	○	△	◎	長期	高	
回避で きない 緊急時 への対 応 ※1	救急車適正 利用の推進 ※1	●			－	・「効果発現までの時間」や「期 待される効果の程度」が、利用者 （個人）の意識に大きく左右され る。	△	○	△	◎	N/A	中	
	民間救急事 業者の利用 ※1	●	●	●	－	不明	△	○	△	△	N/A	中	
普及啓 発	熱中症予防 に関する啓 発、指導、 教育支援等	●	●		－	特になし	◎	○	N/A	◎	N/A	低	
	熱中症関連 製品の普及 促進	●	● ※2		－	特になし	◎	○	N/A	◎	N/A	低	

※1 本調査において独自に追加した分類及び適応オプションである。

※2 (公社)日本保安用品協会、(一社)日本電気計測器工業会を実施主体とする対策である。

表 4.1-3 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
緑陰・日除けの設置	8月の晴天日昼間に福岡市内で実施した現地踏査により、日陰のWBGTは日向より最大で2℃程度低かった。 【出典】本調査での現地踏査による。
ミスト噴霧・噴射	福岡市役所前での実測事例では、日向でのミスト噴霧により、WBGTは約1℃低下した。 【出典】平成20年度大都市オフィス街をモデル地区とした熱環境管理推進事業委託業務報告書（平成21年3月 福岡市）
暑さ指数（WBGT値）、天気予報等の活用	「福岡市防災メール」「福岡市LINE公式アカウント」などを通じた熱中症情報提供が既に運用中である。 【出典】福岡市 防災・危機管理情報 https://www.city.fukuoka.lg.jp/bousai/index.html
暑さ指数（WBGT値）計の準備	福岡市役所ふれあい広場や福岡市保健環境研究所などへの暑さ指数計設置とモニター表示が夏季に実施されている。 【出典】「福岡市の環境施策」（福岡市環境審議会資料）
室温の管理	福岡市内の市民体育館では、夏季には冷房により室温管理が行われている。 【出典】本調査での現地踏査による。
救急車適正利用の推進	普及状況は、福岡県では平成28年度から救急電話相談事業が開始されており、ポスター等による普及活動も進められていることから、情報面は「実施事例有り」（◎）としたが、普及状況については利用件数等のデータがなく判断がつかないため「不明」（－）とした。 効果発現までの時間は、利用者（市民）の意識に大きく左右されることから、「評価が困難である」（N/A）とした。 期待される効果の程度は、代替策として相対比較が可能な適応オプションがないことから「中」とした。
民間救急事業者の利用	民間救急サービスは国内でも広く普及しているが、自治体消防部局との連携の有無に関する情報がなく普及状況の判断がつかないため、普及状況は「不明」（－）、情報面は「実施事例無し」（△）とした。 効果発現までの時間は、実施事例がなく実現性の判断がつかないことから、「評価が困難である」（N/A）とした。 期待される効果の程度は、代替策として相対比較が可能な適応オプションがないことから「中」とした。
熱中症予防に関する啓発、指導、教育支援等	ホームページを通じて熱中症予防に関する情報が発信されているほか、「パネル展示」「熱中症予防街頭キャンペーン」「出前講座」などの取り組みが進められている。 【出典】福岡市 熱中症情報 http://heatstroke.city.fukuoka.lg.jp/
熱中症関連製品の普及促進	高齢者の見守り活動支援の一環として、高齢者への暑さ指数計の配布などが行われている。 【出典】福岡市環境局ヒアリングによる。

4.2 気候シナリオに関する情報

4.2.1 気候シナリオ基本情報

表 4.2-1 気候シナリオ基本情報（表 4.1-1 再掲）

項目	福岡市における年間の熱中症救急搬送者数
気候シナリオ名	気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム
気候モデル	MRI-NHRCM02
気候パラメータ	気温、降水量、スカラー風速、比湿、下向き短波放射量、 下向き長波放射量（いずれも特別値）
排出シナリオ	RCP8.5
予測期間	21 世紀末
バイアス補正の有無	【気温、降水量、スカラー風速、比湿、下向き短波放射量】 あり（地域） 【下向き短波放射量】 なし

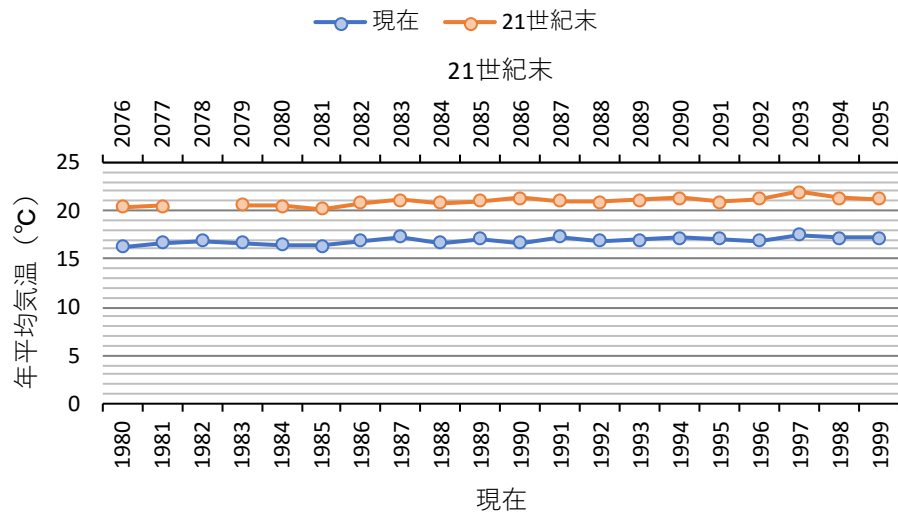
4.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

4.2.2.1 気温

年平均気温の経年変化を図 4.2-1 に示す。

21 世紀末（RCP8.5）は、現在に比べて平均的に約 4℃高くなっている。

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02



注) 各年とも、9月1日～翌年8月31日の年間値として集計した。

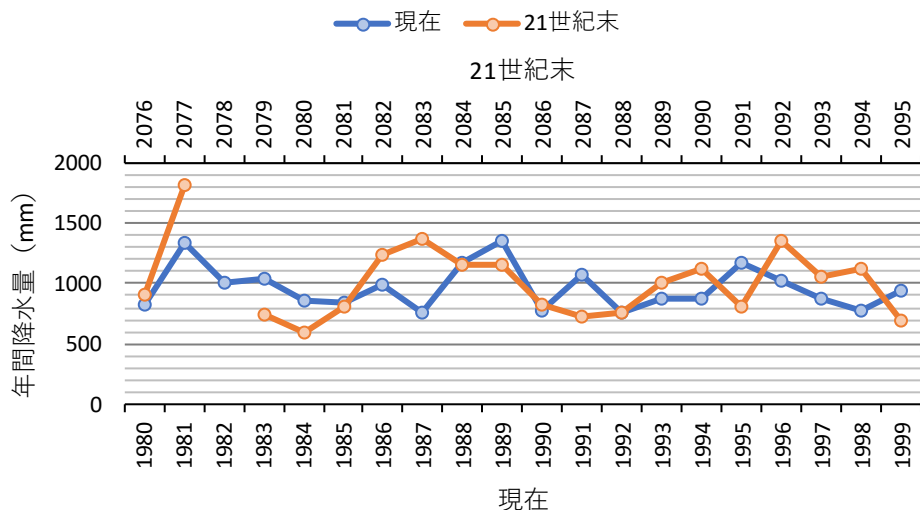
図 4.2-1 年平均気温の経年変化

4.2.2.2 降水量

年間降水量の経年変化を図 4.2-2 に示す。

21 世紀末（RCP8.5）と現在とで、大きな違いはみられない。

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02



注) 各年とも、9月1日～翌年8月31日の年間値として集計した。

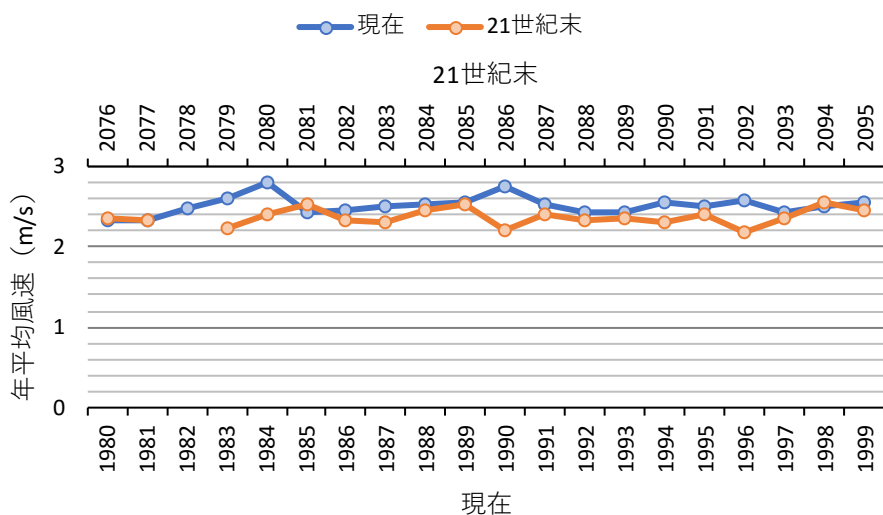
図 4.2-2 年間降水量の経年変化

4.2.2.3 スカラー風速

年平均風速の経年変化を図 4.2-3 に示す。

21 世紀末（RCP8.5）は、現在に比べて若干の低下がみられる。

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02



注) 各年とも、9月1日～翌年8月31日の年間値として集計した。

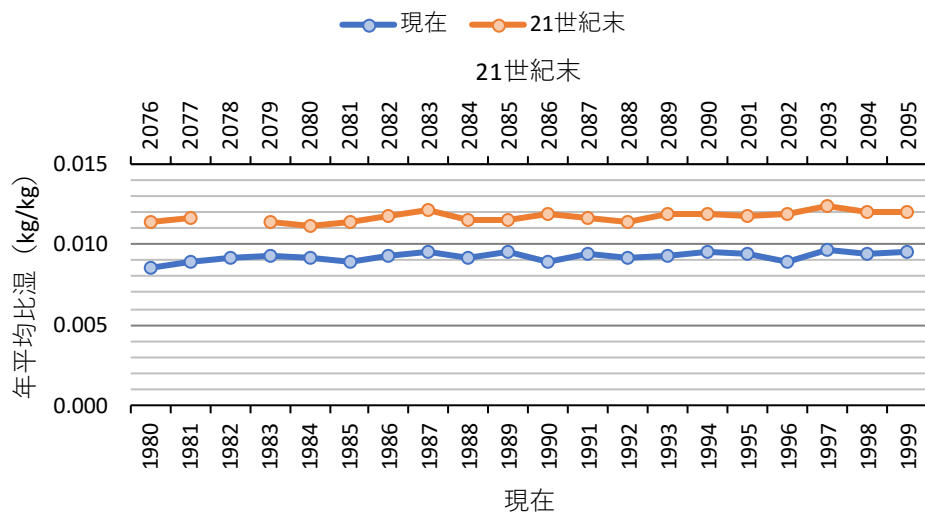
図 4.2-3 年平均風速の経年変化

4.2.2.4 比湿

年平均比湿の経年変化を図 4.2-4 に示す。

21 世紀末（RCP8.5）は、現在に比べて 0.002～0.003kg/kg の上昇がみられる。気温の上昇にともない飽和水蒸気圧が上昇するためと考えられる。

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02



注) 各年とも、9月1日～翌年8月31日の年間値として集計した。

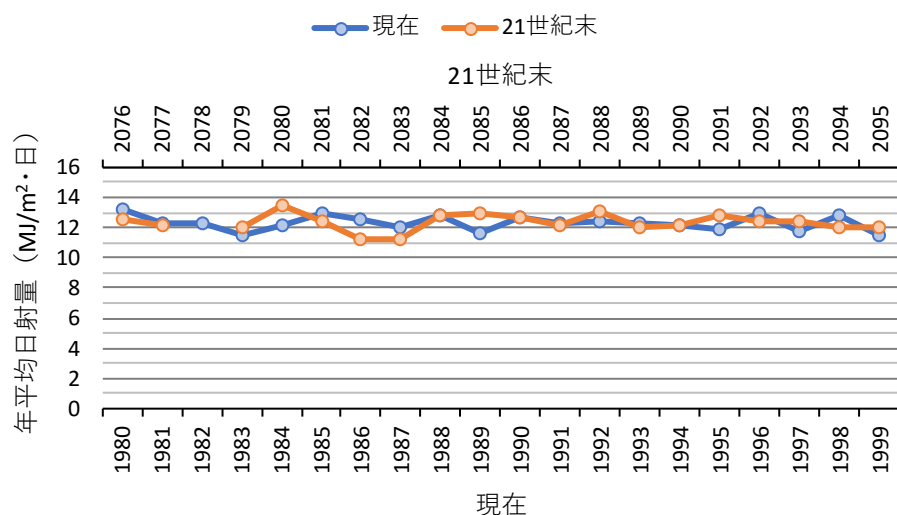
図 4.2-4 年平均比湿の経年変化

4.2.2.5 下向き短波放射量

年平均下向き短波放射量（日射量）の経年変化を図 4.2-5 に示す。

21 世紀末（RCP8.5）と現在とで、大きな違いはみられない。

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02



注) 各年とも、9月1日～翌年8月31日の年間値として集計した。

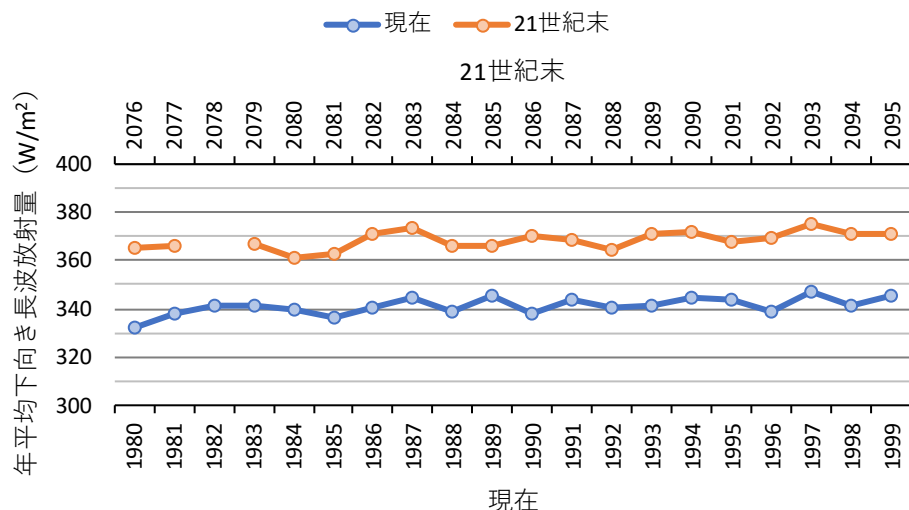
図 4.2-5 年平均日射量の経年変化

4.2.2.6 下向き長波放射量

年平均下向き長波放射量の経年変化を図 4.2-6 に示す。

21 世紀末 (RCP8.5) は、現在に比べて 20～30W/m² の上昇がみられる。気温の上昇によるものと考えられる。

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02



注) 各年とも、9月1日～翌年8月31日の年間値として集計した。

図 4.2-6 年平均下向き長波放射量の経年変化

4.2.3 気候シナリオに関する留意事項

本調査での将来影響予測に用いた気候シナリオは「気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム」である。この気候シナリオでの予測期間は、現在気候として 1980 年 9 月 1 日～2000 年 8 月 31 日、21 世紀末気候として 2076 年 9 月 1 日～2096 年 8 月 31 日の各 20 年間の 1 時間値（時刻は UTC）であるが、各期間ともデータは 9 月 1 日から 8 月 31 日までの 1 年分が 1 セットとなっており、同じ年の 8 月 31 日から 9 月 1 日にかけてのデータの連続性は担保されていない。

これに対し、本調査における将来影響予測では、熱中症救急搬送が生じる 4 月～10 月を予測対象時期としている都合上、連続性が担保されない 8 月 31 日データと 9 月 1 日データを、やむを得ず連続データとして取り扱っている。将来影響予測結果の解釈にあたっては、この点に留意が必要である。

4.2.4 バイアス補正に関する情報

4.2.4.1 バイアス補正を行う気候指標

将来気温のシミュレーションに境界条件として与える気候指標は、①気温、②降水量、③スカラー風速、④比湿、⑤下向き短波放射量（日射量）、及び⑥下向き長波放射量、の6指標であり、これらは全て、気候シナリオデータセットとして使用予定の気象研究所力学的ダウンスケーリングデータ（2km）の出力値に含まれている。一方で観測値については、6指標のうち⑥を除く①～⑤に関しては、モデル自治体である福岡市の概ね中央に位置し、また異なる都市構造を代表する3地区とも近接する福岡管区気象台において直接観測されているか、あるいは直接観測指標からの推計が可能な指標である。したがって、バイアス補正の対象とする気候指標は、福岡管区気象台観測値が入手可能な①～⑤とし、対象箇所は福岡管区気象台に最寄りの格子点（x136y691）とした。バイアス補正を行う指標の詳細を表4.2-2に示す。

表 4.2-2 バイアス補正を行う指標

	内容
データセット	気象研究所力学的ダウンスケーリングデータ
気候指標	気温、降水量、スカラー風速、比湿、下向き短波放射量（日射量）
対象箇所	福岡管区気象台に最寄りの格子点（x136y691）
空間解像度	2km 格子
時間解像度	1 時間
対象時期	1980 年 9 月 1 日 ～ 2000 年 8 月 31 日（JST）
バイアス補正 に用いる観測 データ	【データ名】気象庁地上気象観測データ（福岡管区気象台）
	【入手方法】気象庁 HP から DL
	【概要】位置：N33° 34.9' E130° 22.5' 地上標高：2.5m 風速計設置高さ：24.5m
	【期間】1980 年 9 月 1 日～2000 年 8 月 31 日 ただし、気象庁 HP で公開されている福岡管区気象台観測値のうち降水量以外の指標は、概ね 1989 年以前は 3 時間ごとの値であったことから、実際には 1 時間ごとの値が入手できた下記期間のデータ（いずれも JST）を用いてバイアス補正を検討した。
	① 気温 : 1990/01/01 0:00 ～ 2000/08/31 23:00
	② 降水量 : 1980/09 /01 0:00 ～ 2000/08/31 23:00
	③ 風速 : 1990/01/01 0:00 ～ 2000/08/31 23:00
	④ 比湿 : 1990/01/01 0:00 ～ 2000/08/31 23:00
	⑤ 日射量 : 1989/04/01 0:00 ～ 2000/08/31 23:00
	【気候指標】気温、降水量、風速、全天日射量、相対湿度、大気圧 （注：相対湿度と大気圧は比湿の推計に使用）
	【空間解像度】地上気象観測地点
	【時間解像度】1 時間

4.2.4.2 バイアス補正

気候シナリオデータと気象観測値の間のバイアスの有無を確認した上で、複数の手法でバイアス補正を施したときのバイアスの低減の程度を確認した。その結果の記述にあたっては、気候指標ごとに個別に記述することも可能であるが、同様の記述が繰り返されて冗長になることから、全ての気候指標の結果をまとめて記述することとした。

なお、以降は福岡管区気象台観測値を「観測値」、気候シナリオデータを「予測値」と略記している。

(1) 気候シナリオの再現性（バイアスの状況の確認）

1) データの準備

再現性を検討するため、以下の式により予測値と観測値の単位を統一した。

①気温

予測値は絶対温度（単位 K）、観測値は摂氏温度（単位℃）であることから、換算は以下のとおりとした。

$$\text{摂氏温度 (℃)} = \text{絶対温度 (K)} - 273.15$$

②降水量

予測値と観測値のいずれも 1 時間積算降水量（単位 mm）であることから、換算は不要である。

③下向き短波放射量（日射量）

予測値は 1 時間ごとの瞬時値（単位 W/m²）、観測値は 1 時間積算値（単位 MJ/(m²・h)）であることから、換算は以下のとおりとした。

$$1 \text{ MJ/(m}^2\cdot\text{h)} = 277.84 \text{ W/m}^2$$

④スカラー風速

観測値の観測標高（24.5m）から予測値の出力標高（10m）への換算は以下のとおりとした。

$$U_z = U_R (Z/Z_R)^{1/n}$$

ここに、 U_z ：変換後の風速、 U_R ：観測風速、 Z ：変換する標高（=10m）、
 Z_R ：観測値の標高（=24.5m）、 n ：地形形状による係数（=5）

⑤比湿

福岡管区気象台では比湿は観測されていないため、気温、相対湿度及び大気圧の観測値から、次式を用いて推計した。

$$\text{比湿 (kg/kg)} = 0.622 \times (\text{RH}/100 \times e_{\text{sat}}) \div (P - 0.378 \times \text{RH}/100 \times e_{\text{sat}})$$

ここに、RH：相対湿度（%）、P：大気圧（hPa）

$$e_{\text{sat}} = 6.1078 \times 10^{7.5T/(T+237.3)} \quad T: \text{気温 (℃)}$$

2) 発生頻度の比較

気候指標ごとにランク別の発生頻度を集計し、予測値と観測値の発生頻度の差から RMSE (Root Mean Squared Error) を計算し類似性を検討した。RMSE の計算結果を表 4.2-3 に示し、発生頻度を図 4.2-7 に示す。

日射量に関しては、 $0.1 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 以下の値の発生頻度に大きな差がみられる。予測値は毎正時の短波放射量（単位 W/m^2 ）であるのに対して、観測値は毎正時前 1 時間の積算日射量（単位 $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ）であり、比較においては瞬時の予測値を 1 時間積算日射量に換算しているが、日の出の時刻や日の入りの時刻は必ずしも毎正時とは一致しないことから、日の出の直後や日没の直前など放射量がゼロに近い時間帯の換算値に比較的大きな誤差が生じていることがその一因と考えられる。なお、 $0.1 \text{ MJ}/\text{m}^2$ を超える日射の発生頻度の傾向は、予測値と観測値とで大きくは変わらない。

降水量に関しても、 $1 \text{ mm}/\text{h}$ 以下の値の発生頻度に大きな差がみられる。降水量の観測値は $0.5 \text{ mm}/\text{h}$ 単位であり、同じ $0.0 \text{ mm}/\text{h}$ でも「該当現象なし」（無降雨）と「 $0.5 \text{ mm}/\text{h}$ 未満」の 2 種類があるため、 $0.5 \text{ mm}/\text{h}$ 未満の観測値と予測値をどのように突き合わせるかによって結果は大きく変わり得るが、降水量の経時変化の傾向を観測値と予測値とで比較すると、降水の出現時刻や変動パターンにも比較的大きな違いがみられるなど、この差はモデルバイアスに起因するものと推定される。ただし、 $1 \text{ mm}/\text{h}$ を超える降雨の発生頻度の傾向は、予測値と観測値とで大きくは変わらない。

また、これら 2 指標に比べると、気温、風速及び比湿の発生頻度の傾向は、出現範囲全体にわたって極端に大きな差はみられない。

表 4.2-3 発生頻度の RMSE

	気温	降水量	日射量	風速	比湿
RMSE	318.2	336.1	823.7	53.5	60.0
標本数	46	46	46	46	46

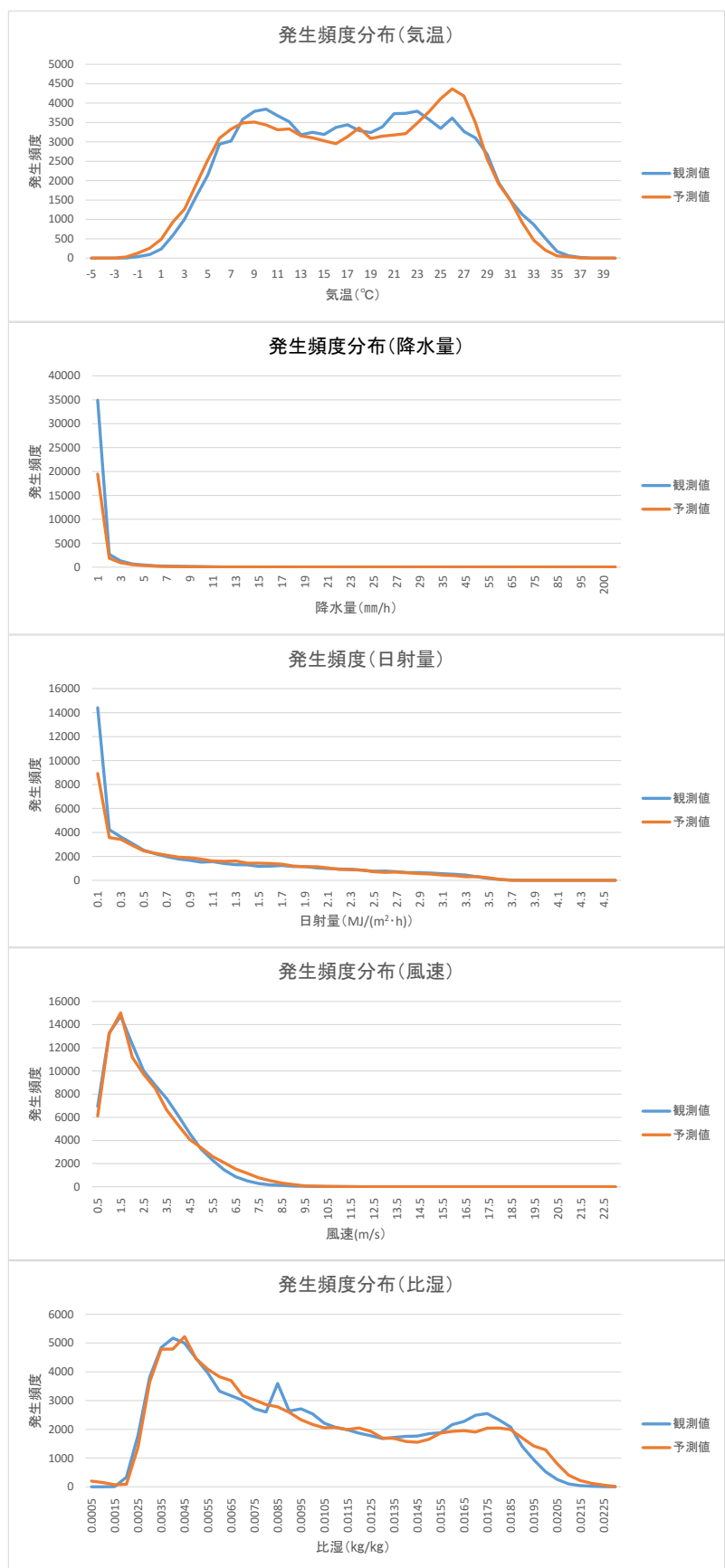


図 4.2-7 発生頻度の比較図

(2) 補正手法

バイアス補正手法は、対象とする気候指標や時間平均スケール等に応じて様々な方法が提案されているが、確立した方法がないのが現状である。また、日平均値や極値を対象とした手法の研究はあるものの、今回の検討に用いる時間値に対しての補正手法に関する研究は少ない。そのため、一般的に用いられている以下の4つの手法により、補正によるバイアス低減の程度を把握し比較した。

①Piani et al. (2010)の方法（降順ソート）（case1）³⁰

予測値、観測値を、それぞれをソートし、大きい方から小さい方に順に並べる。ソートされた予測値、観測値をそれぞれ x 、 y の値と見なして xy 平面にプロットする。そして、 x と y の線形関係を最小二乗法によって求める。

②Piani et al. (2010)の方法（昇順ソート）（case2）³¹

予測値、観測値を、それぞれをソートし、小さい方から大きい方に順に並べる。ソートされた予測値、観測値をそれぞれ x 、 y の値と見なして xy 平面にプロットする。そして、 x と y の線形関係を最小二乗法によって求める。

③統計的手法 1（case3）³²

次式による。

$$X_{c,mod i} = \overline{X_{obs}} + \frac{\sigma_{obs}}{\sigma_c} (X_c - \overline{X_c})$$

ここに、 $X_{c,mod i}$: バイアス補正後の値、 $\overline{X_{obs}}$: 観測値の平均値、

σ_{obs} : 観測値標準偏差、 X_c : 予測値、 $\overline{X_c}$: 予測値の平均値、

σ_c : 予測値の標準偏差

④統計的手法 2（case4）³²

次式による。

$$X_{c,mod i} = \frac{\overline{X_{obs}}}{\overline{X_c}} X_c$$

ここに、 $X_{c,mod i}$: バイアス補正後の値、 $\overline{X_{obs}}$: 観測値の平均値、 $\overline{X_c}$: 予測値

³⁰ たとえば「地球温暖化予測情報第8巻」，気象庁

³¹ たとえば「気象研究所非静力学地域気候モデルによる日本付近の将来気候変化予測について 気象研究所技術報告 第73号」気象研究所技法第73号，気象研究所

³² たとえば「力学的ダウンスケーリングによる近未来標準気象データの試作と精度検証」，生産研究 67巻

(3) バイアス補正值の判定

バイアス補正值の再現性の比較のため、観測値の発生頻度と補正後の発生頻度の差より RMSE を計算し、その結果を表 4.2-4、図 4.2-8 に示した。各手法による発生頻度を図 4.2-9 に示す。

気温と日射量は case3 が、降水量と比湿は case4 が、風速は予測値が、それぞれ RMSE が最も小さい。風速を除く項目ではバイアス補正により RMSE は改善されているが、日射量を除くと予測値と比較して大幅な再現性向上は認められず、逆に風速のように補正前の予測値の方が再現性が高い項目もみられる。

表 4.2-4 補正方法別 RMSE 一覧

	予測値	case1	case2	case3	case4
気温	318.2	305.6	305.8	304.9	325.4
降水量	2285.8	2484.2	2471.4	2105.1	2072.2
日射量	822.2	602.4	737.6	295.8	769.1
風速	359.7	654.3	691.1	558.7	407.9
比湿	316.1	314.3	312.2	328.0	280.3

RMSE最小

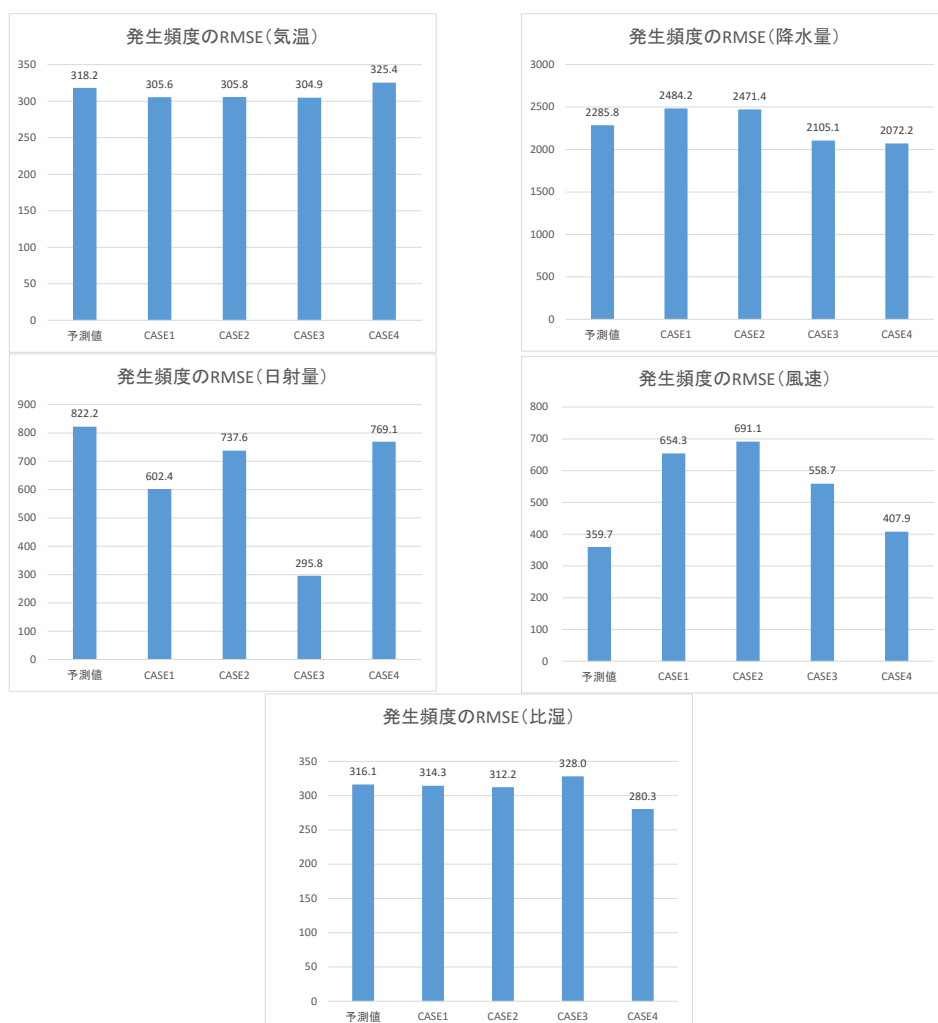


図 4.2-8 発生頻度の RMSE の比較

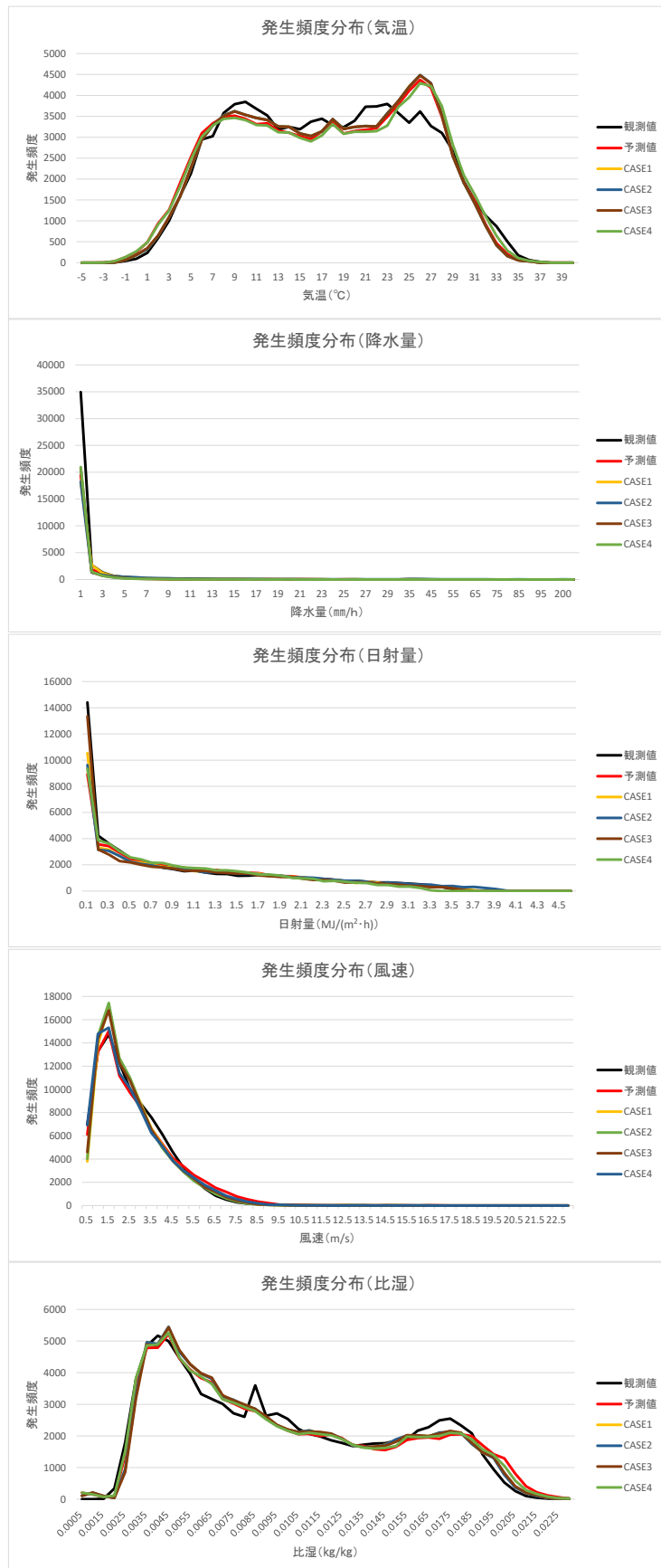


図 4.2-9 補正方法別発生頻度比較

4.2.4.3 まとめ

RMSE による判定では、バイアス補正前の予測値からの改善の程度はそれほど大きくはないものの、バイアス補正による再現性の向上は一定程度見られた。

観測値と予測値の間に大きな差が認められたのは、1mm/h 以下の降水量と 0.1MJ/(m²・h)以下の日射量であった。本調査では、これらの気候指標の経時変化をインプットデータとする都市気温シミュレーションを実施することにより将来の気候変動の影響を予測することとしており、その中で降水量は地表面での潜熱輸送の駆動力となる土壌水分のソースとなり、また日射量は地表面や壁面での顕熱輸送の一要素である放射収支のソースとなるが、これらの熱輸送の計算において、1mm/h 以下の少量の降水や 0.1MJ/(m²・h)以下の少量の日射が気温予測結果に与える影響はさほど大きくはないと予想されることから、これらの差は今後の影響評価の中では大きな問題にはならないと考えられる。

また、本調査では日々の気温変化に対応して発生する日々の熱中症救急搬送者数の年間合計値を指標として将来影響評価を行うこととしている。熱中症が現在の普通の気象条件下においても夏季を中心として日常継続的に発生している事象であり、極端事象の発生によって惹起されたり閾値の超過により急増する事象ではないことを勘案すれば、予測に与える気象データに最も強く求められるのは「相互に連動しながら変化する気候指標が相互矛盾なく、日常普通に起こりえる頻度と程度で推移すること」であり、その意味では発生頻度の少ない極値の再現性や発生頻度分布の局所的な不一致も、今後の影響評価の中では大きな問題にはならないと考えられる。

以上をまとめると、本調査で使用予定の気候シナリオデータにみられるバイアスは、今後の影響予測の中ではそれほど大きく影響しないと予想されるが、気候指標によっては一定程度の再現性向上が認められたことから、気候指標ごとに、複数の手法による補正值のうち RMSE が最も小さな補正值を選定することとした。

4.2.5 気候シナリオ選択の理由

将来影響予測に用いた都市気温シミュレータ AUSSSM では、都市気温の経時変化の計算に際し、都市大気サブモデルで熱・運動量・水蒸気量の輸送方程式を解くための境界条件として接地境界層上端（地上 100m）における気温・スカラー風速・比湿が、土壌サブモデルにおける土壌からの蒸発量や芝生からの蒸発散量の計算に影響を及ぼす気象要素として降水量が、また建築サブモデルにおいて街路間放射を計算する際の境界条件として下向き短波放射量及び下向き長波放射量が、それぞれ必要となる。

本調査で使用した気候シナリオ「気象研究所 2km 力学的 DS データ by 創生プログラム」は、本調査で将来影響予測を実施した時点において、上述の全ての気候パラメータの 1 時間値が利用可能な唯一の気候シナリオであったことから、当該シナリオを選択した。

4.3 気候変動影響に関する調査手法

4.3.1 手順

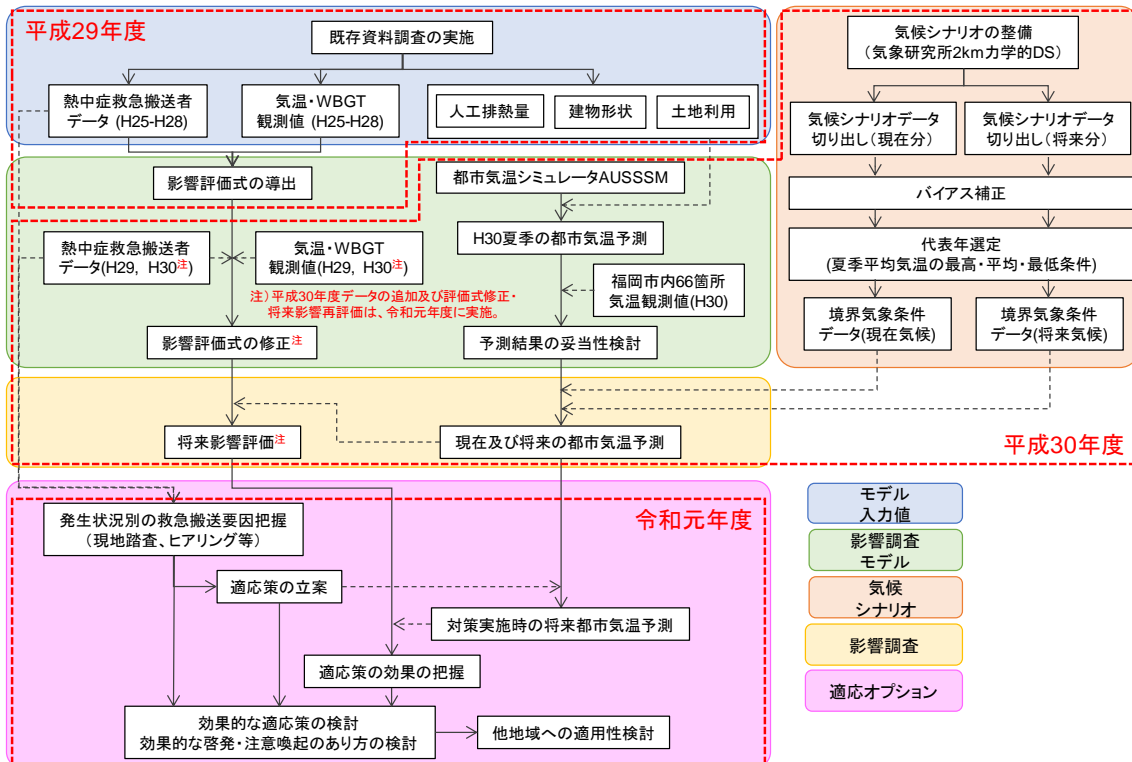


図 4.3-1 調査の作業フロー

4.3.2 使用したデータ・文献

本調査で使用したデータ及び文献は、表 4.3-1 のとおりである。

その他、収集したデータや文献については、添付資料「収集データリスト」及び添付資料「文献リスト」を参照。

表 4.3-1(1) 本調査で使したデータ及び文献（その1：熱中症要因分析関連）

項目	収集資料	対象期間	入手先・文献名
地図データ	・行政区域 ・10m メッシュ標高	平成 28 年度	基盤地図情報（国土地理院） http://www.gsi.go.jp/kiban/
	・町丁目界	平成 27 年度	統計 GIS 平成 27 年国勢調査 小地域（総務省統計局） https://www.e-stat.go.jp/gis
気象データ	・気温（日平均、日最高、日最低） ・相対湿度（日平均）	平成 25 年度 ～平成 30 年度	過去の気象データ検索（気象庁） http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
	・暑さ指数（1 時間値）	平成 25 年度 ～平成 30 年度	熱中症予防情報サイト 暑さ指数（環境省） http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php
統計データ	・総人口、15 歳未満人口、65 歳以上人口（町丁目別）	平成 27 年度	統計 GIS 平成 27 年国勢調査 小地域（総務省統計局） https://www.e-stat.go.jp/gis
	・総人口、15 歳未満人口、65 歳以上人口（校区別） ・総人口（常住地人口、従業地・通学地人口）	平成 27 年度	福岡市 統計情報 平成 27 年国勢調査 小地域 校区別（福岡市） http://www.city.fukuoka.lg.jp/shisei/toukei/index.html
	・熱中症救急搬送者	平成 25 年度 ～平成 30 年度	福岡市消防局救急搬送者データ（福岡市消防局）
校区データ	・小学校区別の通学区域	平成 29 年度	通学区域一覧～学校別～（福岡市教育委員会教育政策課）
熱中症に関する既往調査研究報告	・熱中症救急搬送者の内訳（年齢、性別、発生場所、発生月、等） ・人口あたりの救急搬送者率、日最高気温別救急搬送者割合	平成 27 年度	熱中症患者速報 平成 27 年度報告書（国立環境研究所）
	・熱中症救急搬送者数と気象との関係（日最高 WBGT、等）	平成 25 年度 ～平成 29 年度	全国の暑さ指数（WBGT）の観測状況及び熱中症による救急搬送者数と暑さ指数との関係について（環境省）
	・年齢別救急搬送者数 ・男女別熱中症死亡者数	平成 25 年度以前	熱中症保健環境マニュアル 2014（環境省）
	・熱中症救急搬送者数の内訳（年齢、発生場所、等） ・人口あたりの救急搬送者率	平成 25 年度 ～平成 29 年度	平成 29 年（5 月から 9 月）の熱中症による救急搬送状況（総務省消防庁）
	・熱中症死亡者数の内訳（年齢、性別、等） ・発生場所別救急搬送者割合	平成 7 年度 ～平成 28 年度	熱中症による死亡者数 人口動態統計（確定数）より（厚生労働省）
	・熱中症救急搬送者数と気象との関係（日最高気温、日最高 WBGT、等）	平成 12 年度 ～平成 16 年度	東京都と千葉市における熱中症発生の特徴（星秋夫ほか 日本生気象学会雑誌 44(1) pp.3-11 2007)
	・熱中症救急搬送者数の内訳（覚知時刻、等） ・日最高気温別救急搬送者数	平成 5 年度 ～平成 6 年度	救急搬送データによる熱中症の発生と気温（田村憲治ほか 日本生気象学会雑誌 32(2) pp.111-114 1995)
	・熱中症死亡者数と気象との関係（熱帯夜日数、真夏日日数、等）	昭和 45 年度 ～平成 2 年度	熱中症死亡数と気象条件－日本における 21 年間の観察－（中井誠一 日本生気象学会雑誌 30(4) pp.169-177 1993)
	・熱中症患者数の内訳（年齢、性別、発生状況、発生時期、等）	平成 18 年度	熱中症の実態調査－Heatstroke STUDY 2006 最終報告－（三宅康史ほか 日本救急医学会雑誌 19(6) pp.309-321 2008)
	・熱中症患者数の内訳（年齢、性別、発生状況、発生時期、等）	平成 20 年度	本邦における熱中症の実態－Heatstroke STUDY 2008 最終報告－（三宅康史ほか 日本救急医学会雑誌 21(5) pp.230-244 2010)
	・熱中症死亡者数 ・発生場所別熱中症死亡率 ・県別熱中症死亡率 ・最高気温と熱中症死亡率	昭和 50 年度 ～平成 19 年度	わが国における熱中症死亡の地域差（星秋夫ほか 日本生気象学会雑誌 47(4) pp.175-184 2010)
	・熱中症患者数の内訳（年齢、性別、発生状況、等） ・熱中症救急搬送者数と気象との関係（最高気温、最低気温、発症時環境温、等）	平成 7 年度 ～平成 11 年度	1995-1999 年夏の山梨県での熱中症に関する研究（入来正躬 日本生気象学会雑誌 37(2) pp.63-72 2000)

表 4.3-1(2) 本調査で使したデータ及び文献(その2:都市気温シミュレーション関連)

項目	収集資料	対象期間	入手先・文献名
地図データ	・行政区 ・街区線 ・建築物面 ・道路線 ・道路構成線	平成 29 年度	基盤地図情報(国土地理院) http://www.gsi.go.jp/kiban/
エネルギー消費 量データ	・福岡市内の事業所の一次エネルギー消費量、熱源種別、延床面積	平成 18 年度	平成 18 年度事業所省エネルギー診断調査業務 省エネルギー診断報告書(福岡市環境局)
	・全国の事業所の一次エネルギー消費量原単位	平成 27 年度	平成 28 年度建築物エネルギー消費量調査報告書[第 39 報](一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会)
	・エネルギー消費の時間変動	—	建築の光熱水原単位[東京版](尾島俊雄研究室 早稲田大学出版部 平成 7 年)
熱源機器データ	・熱源機器の COP	—	平成 15 年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書(環境省ほか)
		—	ヒートアイランドの対策と技術(森山正和編 学芸出版社 平成 16 年)
		—	環境物品等の調達の推進に関する基本方針(平成 30 年 2 月 9 日閣議決定)
	・熱源機器排熱の顕熱・潜熱比	—	ヒートアイランドの対策と技術(森山正和編 学芸出版社 平成 16 年)
空調機器データ	・用途別の空調排熱量原単位	—	平成 15 年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書(環境省ほか)
自動車排熱データ	・車種別速度別の燃料消費量	平成 22 年	自動車走行時の CO ₂ 排出係数及び燃料消費率の更新(土肥学ほか 土木技術資料 54-4 pp.40-45 2012)
	・燃料別の発熱量(高位、低位)	平成 25 年度	エネルギー別標準発熱量・炭素排出係数の改定案についてー2013 年度改訂標準発熱量・炭素排出係数表ー(戒能一成 RIETI Discussion Paper Series 14-J-047 2014)
幹線道路属性データ	・道路種別 ・交通量 ・旅行速度	平成 27 年度	平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査(国土交通省)
道路形状データ	・道路の中心線	平成 28 年度	国土基本情報(国土地理院)
メッシュ統計データ	・総人口	平成 27 年度	統計 GIS 平成 27 年国勢調査(総務省統計局) https://www.e-stat.go.jp/gis
	・産業別事業所数 ・産業別従業者数	平成 26 年度	平成 26 年経済センサス基礎調査(総務省統計局)
気象データ	・福岡管区気象台における降水量、気温、相対湿度、風速、全天日射量、雲量および地上気圧の特別値	平成 30 年度	過去の気象データ検索(気象庁) http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
技術資料、報告書、論文等	・都市気温シミュレータ AUSSSM の詳細	—	萩島理, 博士論文「都市熱環境の予測評価手法に関する研究」, 第 6 章 建築ー都市ー土壌連成系モデルによる都市高温化の構造解析, pp.98-135, 2001.12.
	・福岡市におけるヒートアイランド対策検討事例	—	平成 22 年度大都市中枢街区における総合的なヒートアイランド対策による熱環境管理推進事業委託業務(平成 23 年 3 月 福岡市) <環境省委託事業>
	・大気安定度と気温減率の関係	—	Regulatory Guide 1.23, "Meteorological Monitoring Programs for Nuclear Power Plants", U.S.NRC, 2007.

表 4.3-1(3) 本調査で使⽤したデータ及び文献（その3：気候シナリオ関連）

項目	収集資料	対象期間	⼊手先・文献名
気象データ	・福岡管区気象台における降水量、気温、相対湿度、風速、全天日射量および地上気圧の特別値	昭和55年～平成12年 (1980年～2000年)	過去の気象データ検索（気象庁） http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
技術資料、報告書、論文等	・バイアス補正の方法	—	地球温暖化予測情報 第7巻（平成20年3月 気象庁）
			地球温暖化予測情報 第8巻（平成25年3月 気象庁）
			地球温暖化予測情報 第9巻（平成29年3月 気象庁）
			気象研究所技術報告 第73号 気象研究所非静力学地域気候モデルによる日本付近の将来気候変化予測について（平成27年10月 気象研究所）
			気候変動下での全球水資源量評価に向けた気候モデル出力値補正手法の開発と検証（渡部哲史ほか 水工学論文集 54 pp.259-264 2010）
			力学的ダウンスケーリングによる近未来標準気象データの試作と精度検証（有馬雄祐ほか 生産研究 67(1) pp.25-30 2015）
			気候モデル台風のバイアス補正手法の開発と高潮の将来変化のアンサンブル予測（安田誠宏ほか 土木学会論文集 B2(海岸工学) 71(2) pp. I 1507-I 1512 2015）

表 4.3-1(4) 本調査で使⽤したデータ及び文献（その4：その他）

項目	収集資料	対象期間	⼊手先・文献名
気象データ	・熊本地方気象台、長崎地方気象台、鹿児島地方気象台、沖縄気象台における気温（日平均、日最高、日最低）	平成25年度～平成30年度	過去の気象データ検索（気象庁） http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
	・福岡市内 67 箇所における気温観測結果	平成15年7月～10月	福岡市ヒートアイランド現象調査報告書（平成16年3月 福岡市環境局）
統計データ	・福岡市における救急搬送件数及び救急搬送者数	平成20年度～平成30年度	福岡市消防年報（福岡市消防局）
技術資料、報告書、論文等	・福岡市における暑さ指数の実測事例	平成20年8月	平成20年度大都市オフィス街をモデル地区とした熱環境管理推進事業委託業務報告書（平成21年3月 福岡市）＜環境省委託事業＞

4.3.3 有識者ヒアリング

NO.	1
対象者	九州大学 萩島理 教授
日付	平成 30 年 5 月 15 日 13:00～15:00
場所	九州大学筑紫キャンパス F 棟 203 号室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・校區別の熱中症救急搬送者数が上位となる年が多い校区がある。そういう校区に対して重点的に注意喚起を呼びかけるというのも、効果的な予防策の一つになる。 ・熱中症救急搬送者数と気象との関係解析で、横軸として「経過時間で重み付けした平均気温」などをとってみると良い。

NO.	2
対象者	九州大学 萩島理 教授
日付	平成 30 年 12 月 6 日 10:30～12:30
場所	九州大学筑紫キャンパス F 棟 203 号室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・予測結果として熱中症搬送者数の変化を示している。この搬送者数はインパクトがあり注意喚起には有効である。 ・日平均気温と熱中症患者数の関係式については、他の自治体でも適用できるだろう。自治体毎に年齢構成などによって関係式も変化し、地域特性に応じた適応策も検討していけると思う。非常に興味深い。

NO.	3
対象者	九州大学 萩島理 教授
日付	令和元年 5 月 22 日 15:00～17:00
場所	九州大学筑紫キャンパス F 棟 203 号室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・熱中症は気温だけでなく、暴露される人間の行動パターン等にもよる。気温との関係を根拠に緑地を増やすといった適応策だけではリスクは除かれないだろう。 ・気温以外の熱中症に関連する要因（行動、場所、性別、年齢など）を統計解析し、有意性を検討すべきではないかと思う。有意な要因があれば、その結果を根拠にして適応策を検討できる。

NO.	4
対象者	国立環境研究所 小野雅司 客員研究員
日付	令和元年 6 月 10 日 14:00～16:00
場所	ホテルニューオータニ東京
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・今回の調査では自治体を実施する適応策を検討していくことになるが、仕事場などに対しては実行可能なアクションに限界があるなど、対応が難しい部分もある。 ・仕事場などでは個別に対応が図られつつあるが、一般の高齢者にはどのように対策をとってもらうかが課題である。まずは発生件数の多い、住宅での高齢者の熱中症を対象として対策を検討していくと良い。

NO.	5
対象者	長崎大学 橋爪真弘 教授
日付	令和元年 6 月 12 日 13:30～15:30
場所	長崎大学熱帯医学研究所
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・一人暮らしの高齢者や認知症の高齢者などのハイリスクグループに対しては知識普及、見守り、早期発見などの体制構築が重要であるが、具体的にどのように進めていくかが一番の課題。 ・適応策の検討で、「救急搬送体制の強化」という視点での検討や、そのための救急搬送体制と熱中症搬送者数を量的に結びつけた解析は必要ないか。

NO.	6
対象者	国立環境研究所 小野雅司 客員研究員
日付	令和元年 12 月 18 日 14:00～16:00
場所	ホテルニューオータニ東京
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ気温でも、近年の救急搬送者数が他の年度より多く出ているのは、熱中症に関する報道等を受けて人々が早めに救急要請をするようになっているなど、人々の行動の変化が一因となっている可能性がある。 ・高齢者の発症を予防する上で、人による見守りには限界がある。エアコン自動運転等の技術開発や電力会社の見守りサービス等の仕組みづくりが重要。 ・仕事場での発症に対し、大手企業では対策が進みつつあるが、個人事業者ほか小さな企業では進んでいない。仕事場での熱中症予防対策は、事業者の取り組みに任せるだけでは十分には進まないと思われる。

NO.	7
対象者	九州大学 萩島理 教授
日付	令和元年 12 月 27 日 13:00～15:00
場所	九州大学筑紫キャンパス F 棟 203 号室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・熱中症救急搬送者数の過去データの整理の部分は、年度別にみると偶発的な発症などばらつきが出るため、複数年度の合計値としてみた方が良い。またその際、年齢別人口や男女別人口など、母集団の数で割ると、発症率の違いがみえるようになる。

NO.	8
対象者	東京大学 橋爪真弘 教授
日付	令和 2 年 1 月 6 日 10:30～13:00
場所	都ホテル博多
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・現在は主に平時の適応策がリストアップされているが、今後は複合影響の検討（豪雨災害復旧作業時の熱中症対策など）の必要性も出てくるとと思われる。 ・「学校保健」の一環として、学校を起点とする子供から親・祖父母への情報伝達は、居室内での高齢者の発症予防に効果的と思われる。 ・今後、有効な適応策の検討にあたり、国内に限らず世界レベルで「成功事例」や「埋もれた適応策」を集めることはできないか。環境省に提言しても良いと思う。

NO.	9
対象者	福岡市消防局救急課 高向係長、本村様
日付	令和元年 9 月 6 日 14:00～15:30
場所	福岡市消防局
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・「一般住宅」「共同住宅」での発症は、非労作性とは限らない。昼間の労働や運動の後に帰宅してから発症するケースもある。 ・救急搬送データは、救急車が現場に到着したときの状況に基づく記録であり、実際の発症から救急要請に至るまでの経過は記録されていない。覚知の場所や時間に関し、発症原因がその場その時の暑熱環境にあるとは限らない点に留意が必要。 ・近年、救急出動件数は、1 年あたり約 2,000 人増加のペースで急増している。現在は対応こそできているが、救急要請を受けてからの到着時間は遅れてきている。 ・気候変動にともない熱中症発症者が増えた場合、熱中症は同じ日の同じ時間帯に複数箇所でも同時多発する可能性があり、その場合は対応が難しくなると思われる。 ・今後の救急医療体制に関して、必要な人が必要なときに利用できるようにすることが重要（#7119 救急医療電話相談の普及活用など）。

4.3.4 観測及び実証実験

4.3.4.1 観測

(1) 福岡市内の気温分布の現地観測

福岡市における校区別の熱中症救急搬送者数の分布傾向と気温分布との関連性を検討するための基礎データを得る目的で、また将来気候予測に用いる都市気温シミュレータの計算結果の妥当性を検証するための比較対照データを得る目的で、福岡市内の約 70 箇所において、熱中症発生時期の気温および相対湿度の現地連続観測を行った。

観測地点は計 66 地点、観測期間は平成 30 年 6 月 27 日～10 月 28 日とした。

各観測地点に自然通風シェルターおよびロガーケースを設置し、自然通風シェルター内に温湿度センサを、またロガーケース内にデータロガー付き温湿度計（T&D 製 RTR-507S、仕様は表 4.3-2 を参照）を収納して、気温と相対湿度を連続観測した（図 4.3-2）。観測間隔は毎正時より 10 分間隔とした。

なお、使用した温湿度計は、代表 1 器について恒温恒湿槽内において標準器との比較検査を行いセンサ指示値を校正するとともに、調査前には全 66 機について複数の気温・湿度状況下で同時観測を行い、その結果をもとに代表機との器差を補正した。

表 4.3-2 データロガー付き温湿度計（T&D RTR-507S）の仕様

項目		仕様
測定範囲	温度	-25～70℃
	湿度	0～99%RH
測定精度	温度	±0.3℃ at 10～40℃ ±0.5℃ at 上記以外
	湿度	±2.5%RH at 15～35℃、30～80%RH
90%応答		約 7 分



図 4.3-2 観測機器の設置状況

(2) 暑熱環境に係る現地踏査

熱中症救急搬送データの分析において、特徴的な傾向がみられた地域や場所を対象に、その熱中症救急搬送要因の把握を試みるため、現地踏査を行った。

運動公園、道路上、教育施設など、立入が可能な場所を対象として、令和元年夏季（8月～9月）の晴天時に現地踏査を行い、写真撮影や暑さ指数（WBGT）の測定を行った。踏査内容は表 4.3-4 に示すとおりである。

なお、現地踏査において、WBGT の測定に用いた暑さ指数計（A&D 製 AD-5695DL）の仕様は表 4.3-3 のとおりであり、現地踏査の実施前に複数の暑さ指数計を同一環境下に置いて動作確認を行い、測定値に大きな差がないことを確認した。

表 4.3-3 熱中症指数データロガー（A&D AD-5695DL）の主な仕様

項目		仕様
表示項目		WBGT、温度、相対湿度、黒球温度
センサ		サーミスタ（温度、黒球温度） 静電容量式（相対湿度）
JIS B 7922 精度区分		クラス 2
測定範囲	WBGT、温度	0～50℃（最小表示 0.1℃）
	相対湿度	10～90%RH（最小表示 0.1%RH）
	黒球温度	0～80℃（最小表示 0.1℃）
測定精度	温度、黒球温度	±0.6℃
	相対湿度	±5%RH（20.0～90.0%RH）、 ±7%RH（10.0～19.9%RH） 25℃時
記録間隔（測定間隔）		最小 1 分（約 2 秒毎）



図 4.3-3 暑さ指数計の動作確認状況（左）および現地踏査時の機器設置状況（右）

表 4.3-4 現地踏査の内容

No.	対象場所	目的（ねらい）	踏査地点	踏査内容	
				写真撮影	WBGT測定
1	公園・庭園等	芝生上と人工被覆上の日向の暑さ指数比較	天神中央公園、警固公園 [福岡市中央区]	○	○
2	公園・庭園等	公園内の日向と木陰の暑さ指数比較	天神中央公園 [福岡市中央区]	○	○
3	道路上	街路樹のない幹線道路歩道における日向とバス停上屋下の暑さ指数比較	国道 202 号（国道道路） 天神一丁目バス停 [福岡市中央区]	○	○
4	道路上	街路樹のある幹線道路歩道における日向と木陰の暑さ指数比較	市道千代今宿線（明治通り）天神大和証券前バス停付近 [福岡市中央区]	○	○
5	道路上	上空風が吹き下りる高層ビル風上側壁面下の暑さ指数	市道千代今宿線（明治通り）アクロス福岡前及び付近の参照地点 [福岡市中央区]	○	○
6	公園・庭園等 道路上	高層ビルから伸びる日陰と日向の暑さ指数比較	天神中央公園内 [福岡市中央区]	○	○
7	道路上	鉄道踏切における木陰と日向の暑さ指数比較	JR 鹿児島本線 香椎参道踏切 [福岡市東区]	○	○
8	運動場・競技場 教育施設	空調設備のない体育館内の暑さ指数（昼間）	福岡市立香住丘小学校体育館 [福岡市東区]	○	○
9	運動場・競技場 教育施設	空調設備のない体育館内の暑さ指数（夜間）	福岡市立千代小学校体育館 [福岡市博多区]	○	○
10	運動場・競技場 教育施設	空調設備がある体育館内の暑さ指数	福岡市立東体育館 [福岡市東区]	○	○
11	運動場・競技場 教育施設	学校の運動場の木陰と日向の暑さ指数比較	福岡市立香住丘小学校運動場 [福岡市東区]	○	○
12	交通機関	駅のホームの日陰と日向の暑さ指数比較	JR 鹿児島本線 香椎駅 [福岡市東区]	○	○
13	交通機関	駅構内のクールルーム内の暑さ指数	JR 鹿児島本線 香椎駅 [福岡市東区]	○	○
14	道路上	夕方の郊外駅前広場の日陰と日向の暑さ指数比較	JR 鹿児島本線 香椎駅前 [福岡市東区]	○	○
15	運動場・競技場	運動公園内での暑さ指数の移動観測（1）	今津運動公園 [福岡市西区]	○	○
16	運動場・競技場	運動公園内での暑さ指数の移動観測（2）	西南杜の湖畔公園 [福岡市城南区]	○	○
17	運動場・競技場	運動公園内での暑さ指数の移動観測（3）	桧原運動公園 [福岡市南区]	○	○
18	運動場・競技場	運動公園内での暑さ指数の移動観測（4）	雁の巣レクリエーションセンター [福岡市東区]	○	○
19	運動場・競技場	運動公園内での暑さ指数の移動観測（5）	東平尾公園 [福岡市博多区]	○	○
20	道路上	都心部の南北道路の日陰側歩道・日向側歩道及び地下街での暑さ指数の移動観測	県道後野福岡線（渡辺通り）及び天神地下街 [福岡市中央区]	○	○
21	道路上	都心部と郊外の日当たりの比較	福岡市役所本庁舎ふれあい広場 [福岡市中央区]、JR 鹿児島本線香椎駅前 [福岡市東区] 等	○	

4.3.4.2 実証実験

本調査では、実証実験は実施していない。

4.3.5 気候変動影響予測手法の検討

4.3.5.1 影響評価式の導出

福岡市における過去 6 年間（平成 25 年度～30 年度）の日々の熱中症救急搬送データと、福岡管区气象台地点における当該期間の日々の気象観測データ（気温、WBGT）を用いた回帰分析により、影響評価式（熱中症救急搬送者数と気象要素との関係式）を導出した。

福岡市における日々の熱中症救急搬送者数には、文献調査結果と同様、日々の気温や暑さ指数（WBGT）の上昇とともに指数関数的に増加する傾向が認められた（図 4.3-4）。

そこで、気温と暑さ指数（WBGT）のそれぞれについて、日平均値・日最高値・日最低値という 3 種類の統計量のいずれか 1 要素を説明変数とし、出現日 1 日あたりの熱中症救急搬送者数（説明変数の各階級の熱中症覚知期間内出現日数で、階級別の熱中症救急搬送者数を除して標準化したもの）を目的変数とする単回帰分析を行うことにより、近似式の導出を試みた。

導出に際し、関数形や重み付けの方法を変えるなど、いくつかの試行錯誤を繰り返したが、最終的には x 軸方向の平行移動に対応可能な以下の指数関数形を採用し、説明変数の各階級の出現日数で重み付けた非線形回帰分析により、気象要素ごとに図 4.3-4 中に示したような近似式を得た。

$$y = A \exp [B (x - x_0)]$$

y：救急搬送者数、x：気温または WBGT、A、B、x₀：係数

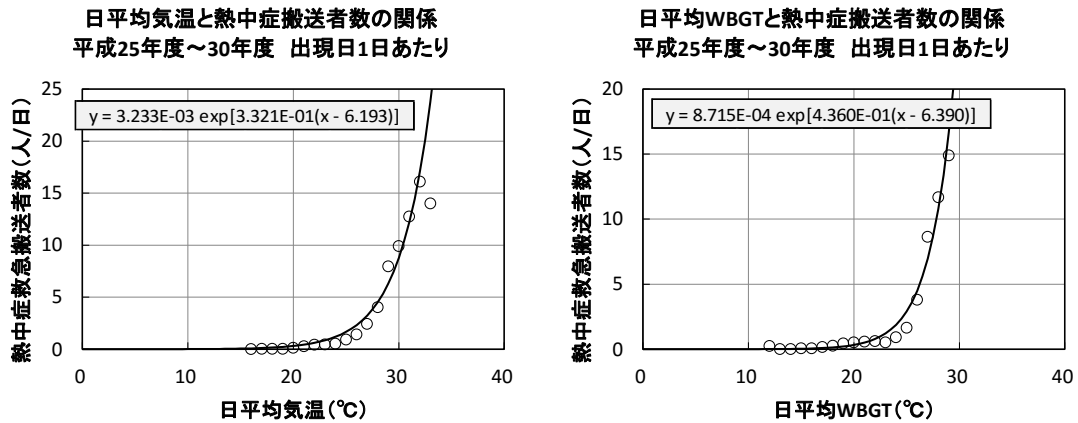
導出した近似式を用いて、平成 25 年度～30 年度の 6 年間にわたる日々の熱中症救急搬送者数を推計し、これを実際の救急搬送者数と比較した。実際の救急搬送者数と推計値の散布図を図 2.3 8 に、経日変化の比較図の一例を図 2.3 9 に示す。

実際の搬送者数と推計値から RMSE（Root Mean Square Error、平均平方二乗誤差）を算出すると表 2.3 3 のとおりとなり、日別搬送者数・年間搬送者数ともに日平均気温を説明変数としたときの推計値の再現性が最も良好であったことから、以降の影響調査では、日平均気温と熱中症救急搬送者数の関係式を用いることとした。

なお、他の気象要素を説明変数とする関係式を用いた場合でも、日平均気温を説明変数とした場合と比べて RMSE に大きな差はなく、再現性に遜色はない。

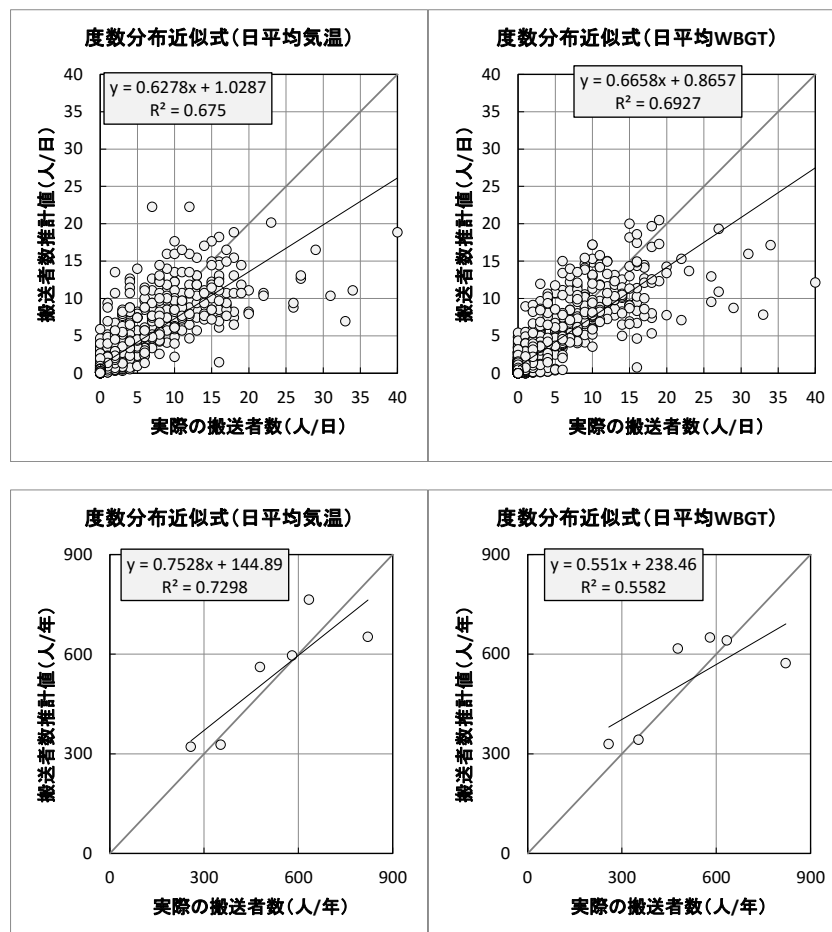
表 4.3-5 救急搬送者数推計値の RMSE

説明変数とする気象要素		RMSE（人）	
		日別搬送者数	年間搬送者数
気温	日平均	2.80	97.7
	日最高	2.93	105.5
	日最低	3.17	111.7
暑さ指数 (WBGT)	日平均	3.02	123.1
	日最高	3.29	125.4
	日最低	3.65	138.3



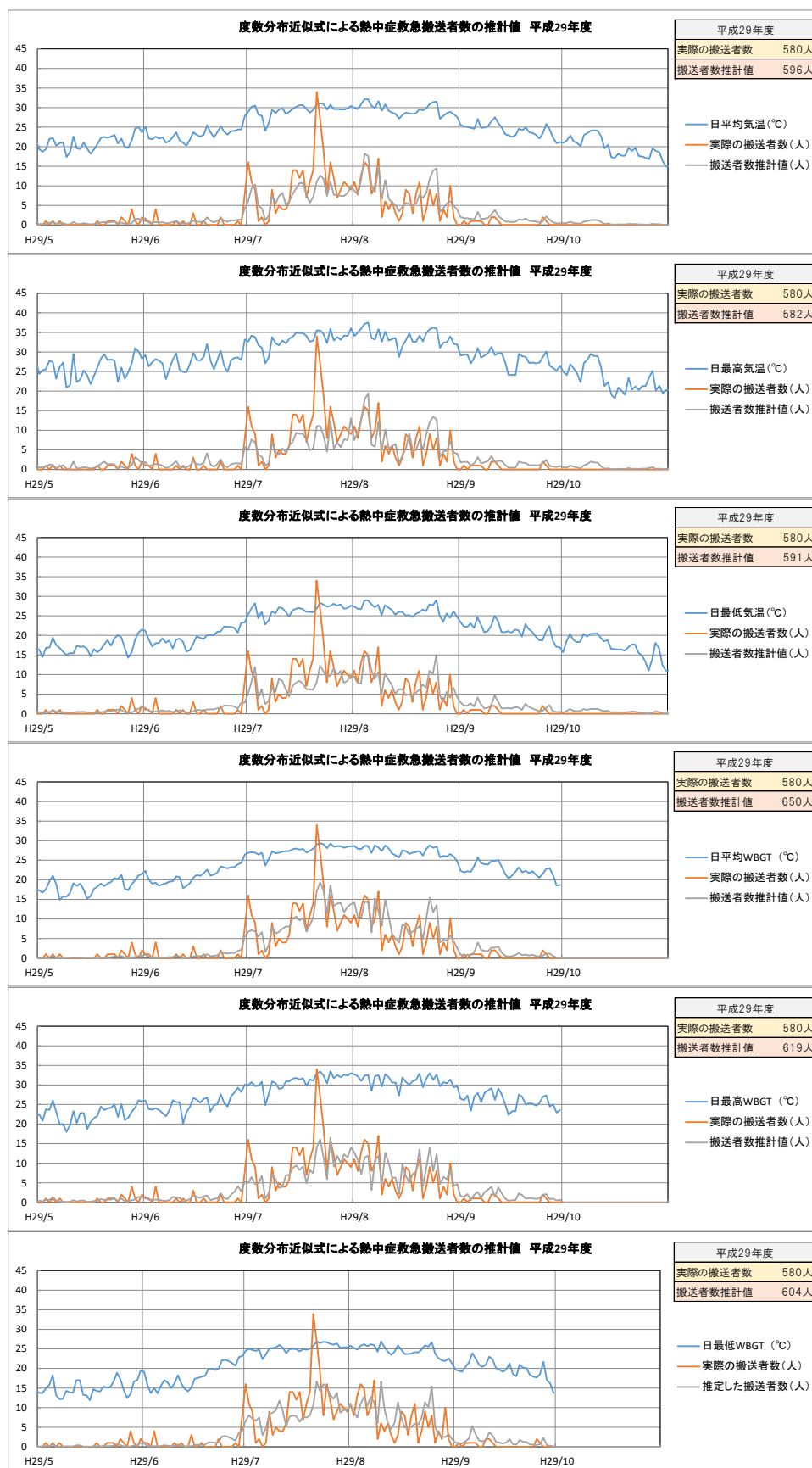
【資料】 福岡市消防局救急搬送者データ（福岡市）、福岡管区気象台気象データ（気象庁）、熱中症予防情報サイト暑さ指数データ（環境省）より作成

図 4.3-4 熱中症救急搬送者数と気象要素の関係とその近似式
（出現日1日あたりの搬送者数）



【資料】 福岡市消防局救急搬送者データ（福岡市）より作成

図 4.3-5 救急搬送者数の再現性の検討例（上：日別救急搬送者数 下：年間救急搬送者数）



【資料】 福岡市消防局救急搬送者データ（福岡市）、福岡管区気象台気象データ（気象庁）、熱中症予防情報サイト暑さ指数データ（環境省）より作成

図 4.3-6 実際の救急搬送者数と推計値の比較（一例：平成 29 年度）

4.3.5.2 都市気温シミュレーションモデルの構築

ヒートアイランド現象の影響を考慮した都市気温シミュレーションを行うため、影響予測モデルの入力データとして人工排熱量、地表面被覆の種別、建築物の用途やグロス容積率等のデータを、都市構造の異なる代表3地区（都心部、商業地と住宅地の混在地、住宅地）の別に整理・集計した。また、それらの入力データを用いて平成30年4月～10月の都市気温を計算し、得られた計算結果を平成30年夏季の現地観測気温と比較することで、計算結果の妥当性を検証した。

影響予測モデルとしては、都市のヒートアイランド現象の原因となる諸要素（人工排熱、地表面被覆、都市構造、等）の違いによって生じる都市気温の差を表現できるモデルであり、福岡市を対象として過年度に実施されたヒートアイランド対策検討業務³³において使用実績のある都市気温シミュレータ AUSSSM（Architecture-Urban-Soil Simultaneous Simulation Model：建築－都市－土壌連成系モデル）³⁴を用いることとした。

都市気温シミュレーションモデルの構築は、図 4.3-7 のフローに基づき実施した。

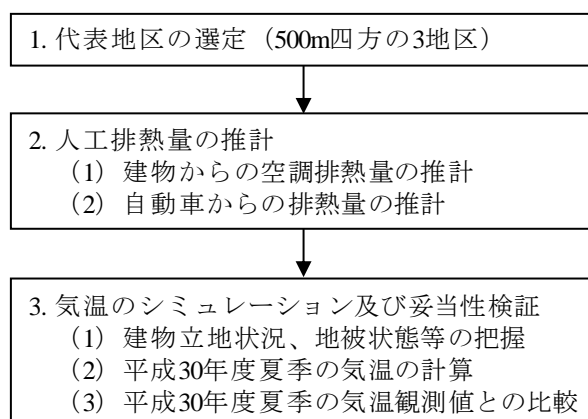


図 4.3-7 都市気温シミュレーションモデル構築の検討フロー

³³ 「平成22年度大都市中枢街区における総合的なヒートアイランド対策による熱環境管理推進事業委託業務報告書」（平成23年3月 福岡市）＜環境省委託事業＞

³⁴ 萩島理，博士論文「都市熱環境の予測評価手法に関する研究」，第6章 建築－都市－土壌連成系モデルによる都市高温化の構造解析，pp.98-135, 2001.12.

1) 代表地区の選定

人工排熱量算定および都市気温シミュレーションの代表地区として、九州最大の繁華街である天神地区のほか、住宅地から 1 地区、商業地と住宅地の混在地域から 1 地区を選定した（表 4.3-6、図 4.3-8）。

選定した 3 地区における建物の立地状況は、図 4.3-9～図 4.3-11 に示すとおりである。

表 4.3-6 代表地区（3 地区）の概要

用途	地区名	主な用途地域	特 徴
都心部	中央区天神	商業地域	百貨店やファッションビルなどの商業施設が高度に集積した九州最大の繁華街で、福岡市の業務地区の中心でもある。
商業地と住宅地の混在地	早良区西新	第 2 種中高層住居専用地域 第 1 種住居地域 近隣商業地域 商業地域	福岡市の西の副都心。福岡市地下鉄の西新駅があり、商店街やスーパー、家電量販店、商業ビル、飲食店などがある。
住宅地	南区長丘、長住	第 1 種低層住居専用地域 第 1 種中高層住居専用地域 第 2 種中高層住居専用地域 第 2 種住居地域	長丘は昭和 40 年当時、戸建住宅が点在する地域であったが、現在は中高層の住居地域に変わっている。長住は昭和 40 年当時から戸建て住宅地であった。



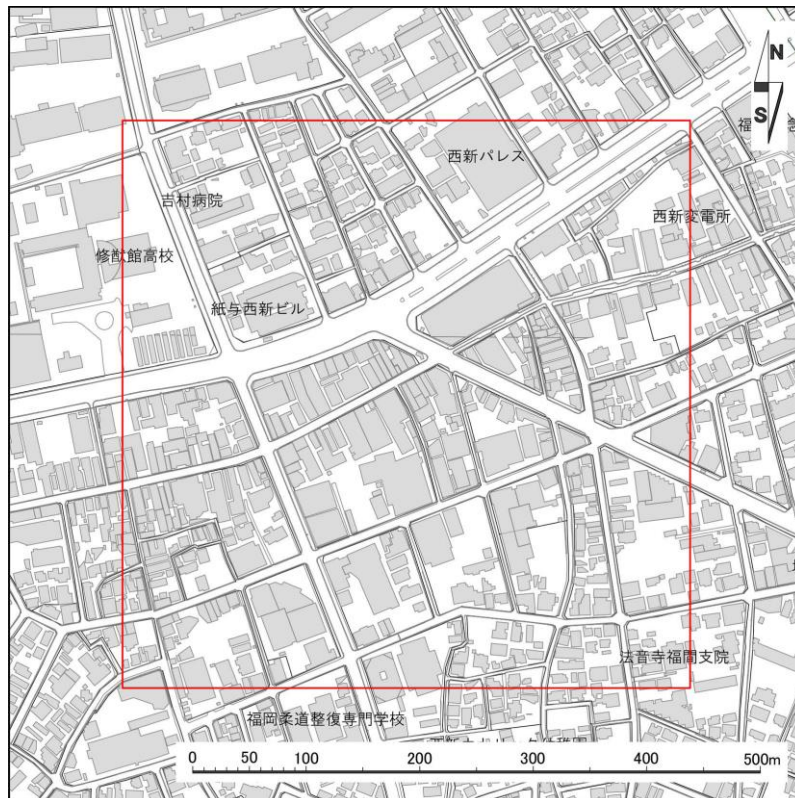
【資料】国土地理院 地理院地図 (<http://maps.gsi.go.jp/>) より作成

図 4.3-8 都市気温シミュレーションにおける代表3地区の位置



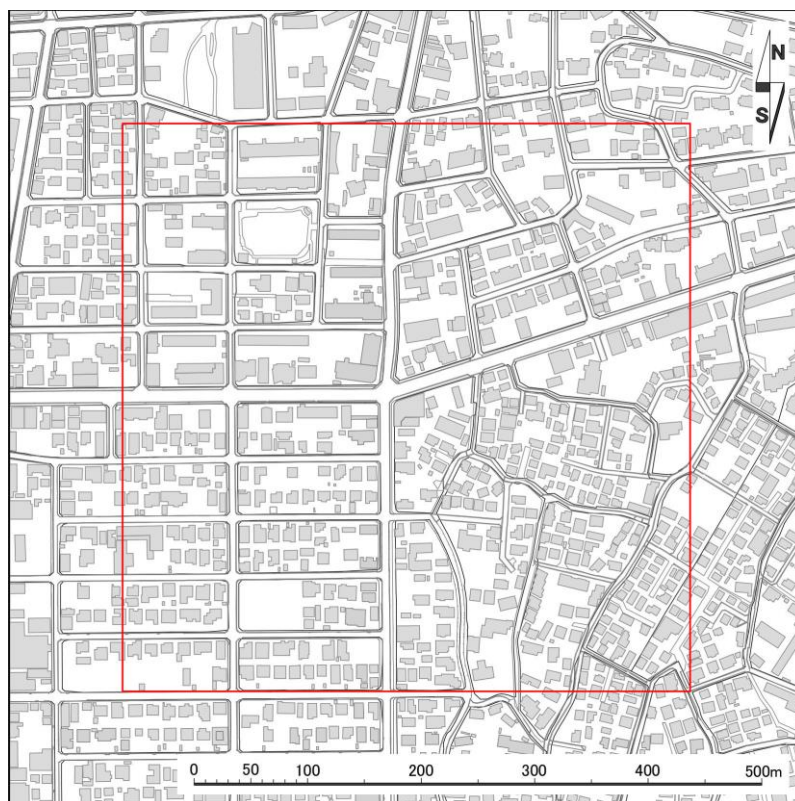
【資料】基板地図情報（国土地理院）より作成

図 4.3-9 都心部の代表地区（中央区天神）の建物立地状況



【資料】基板地図情報（国土地理院）より作成

図 4.3-10 商業地と住宅地の混在地の代表地区（早良区西新）の建物立地状況



【資料】基板地図情報（国土地理院）より作成

図 4.3-11 住宅地の代表地区（南区長丘・長住）の建物立地状況

2) 人工排熱量の推計

人工排熱量は、①建物からの空調排熱量、②自動車からの排熱量の別に、図 4.3-12 及び図 4.3-13 のフローに基づき推計した。人工排熱量の推計結果の一例を図 4.3-14 に示す。

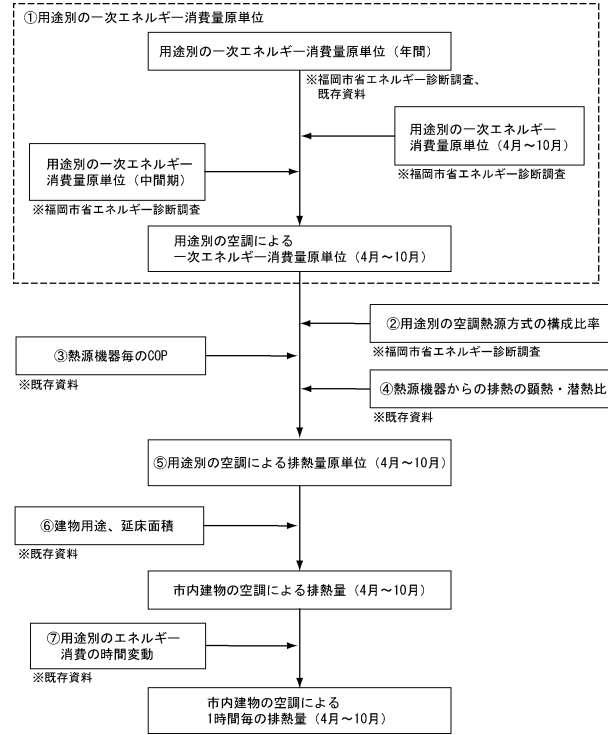


図 4.3-12 空調排熱量の算定フロー

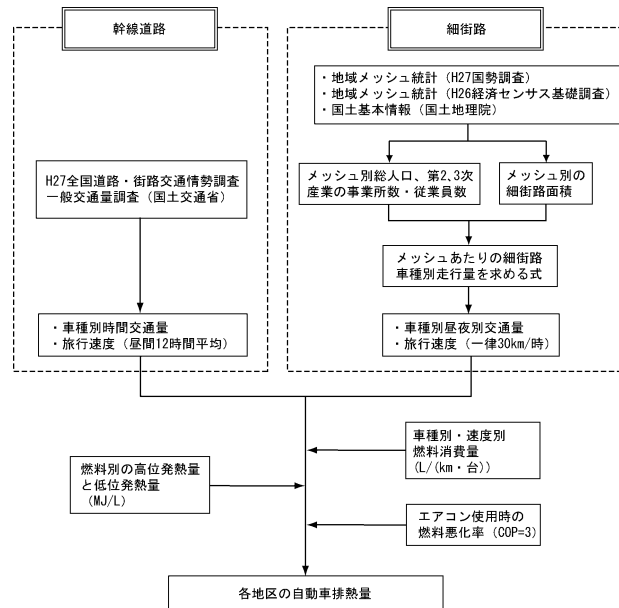


図 4.3-13 自動車排熱量の算定フロー

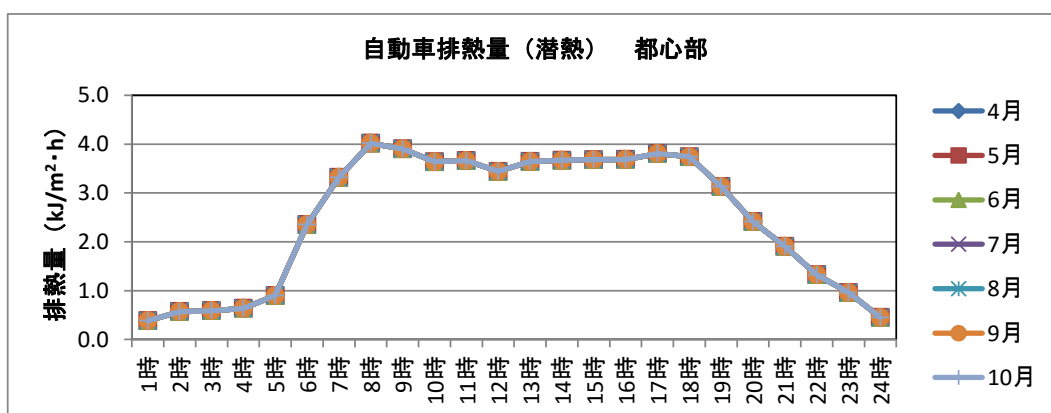
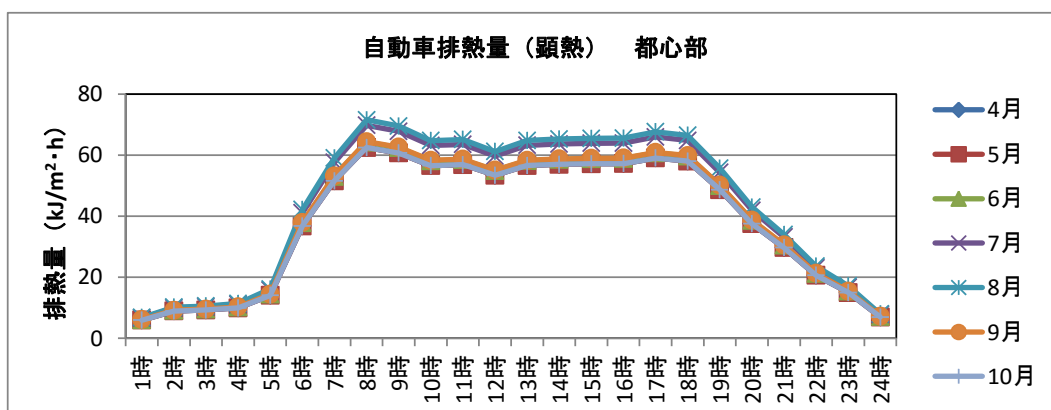
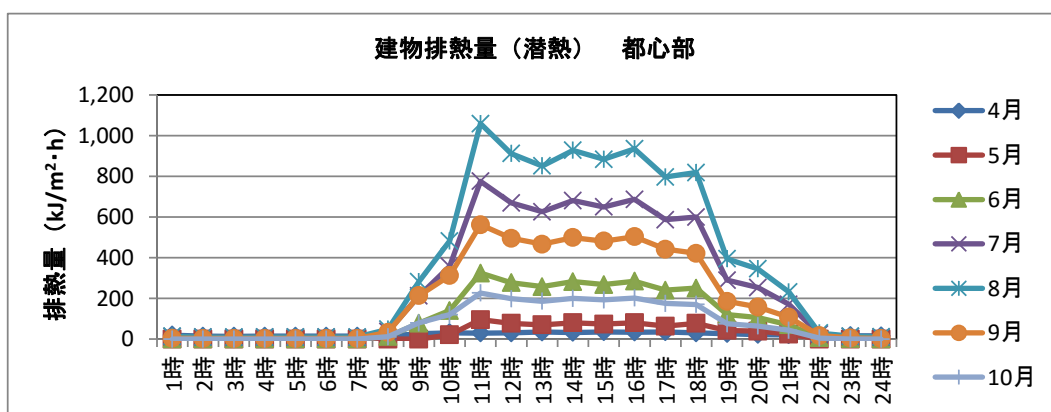
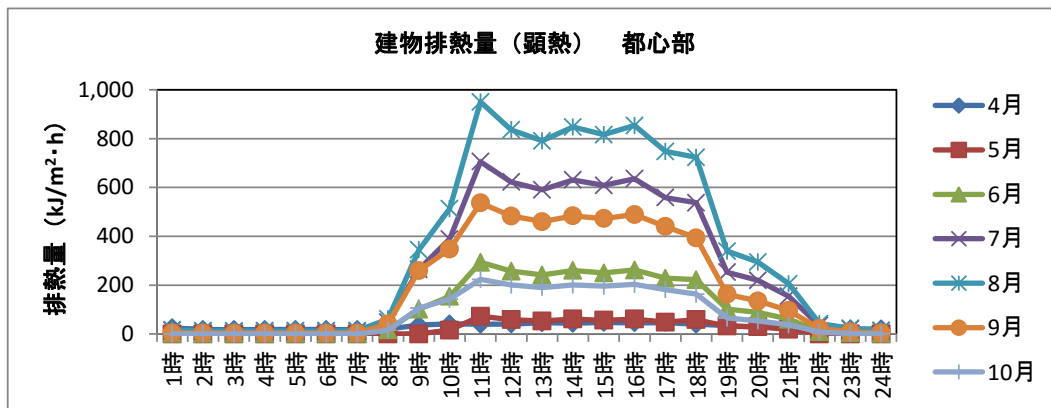


図 4.3-14 人工排熱量の推計結果の一例（都心部）

3) 建物立地状況及び地表面利用状況の把握

建物立地状況及び地表面利用状況は、図 4.3-9～図 4.3-11 に示した各代表地区内の現状に基づき、数値地図や空中写真を用いて都市構造別に表 4.3-7 のとおり整理した。

表 4.3-7 都市構造別の建物立地状況と地表面利用状況

	都心部	商住混在地	住宅地
利用面積率 (%)	100.0	100.0	100.0
建物	57.9	43.8	27.6
道路	35.2	23.4	17.0
その他	6.9	32.8	55.4
地表面被覆率 (%)	100.0	100.0	100.0
アスファルト	90.1	91.5	73.2
土 壌	0.6	1.0	3.9
緑 地	9.3	7.6	23.0
1 軒あたりの街区幅 (m)	29.8	19.3	18.4
建物幅 (m)	22.7	12.8	9.7
グロス容積率 (%)	497	208	73
建物階数	9	5	3
階高 (m)	3.0	3.0	3.0
建物排熱位置	事業所系：全量を屋上から排出 住 居 系：各階から均等に排出		

4) その他の計算条件の設定

建物や地表面被覆の熱物性など、都市気温シミュレーションの実施に必要なその他の条件は、全ての都市構造に対して共通に、表 4.3-8 のとおり設定した。

表 4.3-8 熱物性その他の条件の設定値

項 目	設定値
日射吸収率 (屋上)	0.85
日射吸収率 (壁)	0.85
日射吸収率 (舗装道路)	0.88
日射吸収率 (土壌)	0.77
日射吸収率 (芝生)	0.85
窓面積率	0.18
芝生の熱抵抗 ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.3
建物配列	千鳥配列
換気量 ($\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$)	0

5) 気温のシミュレーション及び妥当性検証

平成 30 年 4 月～10 月の都市気温を都市構造（都心部、商業地と住宅地の混在地、住宅地）別に計算し、平成 30 年夏季の気温観測結果と比較することにより、計算結果の妥当性を検証した。検証結果など詳細は、p.4-47「4.3.6.2 モデルの検証」に記載した。

4.3.5.3 将来気温予測

都市気温シミュレータ AUSSSM を用いて、同一形状の直方体建物や同一の地表面被覆が等間隔に無限に並ぶ理想的な都市の想定下で、気温の将来予測を実施した。

1) 予測代表年の選定

熱中症救急搬送は、現在においても夏季には日常的に発生しており、福岡市における年間の熱中症救急搬送者数も、冷夏や猛暑といわれる年を含む平成 25 年度～30 年度の 6 年間で 258 人/年～821 人/年と変動が大きい。将来においてもこれと同様に、気温の年変動にともなって比較的大きな熱中症救急搬送者数の増減が生じることが想定される。

このため、将来の気候変動が熱中症発生リスクに及ぼす影響を評価するにあたっては、現在気候と 21 世紀末気候のそれぞれ 20 年間の気候シナリオデータの中から、夏季の気温が高い年や低い年などいくつかの予測代表年を選定することにより、気温の年変動にともなう増減の幅も含めて、将来の熱中症救急搬送者数を推計できるようにした。

予測代表年としては、予測対象時期（過去に熱中症救急搬送が発生した、4 月～10 月の 7 か月間）の平均気温が最高の年（暑夏年）、平均的な年（平均年）、最低の年（冷夏年）を選定することとした。現在と 21 世紀末の 4 月～10 月平均気温を年別に集計すると図 4.3-15 のとおりであり、この結果から予測代表年を表 4.3-9 のとおり選定した。

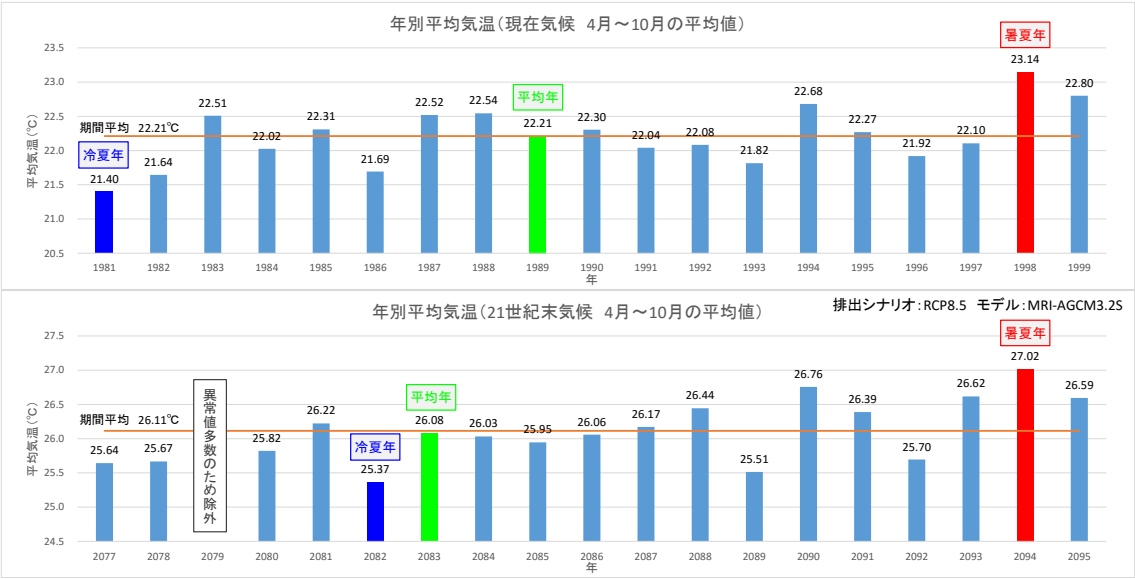


図 4.3-15 年別の 4 月～10 月平均気温

表 4.3-9 予測代表年

時 期	予測対象年		
	暑夏年	平均年	冷夏年
現在気候	1998 年	1989 年	1981 年
21 世紀末気候	2094 年	2083 年	2082 年

2) 計算条件

計算対象期間は、現在気候・21世紀末気候とも、評価期間である4月1日～10月31日の7か月間の前に助走期間1か月を加えた、3月1日～10月31日の8か月間とした。

気象の境界条件は、現在および21世紀末の予測代表年の気候シナリオデータより1時間値を表4.3-10のとおり設定し、人工排熱量などその他の条件はp.4-31「4.3.5.2 都市気温シミュレーションモデルの構築」と同じ値を設定した。

表 4.3-10 気象条件（予測計算）

項 目	設定条件	備 考
太陽の位置	北緯 33° 34.9′、東経 130° 22.5′	太陽軌跡は計算対象日ごとに設定
気温	気候シナリオデータ（時別値）を、以下の気温減率で地上 100m の値に換算 昼間：-1.8℃/100m（大気安定度 B） 夜間：-1.0℃/100m（大気安定度 D）	接地層上端 100m における気温 気温減率は、昼間の大気安定度は不安定、夜間の大気安定度は中立という仮定のもと、Regulatory Guide 1.23, "Meteorological Monitoring Programs for Nuclear Power Plants" (U.S.NRC, 2007)を参考に設定
風速	気候シナリオデータ（時別値、高さ 10m）を、1/4 乗べき乗則で地上 100m の値に換算	接地層上端 100m における風速
比湿	気候シナリオデータ（時別値）	接地層上端 100m における比湿
直達日射量 散乱日射量	気候シナリオデータ中の下向き短波放射量（時別値）から、宇田川の方法を用いて推計	
下向き長波放射量	気候シナリオデータ（時別値）	
降水量	気候シナリオデータ（1時間積算値）	

3) 気温予測結果

予測代表年における気温の予測結果の一例を図 4.3-16 に示す。

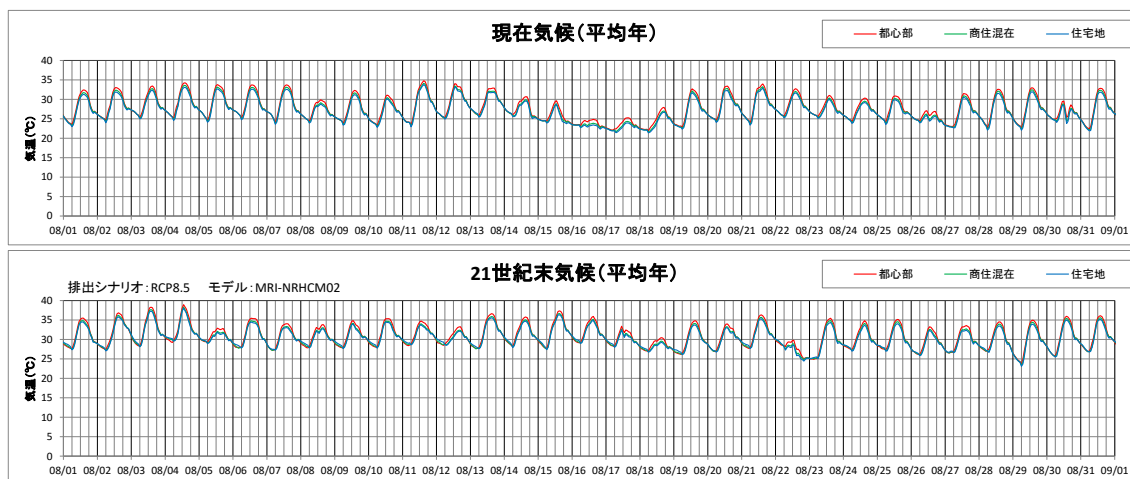


図 4.3-16 気温の予測結果例（現在及び21世紀末の平均年の8月を例示）

4.3.5.4 将来の熱中症発生リスクの評価

都市気温の予測結果と影響評価式から、3 種類の都市構造別に、現在と 21 世紀末の熱中症救急搬送者数を推計した。また、福岡市全域における年間の熱中症救急搬送者数を指標として、ヒートアイランド現象も加味した将来の熱中症発生リスクを評価した。

4.3.6 影響予測モデルに関する情報

4.3.6.1 建築－都市－土壌連成系モデル AUSSSM の概要

気温の計算には、九州大学で開発された都市気温シミュレータ AUSSSM (Architecture-Urban-Soil Simultaneous Simulation Model: 建築－都市－土壌連成系モデル) を用いた。その構成について、概略を参考資料^{34, 35}より抜粋して示す。

(1) AUSSSM の概要

AUSSSM の模式図を図 4.3-17 に示す。AUSSSM は、都市大気、土壌、建物の 3 つのサブモデルからなり、全体が完全連成系として取り扱われている。限られた計算機資源の制約下で、都市計画、建築計画、設備計画上の様々な因子を網羅的にモデルに組み込むためには、都市大気と建物および土壌の相互作用について、精粗のバランスに十分配慮したモデルが必要となる。そこで、AUSSSM では、同一形状の直方体建物が等間隔に無限に並ぶ理想的な都市を想定し (図 4.3-18 参照)、大気側に鉛直 1 次元モデルが採用されている。また、土壌サブモデル及び建築サブモデルは、1 次元の熱伝導方程式が基本となっている。

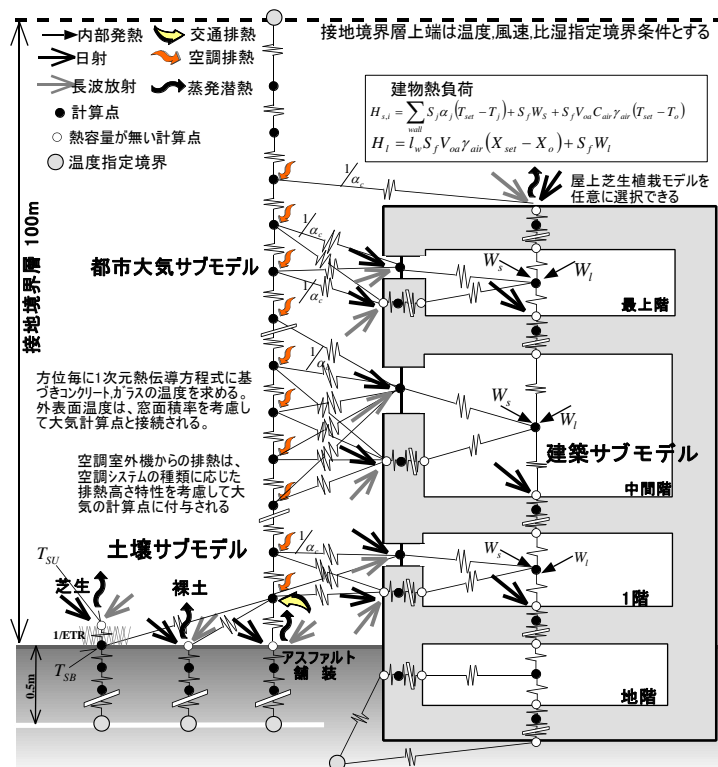


図 4.3-17 建築－都市－土壌連成系モデル AUSSSM の模式図 (温度計算点)

³⁵ 萩島理 他, 改良・建築－都市－土壌連成系モデル(AUSSSM)による都市高温化の構造解析 第1報 モデルの理論構成及び標準解, 日本建築学会計画系論文集, No.550, pp. 79-86, 2001.12.

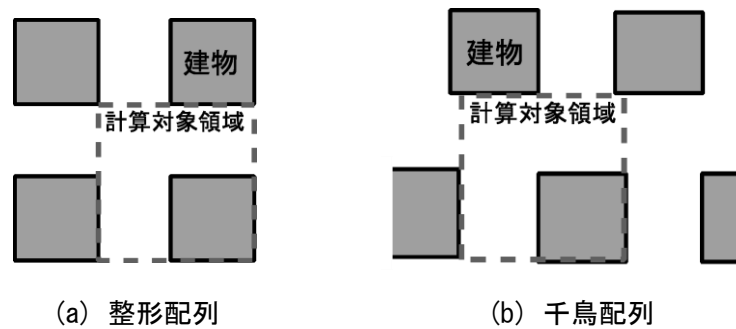


図 4.3-18 AUSSSM で想定する街区形状

(2) 都市大気サブモデル

都市大気サブモデルは、地表 100m までの接地境界層を対象として、鉛直 1 次元の熱、運動量および水蒸気の輸送方程式で表現される。都市大気サブモデルの基礎式を表 4.3-11 に示す。

建物の抗力の影響は、流体体積密度と抗力項により表現されるキャノピーモデルに基づき、(1)式の右辺第 2 項で表される。抵抗係数 c は丸山³⁶により、図 4.3-19 に示すとおり粗度体積密度の関数で定義される。なお、直方体模型群の整形配列及び千鳥配列、市街地模型を用いた風洞実験により、2 次元 k - ϵ モデルに丸山の抵抗係数を組み込んだ数値計算の鉛直プロファイルが、キャノピー層内外において実験結果と概ね一致することが確認されている。³⁷

乱流モデルは、Gambo^{38,39}によるゼロ方程式で(4)～(7)式で表される。乱れの長さスケールは、キャノピーの影響を考慮した近藤のモデル⁴⁰に基づき、式(9)(10)で算出される。

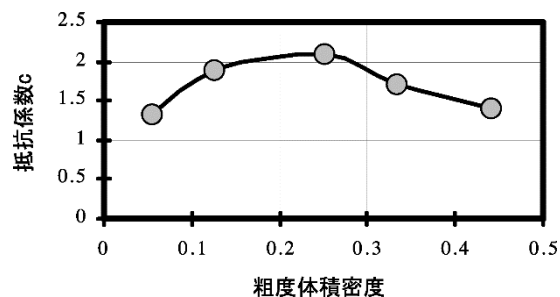


図 4.3-19 抵抗係数と粗度体積密度の関係

³⁶ 丸山敬, 粗面上に発達する乱流境界層の数値シミュレーション その 2 市街地のように粗度形状が複雑な場合, 日本風工学会誌 第 47 号, pp.81-82, 1991.

³⁷ 萩島理 他, 都市キャノピーモデルによる数値計算と風洞模型実験との比較, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp. 1107-1108, 2000.9.

³⁸ 近藤裕昭 他, 1 次元都市キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究, 大気環境学会誌 第 33 巻 第 3 号, pp. 179-192, 1998.

³⁹ Gambo, Notes on the Turbulence Closure Model for Atmospheric Boundary Layers, Journal of Meteorological Society of Japan Vol.56, No.5, pp. 466-480, 1978.

⁴⁰ Tsutomu Watanabe and Junsei Kondo, The Influence of Canopy Structure and Density upon the Mixing Length within and above Vegetation, Journal of Meteorological Society of Japan Vol.68, No.2, pp. 227-235, 1990.4.

表 4.3-11 大気サブモデルの基礎式

輸送方程式
$$m \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_m \cdot m \frac{\partial u}{\partial z} \right)}{\partial z} - \frac{1}{2} ca |u|^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$m \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_h \cdot m \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)}{\partial z} + H \dots\dots\dots (2)$$

$$m \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_v \cdot m \frac{\partial q}{\partial z} \right)}{\partial z} + W \dots\dots\dots (3)$$

乱流拡散係数 $R_f < R_{fc}$;
$$K_m = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \frac{S_M^{3/2}}{\sqrt{C}} (1 - R_f)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

$$K_h = K_v = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \frac{S_M^{1/2}}{\sqrt{C}} S_H (1 - R_f)^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

$$S_M = \frac{1 - C_2}{C_1^2} \left(\frac{HB}{G} \right) \left(\frac{R_{f1} - R_f}{R_{f2} - R_f} \right) \left(\frac{R_{f3} - R_f}{1 - R_f} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$S_H = \left(\frac{B}{CC_1 C_{1T}} \right) \left(\frac{R_{f1} - R_f}{1 - R_f} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$R_f \geq R_{fc} ; K_m = K_h = K_v = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \dots\dots\dots (8)$$

乱れの長さスケール $z < H_{canopy}$;
$$l = 2k^3 \frac{1}{ca} \{1 - \exp(-k\eta)\} \dots\dots\dots (9)$$

$$\eta = ca \frac{z}{2k^3} \dots\dots\dots (10)$$

$$z \geq H_{canopy} ; l \propto kz \dots\dots\dots (11)$$

【記号】 u : 風速[m/s], θ : 空気温度[K], q : 比湿[kg/kg], H, W : 生成項,
 K_m, K_h, K_v : 乱流拡散係数, c : 抵抗係数[-], R_f : フラックスリチャードソン数,
 R_{fc} : 限界フラックスリチャードソン数(=0.25), l : 混合長,
 k : カルマン定数 (=0.4), $R_{f1} = R_{fc} = 0.29, R_{f2} = 0.33, R_{f3} = 0.45, C_1 = 1.5,$
 $C_2 = 0.65, G = 2.32, C_{1T} = 3.2, B = 2.67, H = 2.67, C = 0.203, H_{canopy}$: 建物高さ
 m : 流体体積密度[-]

$$z \leq H_{canopy} ; m = 1 - \left(\frac{B}{B+W} \right)^2$$

$$z > H_{canopy} ; m = 1$$

a : 単位流体体積あたり建物立面積[1/m]

$$z \leq H_{canopy} ; a = \frac{B}{(B+W)^2 - B^2}$$

$$z > H_{canopy} ; a = 0$$

B : 建物幅, W : 街路幅

(3) 土壌サブモデル

1) 土壌伝熱

キャノピー空間の底部は、アスファルト、土壌、芝生の3種類の地被状態を想定し、地中0.5mを温度指定境界とする1次元の熱伝導方程式により表現される。表面における入射放射量は、後述する街路間放射場との連成による繰り返し計算で考慮される。

大気への顕熱量は、アスファルト、土壌、芝生などの面積割合を考慮して、各表面温度と大気側地表第1層空気温度との差をポテンシャルとして算出される。なお、アスファルト、土壌表面の対流熱伝達率についてはユルゲスの式(12)、芝生面については芝生試験体を用いた実測データ⁴¹⁾に基づく式(13)が用いられ、いずれも風速の関数となっている。

$$\alpha_{smooth} = 3.9u + 5.6 \dots\dots\dots(12)$$

$$\alpha_{leaf} = 4.5u + 5.2 \dots\dots\dots(13)$$

ここで、

u : 風速[m/s]

α : 対流熱伝達率[W/m² K]

添え字 *smooth* : 平滑面 (土壌、アスファルト舗装道路、建物外表面に相当する)

添え字 *leaf* : 芝生

である。

2) 土壌からの蒸発量⁴²⁾

完全ぬれ面からの蒸発量に対する土壌蒸発量の割合を表す蒸発比 *re* の変動を、表層0.1mの土壌含水率の関数で定義する簡易手法が用いられる。この手法では、土壌中の水分計算点が表層1点で済み、熱水分同時移動方程式に基づく従来の解法に比べ大幅に計算負荷を減らすことが可能となる。土壌表層部分の水分収支式は次のように表現される。

$$\gamma_s \cdot \Delta x \frac{d\phi}{dt} = P - EVS - GD(\phi) + C \dots\dots\dots(14)$$

$$\phi \leq \phi_{sat} \dots\dots\dots(15)$$

$$\gamma_s = (1 - \phi)^{-1} \cdot \gamma_{dry} \dots\dots\dots(16)$$

$$EVS = re(\phi / \phi_{sat}) \frac{\alpha}{C_p} (X_{sat} - X_{air}) \dots\dots\dots(17)$$

ここで、

ϕ : 土壌の重量含水率[kg/kg]

ϕ_{sat} : 飽和含水率[kg/kg]

γ_s : 土壌の密度[kg/m³]

⁴¹⁾ 香川治美 他, 芝生植栽が都市熱環境に及ぼす影響に関する研究 第1報 土壌の含水状態を考慮した芝生植栽の蒸発発散特性の定量的特定, 日本建築学会計画系論文集 No. 507, pp. 7-12, 1998.5.

⁴²⁾ 萩島理 他, 二相系熱水分同時移動方程式による数値実験に基づく土壌物性値の同定 都市熱環境評価のための地表面からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究 第2報, 日本建築学会計画系論文集 No.540, pp. 67-72, 2001.2.

γ_{dry} : 土壌の絶乾密度[kg/m³]
 P : 降水量[kg/m² s]
 EVS : 蒸発量[kg/m² s]
 C : 拡散による水分供給[kg/m² s]
 GD : 重力透水[kg/m² s]
 re : 蒸発比[-]
 X_{air} : 絶対湿度[kg/kg]
 X_{sat} : 表面温度基準の飽和絶対湿度[kg/kg]

である。

重力透水 GD 及び蒸発比 re と土壌含水率 ϕ の関係式は、二相系熱水分同時移動方程式に基づく数値計算結果を精解として、土壌種毎に同定が行われている⁴²。埴壤土の蒸発比及び重力透水と含水率との関係を、図 4.3-20 及び図 4.3-21 にそれぞれ示す。

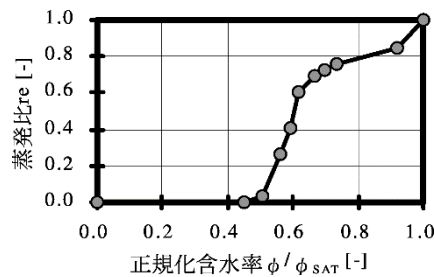


図 4.3-20 正規化含水率と蒸発比の関係（埴壤土）

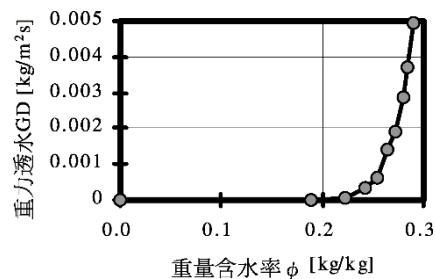


図 4.3-21 重量含水率と重力透水の関係（埴壤土）

3) 芝生からの蒸発散量⁴¹

芝生表層における熱収支式は、葉群層が熱容量無しで熱抵抗を持つという仮定のもとで、次式で表現される。

$$SR + LR + CD + CV + l \cdot EVL = 0 \dots\dots\dots(18)$$

$$CD = \frac{1}{ETR} (T_{SB} - T_{SU}) \dots\dots\dots(19)$$

$$EVL = \kappa \cdot EVS \dots\dots\dots(20)$$

ここで、

SR : 短波放射量[W/m²]

LR : 長波放射量[W/m²]

CD : 伝導熱量[W/m²]
 CV : 対流熱伝達量[W/m²]
 ETR : 等価的熱抵抗[m² K/W]
 T_{SB} : 芝生葉表面温度[K]
 T_{SU} : 葉根元温度[K]
 EVL : 蒸発散量[kg/m² s]
 l : 相変化熱[J/kg]

である。

κ は同じ条件下におかれた裸土に対する芝生の蒸発量の比で、土壌含水率の関数で与えられる。 ETR および κ は、試験体を用いた屋外長期実測⁴¹により同定が行われている。

4) アスファルト舗装面からの蒸発量⁴³

人工被覆面は、乾き面として蒸発を無視した取り扱いをするのが一般的であるが、AUSSSM では降水直後の過渡的蒸発の影響を考慮できるように、以下のような蒸発比簡易予測手法が組み込まれている。

降水後に表面付近の空隙に蓄えられる水分の収支式は、完全ぬれ面からの蒸発量に対する人工被覆面からの蒸発量の割合を表す蒸発比 re を用いて、次式で表現される。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -E \quad (\text{ただし } t=0 \text{ において } \phi = \phi_{\max}) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$E = re \cdot k_x \cdot (X_s(T_s) - X_a) \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$re = \phi / \phi_{\max} \quad \dots\dots\dots (23)$$

ここで、

ϕ : 表面に付着する水分量[kg/m²]
 ϕ_{\max} : 表面に付着する最大水分量[kg/m²]
 (アスファルト舗装面 0.30, アスファルトシート防水の場合 0.45)
 E : 蒸発量[kg/m² s]
 t : 降水後の経過時刻[s]
 re : 蒸発比[-]
 $X_s(T_s)$: 表面温度 T_s に対する飽和絶対湿度[kg/kg]
 X_a : 空気の絶対湿度[kg/kg]
 k_x : 物質移動係数[kg/m² s・kg/kg]

である。

⁴³ 月松孝司 他, 降水後の人工被覆面における蒸発比減衰モデルの提案 その3 蒸発比減衰モデルの改良, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp. 351-352, 2000.9.

(4) 街路間放射

交差点部分の路面とそれ以外の路面がそれぞれ 3×3 の格子に、建物壁面 4 方位がそれぞれ 3×3 の格子に分割され、面對面の形態係数により各格子間の放射計算が行われる。各格子への一次入射日射量は、格子を 10×10 に分割した細分格子中心点における直達日射の有無を各々判定して得られる日影面積率と天空率から求められる。反射日射量については、ラジオシティ法によりキャノピー構成面を一様拡散面と仮定して繰り返し計算が行われ、多重反射した日射量が一次入射日射量の 1% 未満になると計算が打ち切られる。なお、ガラスの一次入射日射の直達成分に対する日射反射率については、入射角依存性が考慮されている⁴⁴。長波長放射については、大気放射及び表面絶対温度 4 乗射出成分が面對面形態係数により考慮され、繰り返し計算により求解される。

4.3.6.2 モデルの検証

本調査において整理した人工排熱条件、建物立地条件及び地表面被覆条件のもと（p.4-31「4.3.5.2 都市気温シミュレーションモデルの構築」参照）、平成 30 年 4 月～10 月の都市気温を都市構造（都心部、商業地と住宅地の混在地、住宅地）別に計算し、これを p.4-25「4.3.4.1 (1) 福岡市内の気温分布の現地観測」で得られた平成 30 年夏季の気温観測結果と比較することにより、計算結果の妥当性を検証した。

(1) 計算条件

検証計算の対象期間は、平成 30 年夏季の気温観測期間を含む平成 30 年 6 月 1 日～10 月 31 日の 5 か月間とした。

気象の境界条件は、計算対象期間における福岡管区气象台での地上気象観測結果に基づき、1 時間値を表 4.3-12 のとおり設定した。

人工排熱量（建物排熱量、自動車排熱量）は、本調査で推計した月別の 1 時間値を、都市構造（都心部、商業地と住宅地の混在地、住宅地）別に与えた（p.4-35「4.3.5.2 2) 人工排熱量の推計」図 4.3-14 参照）。建物立地状況と地表面利用状況は、数値地図や空中写真をもとに、都市構造別に設定した（p.4-37「4.3.5.2 3) 建物立地状況及び地表面利用状況の把握」表 4.3-7 参照）。熱物性その他の条件は、全ての都市構造に対して共通の値を設定した（p.4-37「4.3.5.2 4) その他の計算条件の設定」表 4.3-8 参照）。

⁴⁴ 宿谷昌則，数値計算で学ぶ光と熱の建築環境学，丸善，1993.

表 4.3-12 気象条件（検証計算）

項 目	設定条件	備 考
太陽の位置	北緯 33° 34.9′、東経 130° 22.5′	太陽軌跡は計算対象日ごとに設定
気温	福岡管区気象台での地上気象観測値（時別値）を、以下の気温減率で地上 100m の値に換算 昼間：-1.8℃/100m（大気安定度 B） 夜間：-1.0℃/100m（大気安定度 D）	接地層上端 100m における気温 気温減率は、昼間の大気安定度は不安定、夜間の大気安定度は中立という仮定のもと、Regulatory Guide 1.23, "Meteorological Monitoring Programs for Nuclear Power Plants" (U.S.NRC, 2007)を参考に設定
風速	福岡管区気象台での地上気象観測値（時別値、観測高さ 34.6m）を、1/4 乗べき乗則で地上 100m の値に換算	接地層上端 100m における風速
比湿	福岡管区気象台における気温、相対湿度および気圧（いずれも時別値）から、Tetens の式を用いて推計	接地層上端 100m における比湿
直達日射量 散乱日射量	福岡管区気象台での全天日射量の観測値（1 時間積算値）を単位換算した上で、宇田川の方法により推計	
下向き長波放射量	福岡管区気象台での気温と雲量の観測値（いずれも時別値）から、Swinbank の式を用いて推計	
降水量	福岡管区気象台での地上気象観測値（1 時間積算値）	

(2) 検証結果

1 時間ごとの気温の計算結果を図 4.3-23 に示す。なお、図中には参考として、境界条件として与えている接地層上端（地上 100m）の気温も併せて示している。これらの結果より、「福岡管区气象台での気温観測値との差」を指標として、再現性を検証した。

観測値と計算値のそれぞれについて、1 時間値から日平均気温を集計した上で、福岡管区气象台との日平均気温の差を日別に求め、気温の現地観測期間（平成 30 年 6 月 27 日～10 月 28 日）内の平均値と変動幅を整理すると図 4.3-22 のとおりとなる。なおここで、観測値としては、都心部・商住混在・住宅地と位置づけた代表 3 地区（それぞれ天神地区、西新地区、長丘・長住地区）に近接し、かつ類似の都市構造下にある観測地点 3 地点のデータを使用している。

観測値と計算値とで、日平均気温差の平均値を比較すると、都心部では概ね同程度、商住混在地や住宅地では計算値がやや低めとなっている。また、変動幅を比較すると、都心部や商住混在地では、計算値の変動幅は観測値の変動幅の範囲内にあるのに対し、住宅地では、計算値の変動幅は観測値の変動幅より若干低温側にシフトしている。

このように、日平均気温差の観測値と計算値にはやや相違がみられるが、都市気温シミュレータ A USSM は同一形状の直方体建物が等間隔に無限に並ぶ理想的な都市を想定することで都市大気－建物－土壌の複雑な相互作用の計算を合理化したモデルであり、様々な土地利用が複雑に混在する実際の観測地点付近の気象を忠実に再現するものではないことや、地区間の気温計算値の差を生む要素の一つである人工排熱量にも、既存資料に基づく推計値のため一定程度の不確実性が含まれ得ることを勘案すれば、計算値は観測値を概ね再現できていると判断される。

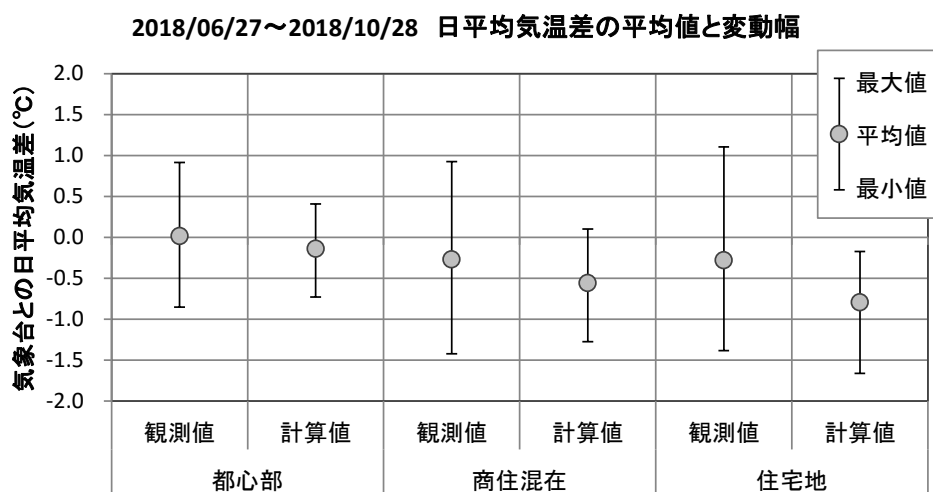


図 4.3-22 都市気温計算値の検証結果

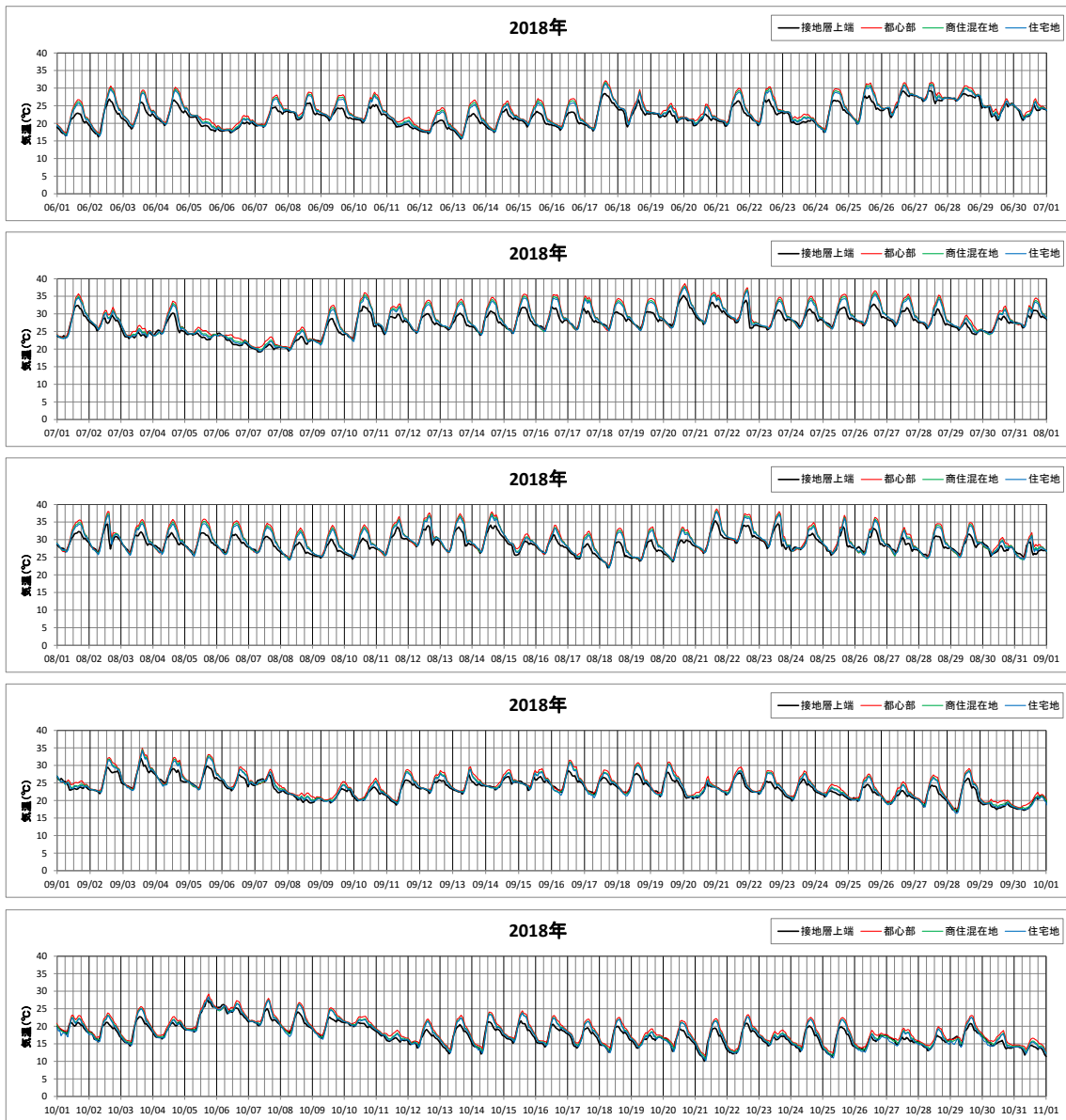


図 4.3-23 検証計算結果（平成 30 年 6 月～10 月）

4.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

表 4.3-13 影響予測に必要な入力パラメータ

項目	内容
位置情報	予測対象地点の経緯度
気象条件	気温、風速、比湿、下向き短波放射量（日射量）、下向き長波放射量、降水量の各 1 時間値
建物立地状況、 地表面利用状況	利用面積率（建物、道路、その他）、地表面被覆率（アスファルト、土壌、緑地）、建物 1 軒あたりの街区幅、建物幅、グロス容積率、建物階数、階高、建物排熱位置
人工排熱量	空調排熱量（顕熱、潜熱）、自動車排熱量（顕熱）の各 1 時間値
熱物性その他	日射吸収率（建物屋上、建物壁面、舗装道路、土壌、芝生）、窓面積率、芝生の熱抵抗、建物配列（整形配列または千鳥配列：p.4-42 図 4.3-18 参照）、換気量

4.3.8 影響予測における留意事項（制限事項）

本調査では、気候変動にともなう将来の気温上昇だけでなく、都市のヒートアイランド現象の影響も加味した将来影響予測を行う計画であったことから、ヒートアイランド現象の原因となる諸要素（人工排熱、地表面被覆、都市構造、等）の違いにより生じる都市気温の差を把握するため、シミュレータ AUSSSM を用いた都市気温シミュレーションを実施している。

都市のヒートアイランド現象の影響を考慮せず、気候変動にともなう将来の気温上昇の影響だけを予測対象とする場合は、日平均気温や日最高気温など日別値の気候シナリオデータを影響評価式（熱中症救急搬送者数と気象要素の関係式）に直接代入することで、都市気温シミュレーションを実施せずとも同様の将来影響予測は実施可能であり、その場合には作業を大幅に簡略化できる。

4.4 調査結果

4.4.1 文献調査結果

熱中症発生要因分析に先立ち、熱中症に関する既往調査研究事例を収集整理した。
得られた主な知見は次のとおりである。

- ・年度別には、平成 25 年度から 28 年度の間でみると、平成 25 年度が最も多い。
- ・年齢別には、65 歳以上の割合が高い。男女別には、地域によってばらつきは認められるが、全国平均的には男性の割合がやや高く、特に中壮年層では男性の割合がかなり高くなっている。
- ・発生場所別には、男女ともに「住宅（住居）」の割合が多く、また中壮年層の男性は「作業中」の割合も高い。発生状況別には、「スポーツ」や「労働」では男性の割合が高いのに対し、「日常生活」では男女間にあまり差はない。屋内外別には、「スポーツ」や「労働」では屋外の割合が圧倒的に高いのに対し、「日常生活」では屋内と屋外は同程度である。
- ・月別には、多くの地域で 7 月と 8 月が多く、この 2 か月間での発生割合が全体の大部分を占めている。
- ・日別には、日による変動がかなり大きく、気温や暑さ指数（WBGT）の変動と概ね連動している。また、気温が急上昇したときに著しく増加したり、気温の高い日が連続すると次第に低下するような傾向も認められる。
- ・時刻別には、日中の時間帯の割合がかなり高く、また複数の事例において、12 時頃から 14 時頃の間一旦減少する傾向が認められる。
- ・東京都における熱中症救急搬送者数と気温の関係をみると、日最高気温 29℃前後からわずかに救急搬送者が出始め、32℃あたりから急激に上昇する傾向がみられた。また、平均搬送者数の対数と気温との間に直線関係が認められた。

4.4.2 有識者ヒアリングの結果

4.4.2.1 全般

- ・熱中症救急搬送データは、救急車が現場に到着したときの状況に基づいて記録されているが、実際の発症から救急要請に至るまでの経過は記録されていない。救急搬送データにおける覚知の場所や時間のデータを解釈するにあたって、その場その時の暑熱環境が原因となって発症しているとは限らない点に留意が必要である。
- ・日本国内に限らず世界レベルで、「適応策の成功事例」や「埋もれた適応策」を集めることができると良い。今後、有効な適応策を検討するにあたっては、そのような資料が必要になってくる。
- ・適応オプションについて、現在は主に平時の適応策がリストアップされているが、今後は複合影響の検討の必要性が出てくると思われる（例：停電が生じている中での猛暑時には、空調は使えないが冷水があれば予防効果を高められるなど）。

4.4.2.2 熱中症救急搬送データ関連

- ・熱中症の発症には、当日の気温のほか「前日との気温差」「前日や前々日の気温の遷延効果」「暑熱への順化の程度」などが関連している。
- ・「教育機関」での発症は、主に部活動中や体育授業中の労作性であり、体育祭の練習の時期に増える傾向がある。また、「仕事場」での発症も、労作性が多いと思われる。一方で「一般住宅」「共同住宅」などでの発症は非労作性とは限らず、昼間の労働や運動の後の帰宅中や帰宅後に救急要請されるケースもある。
- ・平成30年度の熱中症救急搬送者数が、同じ気温でも他の年度に比べて多く出ている点については、熱中症の発症状況や注意喚起に関する報道等を受けて人々が早めに救急要請をするようになったなど、人の行動変化が一因となっている可能性がある。

4.4.2.3 将来影響予測関連

- ・日平均気温と熱中症救急搬送者数の関係式を用いて将来影響評価を行う際、過去にほとんど出現していない高気温日の搬送者数推計値の不確実性が大きい点について、そのような高気温日の出現頻度と、それらの日に救急搬送者数が何人と見積もられているかを整理しておく、その不確実な推計値が将来の年間救急搬送者数のうちのどの程度を占めているかが把握できる。
- ・熱中症の発症には、当日の気温のほか、前日や前々日の気温の遷延効果も加わってくる。研究レベルではそのような遷延効果を考慮したリスク推定がスタンダードとなっており、高気温による死亡数を推定するときなど当日気温だけで推定すると、前日や前々日の影響が出てこないため、アンダーエスティメイトになってしまう可能性がある。熱波などで暑い日が続くと、高温の連続で消耗するという追加的なリスクが生じ、それによって実際のリスクは今の推定値よりも大きくなる可能性があるため、「将来の熱中症リスクは現在の3~4倍」という評価は控えめな数値なのかもしれない。

- ・一方で、特に高気温日の熱中症救急搬送者数は、指数関数形の関係式の外挿部による推定であるが、暑熱回避のために人間活動に変化（屋内退避など）が生じるであろうことを考えると、一概にはそうはならず、関係式も実際には 30℃以上のどこかに、傾きが緩やかとなる変化点があると思われる。
- ・熱中症救急搬送者数と気象要素の関係式で、再現性を向上させようとするならば、「時期別、月別の検討」や「経過時間で重み付けした平均気温との関係の検討」などのアプローチが必要である。

4.4.2.4 適応オプション関連

- ・小学校区別の熱中症救急搬送者数が上位となることが多い校区がいくつかある。そういう校区に対して重点的に注意喚起を呼びかけるというのも、効果的な予防策の一つになる可能性がある。
- ・一人暮らしの高齢者や、認知症あるいはその手前の高齢者などのハイリスクグループに対しては、知識普及、見守り、早期発見などの体制構築が重要であり、知識普及ができれば一番良いが、それを具体的にどのように進めていくかが一番の課題。
- ・高齢者の発症を予防する上で、人による見守りには限界がある。予防グッズも種々あるが、高齢者が自分では使えない場合などは同居者がいないと使用できない。昔は民生委員が見守りの役目を果たしていたが、今は民生委員自身が高齢になっている。高齢者の効果的な予防対策という意味では、エアコンの自動運転などの技術開発や、電力会社による見守りサービス等の仕組みづくりが重要となってくる。
- ・「学校保健」の一環として、学校を起点とする子供から親・祖父母への情報伝達は、居室内での高齢者の発症予防に効果的と思われる。
- ・仕事場での発症に関しては、大手企業などでは対策が進みつつあるが、個人事業者ほか小さな企業ではまだそれほど進んでいない。また、運送業や引越業など、管理を自分自身で行わなければならない業種もある。仕事場での熱中症予防対策は、事業者の取り組みに任せるだけでは十分には進まない可能性がある。
- ・仕事場での熱中症の予防に関しては、たとえば地方自治体が発注する公共工事のプロポーザルで夏季の熱中症対策を提案させるなどのことができれば、対策はもっと進むのではないと思われる。
- ・気候変動にともない熱中症発症者が増えた場合の救急医療の対応について、熱中症は同じ日の同じ時間帯に複数箇所複数人が同時多発する可能性があり、そのような状況では今のままでは対応が難しくなると思われる。
- ・今後の救急医療体制に関しては、必要な人が必要なときに利用できるようにすることが重要である（#7119 救急医療電話相談の普及活用など）。

4.4.3 観測や実証試験の結果

4.4.3.1 福岡市内の気温分布の現地観測

(1) 気温の月別平面分布

2次元スプライン補間法により作成した、福岡市内の気温の月別平面分布図の一例として、平成30年8月の気温分布図を図4.4-1に示す。

月平均気温は、6月に観測を開始して以降、8月まで上昇し、その後は10月にかけて低下した。月平均気温は8月に最も高く、最高値は30.6℃であった。

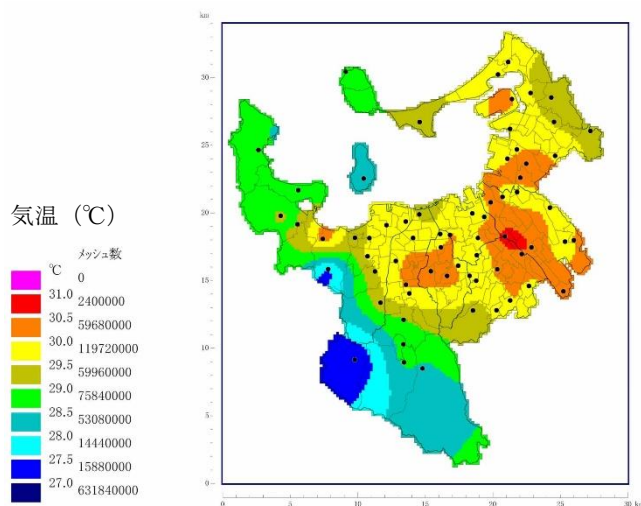


図 4.4-1 月平均気温の分布（平成30年8月：8月1日～31日）

(2) 日平均気温が最高の日の気温分布

月平均気温が最高であった8月のうち、福岡管区気象台地点において最も日平均気温が高かった8月22日について、福岡市内の日平均気温の分布を図4.4-2に整理した。

中央区、博多区、東区の沿岸部で33℃以上と最も高く、それらの区域を中心として高温域が広く出現していた。

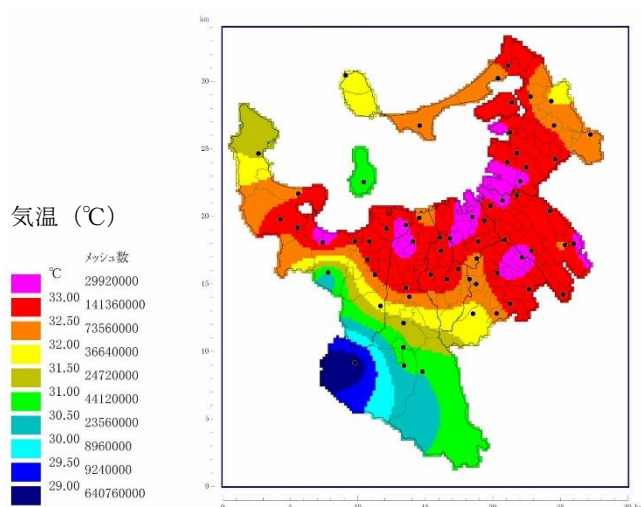


図 4.4-2 平成30年8月22日の日平均気温の分布

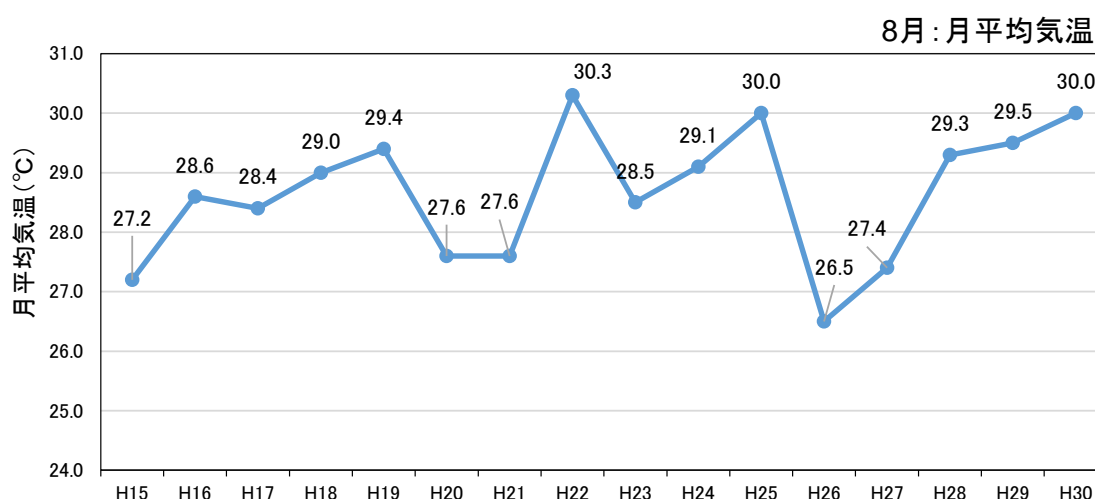
(3) 平成 15 年度の同種調査結果との比較

平成 15 年度に福岡市環境局が実施した同種調査⁴⁵の結果に対し、本調査と同様の処理を行い、それぞれの年の月平均気温の平面分布を比較した。平成 15 年、平成 30 年の 8 月の月平均気温の平面分布は、図 4.4-4～図 4.4-5 に示すとおりである。

平面分布の比較に先立ち、福岡管区气象台における 8 月の月平均気温の経年変化をみると、平成 15 年 8 月は 27.2℃、平成 30 年 8 月は 30.0℃と、平成 30 年は平成 15 年より 3℃程度高かった（図 4.4-3）。

平成 15 年 8 月と平成 30 年 8 月の月平均気温の分布を比較すると、平成 15 年は主に博多区の沿岸部から内陸部にかけて、帯状に高気温（27.5℃以上）の区域がみられ、東区、城南区の一部でもやや高気温（27.5℃以上）の区域がみられていた。

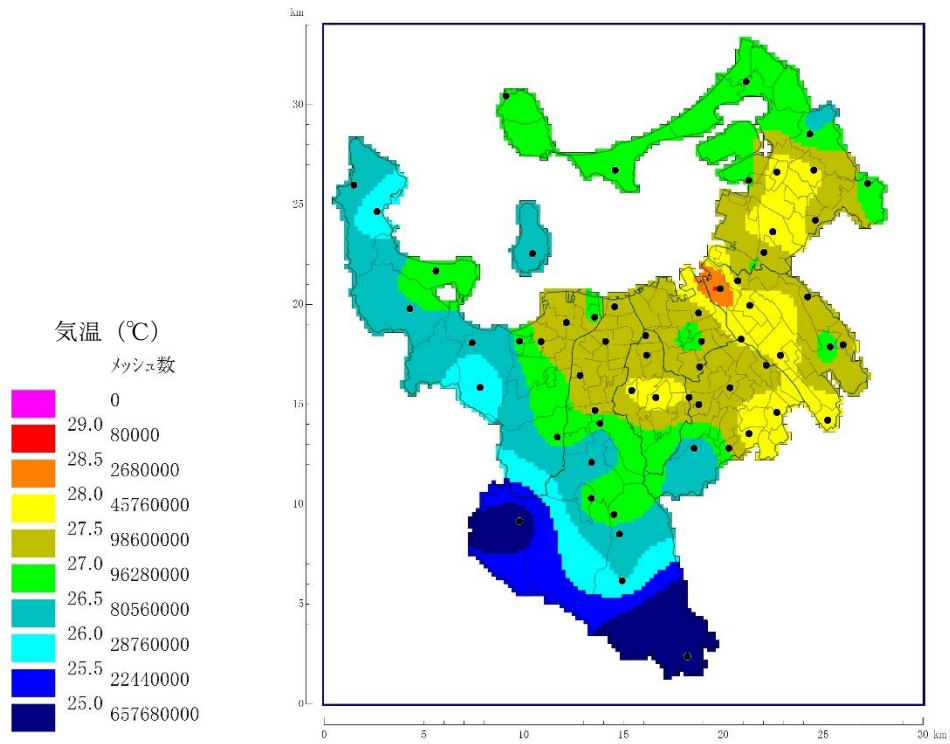
一方で、平成 30 年 8 月の高気温域（30.0℃以上）は、博多区のやや内陸部を中心として市内に広く出現していたほか、東区の一部や城南区の一部にも、平成 15 年と概ね同じ区域に高気温域が出現していた。また、東区香椎照葉や西区今宿など、市街地整備が比較的最近進んだ区域には、平成 15 年にはみられない高気温域の出現が認められた。



【資料】地上気象観測結果（気象庁）より作成

図 4.4-3 福岡管区气象台における 8 月の月平均気温の経年変化

⁴⁵ 「福岡市ヒートアイランド現象調査報告書」（平成 16 年 3 月 福岡市環境局）



【資料】「福岡市ヒートアイランド現象調査報告書」（平成 16 年 3 月 福岡市環境局）より作成

図 4.4-4 月平均気温の分布（過年度の同種調査：平成 15 年 8 月）

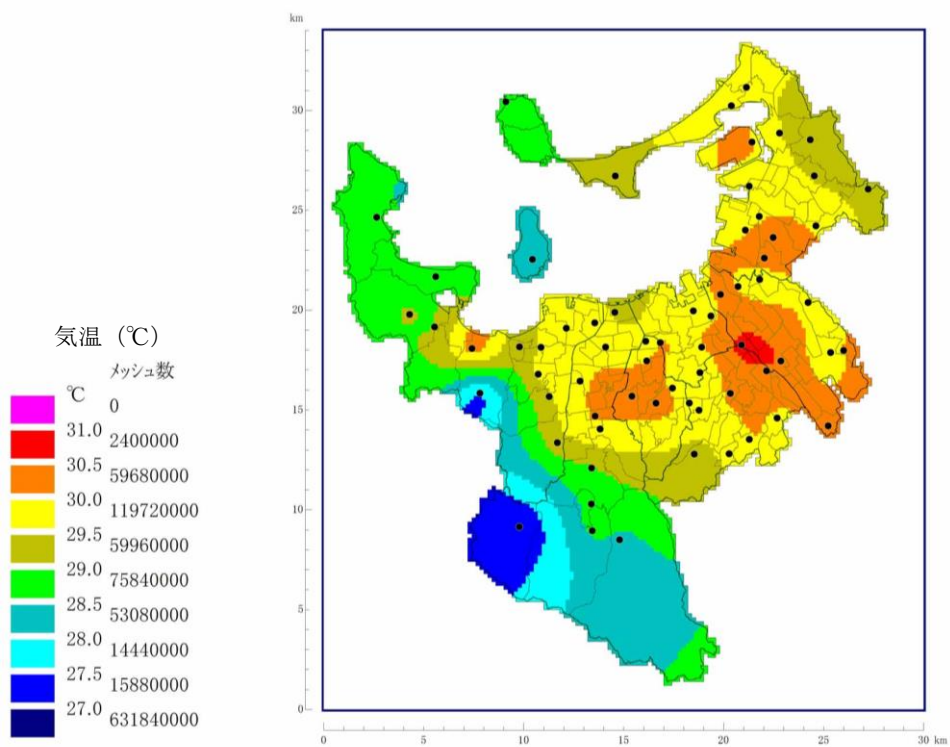


図 4.4-5 月平均気温の分布（本調査：平成 30 年 8 月）

4.4.3.2 暑熱環境に係る現地踏査

暑熱環境に係る現地踏査の結果の中から、主な結果を抜粋して表 4.4-1～表 4.4-4 に示す。夏季の晴天時に現地踏査を行ったことにより、次のようなことがわかった。

- ・所在地が比較的近接する芝生公園内と人工被覆公園内の日向において、暑さ指数を同時に観測した。同じ日向という条件下では、芝生公園内でも人工被覆公園内でも、気温・相対湿度・黒球温度・暑さ指数とも大差はなかった（表 4.4-1）。
- ・公園内、歩道上、駅構内、運動場など様々な場所において、近接する日向と日陰で暑さ指数を同時に観測した。観測地点が近接していることから、気温や相対湿度にはほとんど差はないが、日射の有無で黒球温度に大きな差が出るため、暑さ指数には 1～2℃の差がみられた（表 4.4-2、表 4.4-3）。
- ・一方、福岡市では、夏季の昼間は海陸風により、気温の低い海風が北から南に吹くことが多く、高層ビルの風上側の壁面下ではこの海からの冷気が壁面に当たって吹き降りてくる。そのような場所では他と比べて気温が 1℃程度低かったが、日照条件が同等で黒球温度に大差がなく、また場所が近接しているなどで相対湿度にも大差がない環境下では、暑さ指数はそれほどには低下しなかった（表 4.4-4）。
- ・屋内環境に関しては、都心部の地下街、駅構内のクールルーム、体育館などで冷房を稼働させた場合、気温、相対湿度、黒球温度の全てが低下することで、暑さ指数には最大で 5℃程度の低下がみられた（表 4.4-3）。
- ・福岡市内のいくつかの運動公園において、公園内の歩行による暑さ指数の移動観測を行った。各運動公園とも、全般的に日陰が少なく、夏季昼間の晴天時には日向の暑さ指数は 30℃程度に上昇していた中で、様々なスポーツ活動が行われていた（表 4.4-5）。

これらより、人が感じる暑熱感の緩和策としては、屋外では日陰の創出、屋内では空調の使用などが効果的と考えられる。なお、運動公園内の競技場や学校の運動場などでは、十分な日陰を創出するのは規模や用途の観点から容易ではないが、現地踏査を実施した運動公園の中には、当日の暑さ指数予報の掲示による注意喚起が行われている運動公園や、ミスト噴霧装置が設置された運動公園もあり（表 4.4-5）、これらのような小規模な対策でも、補助的な緩和策として一定の効果はあるものと考えられる。

表 4.4-1 暑熱環境に係る現地踏査結果(1)


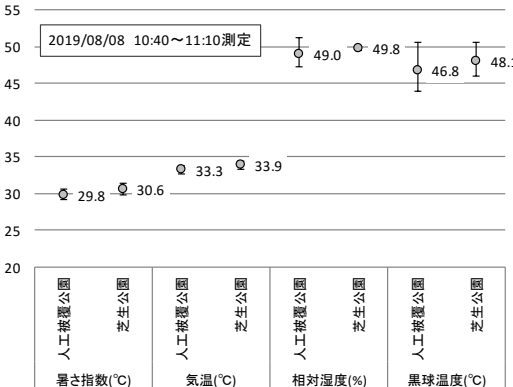
目的（ねらい）	1. 芝生上と人工被覆上の日向の暑さ指数比較																		
測定日時	令和元年 8 月 8 日 10:40～11:10																		
測定場所	【芝生公園】 天神中央公園		【人工被覆公園】 警固公園																
測定状況																			
測定結果	<div>芝生公園と人工被覆公園における日向の暑さ指数比較</div>  <table><thead><tr><th>測定項目</th><th>芝生公園</th><th>人工被覆公園</th></tr></thead><tbody><tr><td>暑さ指数(°C)</td><td>29.8</td><td>30.6</td></tr><tr><td>気温(°C)</td><td>33.3</td><td>33.9</td></tr><tr><td>相対湿度(%)</td><td>49.0</td><td>49.8</td></tr><tr><td>黒球温度(°C)</td><td>46.8</td><td>48.1</td></tr></tbody></table>				測定項目	芝生公園	人工被覆公園	暑さ指数(°C)	29.8	30.6	気温(°C)	33.3	33.9	相対湿度(%)	49.0	49.8	黒球温度(°C)	46.8	48.1
測定項目	芝生公園	人工被覆公園																	
暑さ指数(°C)	29.8	30.6																	
気温(°C)	33.3	33.9																	
相対湿度(%)	49.0	49.8																	
黒球温度(°C)	46.8	48.1																	

表 4.4-2 暑熱環境に係る現地踏査結果(2)

目的 (ねらい)	3. 街路樹のない幹線道路歩道における日向とバス停上屋下の暑さ指数比較															
測定日時	令和元年 8 月 8 日 12:10～12:32															
測定場所	福岡市中央区 国道 202 号 (国体道路) 天神一丁目バス停															
測定状況																
測定結果	<p>歩道上の日向とバス停日陰の暑さ指数比較</p>  <table><thead><tr><th>測定項目</th><th>歩道上 (日向)</th><th>バス停上 (日陰)</th></tr></thead><tbody><tr><td>暑さ指数(°C)</td><td>31.3</td><td>29.6</td></tr><tr><td>気温(°C)</td><td>35.4</td><td>35.3</td></tr><tr><td>相対湿度(%)</td><td>47.2</td><td>47.4</td></tr><tr><td>黒球温度(°C)</td><td>48.3</td><td>38.7</td></tr></tbody></table>	測定項目	歩道上 (日向)	バス停上 (日陰)	暑さ指数(°C)	31.3	29.6	気温(°C)	35.4	35.3	相対湿度(%)	47.2	47.4	黒球温度(°C)	48.3	38.7
測定項目	歩道上 (日向)	バス停上 (日陰)														
暑さ指数(°C)	31.3	29.6														
気温(°C)	35.4	35.3														
相対湿度(%)	47.2	47.4														
黒球温度(°C)	48.3	38.7														

表 4.4-3 暑熱環境に係る現地踏査結果(3)



目的（ねらい）	20. 都心部の南北道路の日陰側歩道・日向側歩道及び地下街での暑さ指数の移動観測																
測定日時	令和元年 8 月 13 日 10:56～11:41																
測定場所	福岡市中央区 県道後野福岡線（渡辺通り）																
測定状況	<div><div></div><div>日陰側歩道</div><div></div><div>日向側歩道</div></div>																
測定結果	<div>都心部の南北道路の歩道及び地下街での暑さ指数の移動観測</div> <div><div>2019/08/13 10:56～11:41測定</div><table><thead><tr><th>暑さ指数(°C)</th><th>気温(°C)</th><th>相対湿度(%)</th><th>黒球温度(°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>歩道(日向側)</td><td>歩道(日向側)</td><td>歩道(日向側)</td><td>歩道(日向側)</td></tr><tr><td>歩道(日陰側)</td><td>歩道(日陰側)</td><td>歩道(日陰側)</td><td>歩道(日陰側)</td></tr><tr><td>地下街</td><td>地下街</td><td>地下街</td><td>地下街</td></tr></tbody></table></div>	暑さ指数(°C)	気温(°C)	相対湿度(%)	黒球温度(°C)	歩道(日向側)	歩道(日向側)	歩道(日向側)	歩道(日向側)	歩道(日陰側)	歩道(日陰側)	歩道(日陰側)	歩道(日陰側)	地下街	地下街	地下街	地下街
暑さ指数(°C)	気温(°C)	相対湿度(%)	黒球温度(°C)														
歩道(日向側)	歩道(日向側)	歩道(日向側)	歩道(日向側)														
歩道(日陰側)	歩道(日陰側)	歩道(日陰側)	歩道(日陰側)														
地下街	地下街	地下街	地下街														

表 4.4-4 暑熱環境に係る現地踏査結果(4)

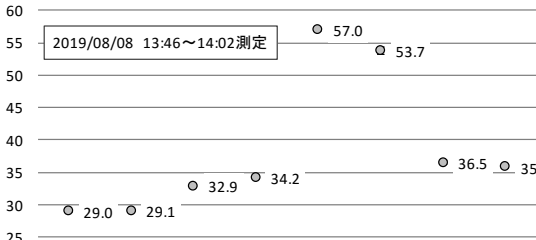

目的（ねらい）	5. 上空風が吹き下りる高層ビル風上側壁面下の暑さ指数															
測定日時	令和元年 8 月 8 日 13:46～14:02															
測定場所	福岡市中央区 市道千代今宿線（明治通り） アクロス福岡前及び付近の参照地点															
測定状況																
	高層ビル壁面下（日陰）		参照地点（日陰）													
測定結果	<div>上空風が吹き降りる高層ビル風上側壁面下の暑さ指数比較</div> <div><table><thead><tr><th>暑さ指数(°C)</th><th>気温(°C)</th><th>相対湿度(%)</th><th>黒球温度(°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>高層ビル風上側</td><td>高層ビル風上側</td><td>高層ビル風上側</td><td>高層ビル風上側</td></tr><tr><td>参照地点</td><td>参照地点</td><td>参照地点</td><td>参照地点</td></tr></tbody></table></div>				暑さ指数(°C)	気温(°C)	相対湿度(%)	黒球温度(°C)	高層ビル風上側	高層ビル風上側	高層ビル風上側	高層ビル風上側	参照地点	参照地点	参照地点	参照地点
暑さ指数(°C)	気温(°C)	相対湿度(%)	黒球温度(°C)													
高層ビル風上側	高層ビル風上側	高層ビル風上側	高層ビル風上側													
参照地点	参照地点	参照地点	参照地点													

表 4.4-5 運動公園の現地踏査結果の例

踏査地点	今津運動公園 (福岡市西区)	西南杜の湖畔公園 (福岡市城南区)	東平尾公園 (福岡市博多区)
踏査日時	令和元年 8 月 11 日 11:38～12:04	令和元年 8 月 11 日 12:49～13:12	令和元年 8 月 12 日 13:23～14:57
暑さ指数	28.8～30.6℃ 平均 29.6℃	30.2～30.5℃ 平均 30.3℃	28.9～31.2℃ 平均 29.9℃
現地の状況			
備考		事務棟前に、当日の暑さ指数の予報値が掲示されていた。 (写真最下段)	公園内にミスト噴霧装置が準備されていた。(写真最下段)

4.4.4 気候変動影響予測結果

将来の熱中症救急搬送者数を予測した結果、21世紀末（RCP8.5）では、福岡市における21世紀末の熱中症発生リスクは現在（20世紀末）の3～4倍に増加し、また都市のヒートアイランド現象により、都心部での熱中症発生リスクは住宅地の1.2倍程度となる可能性がある。

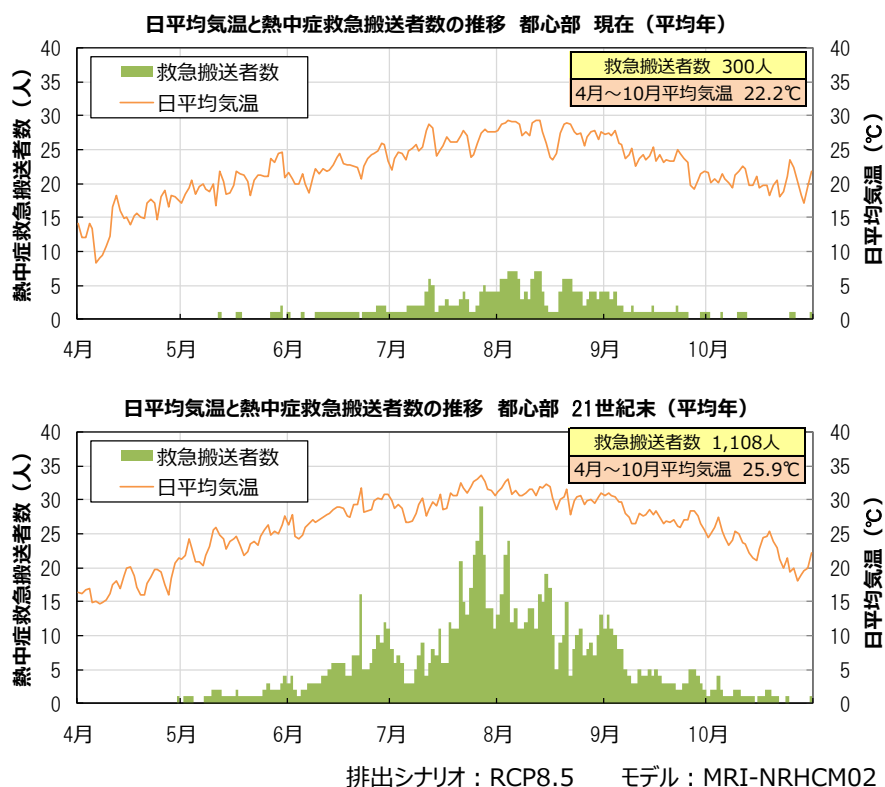


図 4.4-6 熱中症救急搬送者数の予測（21世紀末、都心部）

表 4.4-6 年間の熱中症救急搬送者数の推計結果総括表

排出シナリオ：RCP8.5 モデル：MRI-NHRCM02

予測時期 都市構造	熱中症救急搬送者数（人/年）						21 世紀末/現在比（-）		
	現在			21 世紀末					
	暑夏年	平均年	冷夏年	暑夏年	平均年	冷夏年	暑夏年	平均年	冷夏年
都心部	431	300	284	1,467	1,108	825	3.4	3.7	2.9
商住混在地	379	262	247	1,328	991	732	3.5	3.8	3.0
住宅地	351	238	228	1,276	952	701	3.6	4.0	3.1
都心部/住宅地比	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2			

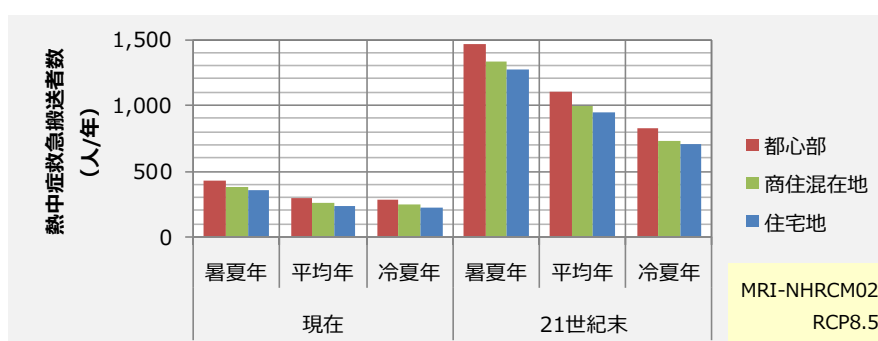


図 4.4-7 熱中症救急搬送者数の将来予測（都市形態別）

4.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

4.4.5.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気候変動による気象の変化（気温、降水量、風速、湿度、短波及び長波の放射量）のほか、都市のヒートアイランド現象の原因となる諸要素（人工排熱量、地表面被覆、都市形態）を考慮して、福岡市全域における年間の熱中症救急搬送者数の変化を予測した。

4.4.5.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

本調査において、福岡市における将来の熱中症救急搬送者数の予測を実施するにあたり、以下に示すような、現在から将来に向けての諸要素の変化は考慮していないことに注意が必要である。

- ・人口及び年齢構成の変化
- ・人工排熱量、地表面被覆、都市構造等の変化
- ・熱中症予防に関する人々の意識や対処行動の変化
- ・人々の生活スタイルや行動パターンの変化
- ・数十年かけて徐々に気温が上昇する過程での、暑熱に対する人の順化

4.4.5.3 その他、成果を活用する上での制限事項

都市気温予測に用いたシミュレータ AUSSSM は、同一形状の直方体建物が等間隔に無限に並ぶ理想的な都市の気温を予測するモデルであり、本調査ではこのモデルを用いて、福岡市内の都心部や住宅地など代表的な街並みの建物立地条件下での都市気温を予測し、その結果から福岡市全体としての熱中症救急搬送者数を推計している。つまり、たとえば本調査での「都心部の予測結果」とは「福岡市内の都心部の街並みが無限に広がっている状況を仮定した場合の、福岡市全体での年間の熱中症救急搬送者数の予測結果」であり、実際の街並みのもとでの気温予測結果に基づき都心部や住宅地など土地利用種別に熱中症救急搬送者数を集計したものではない点に注意が必要である。

4.5 適応オプション

4.5.1 手順

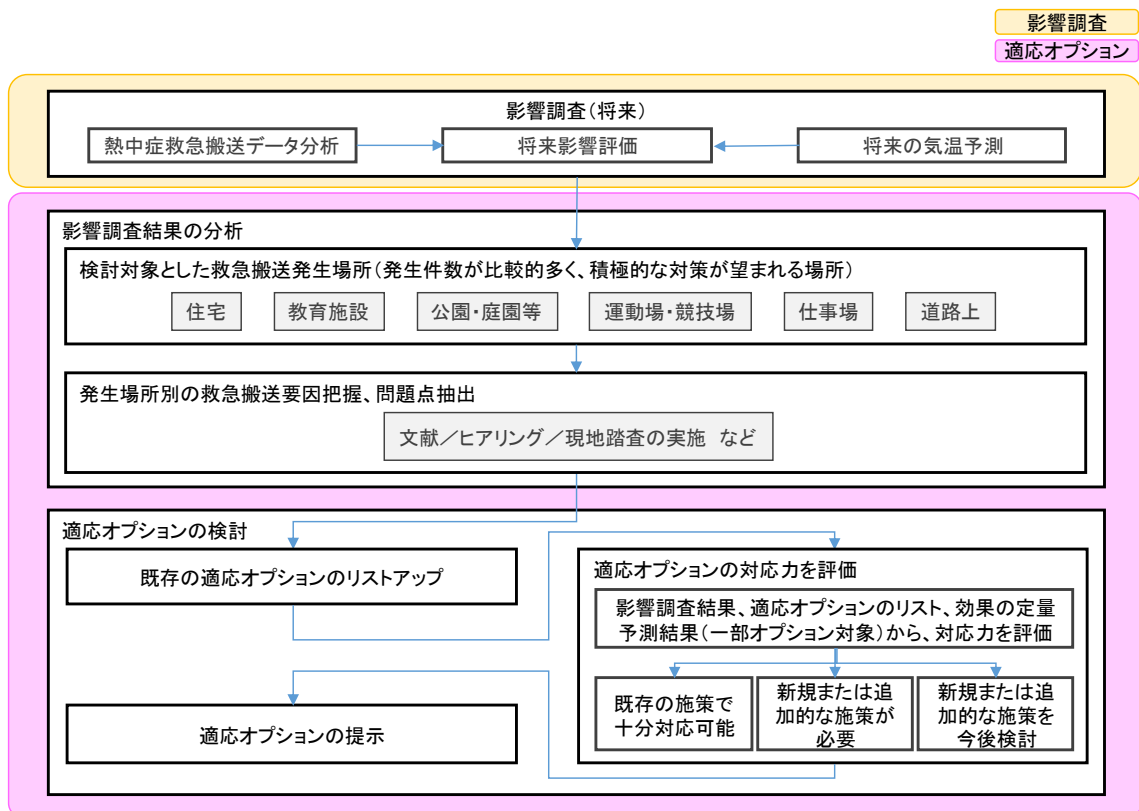


図 4.5-1 適応オプション検討の流れ

4.5.2 概要

表 4.5-1 適応オプションのまとめ（表 4.1-2 再掲）

分類	適応 オプション	想定される 実施主体			評価結果								備考
					現状		実現可能性				効果		
		行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト 面	情報 面	効果 発現 までの 時間	期待 される 効果の 程度	
熱環境 低荷の 低減	緑陰・日除 け・再帰反 射窓面の設 置	●	●		－	・設置に掘削が必要 ・製品、設置場所によっては関係 機関との調整が必要 ・緑陰の場合、樹木への支柱や灌 水設備、水の確保が必要 ・施工後、樹木・日除け材の清掃 や生育管理、害虫駆除等の管理体 制の確保が必要 ・緑陰の場合、信号や看板等の視 界を遮らないように注意が必要 ・人工日除けの場合、方位特性が ある製品は季節、時間帯によって 日射遮蔽効果が変化することがあ る ・強風等で破損する恐れがある	△	○	△	◎	短期	高	
	ミスト噴 霧・噴射	●	●		－	・強風時のミスト拡散、高温条件 下での不快感増大など、効果が期 待できない条件もある ・稼動に電気が必要 ・車道際に設置する場合、噴射量 や風向きにより交通の視認性への 影響が懸念されている ・ミストが人の口に入ったり吸引 される可能性を考慮して水質とタ ンク、ホースの管理が必要	△	○	△	◎	短期	中	
日常に おける 熱中症 予防	暑さ指数 （WBGT 値）、天気 予報等の活 用		●	●	－	特になし	◎	◎	◎	◎	長期	高	
通常の 回避	暑さ指数 （WBGT 値）計の準 備		●		－	・作業場所によって数値が大きく 異なる場合がある ・黒球が付いていない測定器は屋 外などの輻射熱がある作業場所に おいて、実際よりも低い数値が表 示されることがある	◎	○	△	◎	長期	高	
	室温の管理		●	●	－	・スポットクーラーからは逆向き に熱風が出ているため、スポット クーラー利用時には設置場所に注 意が必要である	◎	○	△	◎	長期	高	
回避で きない 緊急時 への対 応 ※1	救急車適正 利用の推進 ※1	●			－	・「効果発現までの時間」や「期 待される効果の程度」が、利用者 （個人）の意識に大きく左右され る。	△	○	△	◎	N/A	中	
	民間救急事 業者の利用 ※1	●	●	●	－	不明	△	○	△	△	N/A	中	
普及啓 発	熱中症予防 に関する啓 発、指導、 教育支援等	●	●		－	特になし	◎	○	N/A	◎	N/A	低	
	熱中症関連 製品の普及 促進	●	● ※2		－	特になし	◎	○	N/A	◎	N/A	低	

※1 本調査において独自に追加した分類及び適応オプションである。

※2 (公社)日本保安用品協会、(一社)日本電気計測器工業会を実施主体とする対策である。

表 4.5-2 適応オプションの考え方と出典（表 4.1-3 再掲）

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
緑陰・日除けの設置	8月の晴天日昼間に福岡市内で実施した現地踏査により、日陰のWBGTは日向より最大で2℃程度低かった。 【出典】本調査での現地踏査による。
ミスト噴霧・噴射	福岡市役所前での実測事例では、日向でのミスト噴霧により、WBGTは約1℃低下した。 【出典】平成20年度大都市オフィス街をモデル地区とした熱環境管理推進事業委託業務報告書（平成21年3月 福岡市）
暑さ指数（WBGT値）、天気予報等の活用	「福岡市防災メール」「福岡市LINE公式アカウント」などを通じた熱中症情報提供が既に運用中である。 【出典】福岡市 防災・危機管理情報 https://www.city.fukuoka.lg.jp/bousai/index.html
暑さ指数（WBGT値）計の準備	福岡市役所ふれあい広場や福岡市保健環境研究所などへの暑さ指数計設置とモニター表示が夏季に実施されている。 【出典】「福岡市の環境施策」（福岡市環境審議会資料）
室温の管理	福岡市内の市民体育館では、夏季には冷房により室温管理が行われている。 【出典】本調査での現地踏査による。
救急車適正利用の推進	普及状況は、福岡県では平成28年度から救急電話相談事業が開始されており、ポスター等による普及活動も進められていることから、情報面は「実施事例有り」（◎）としたが、普及状況については利用件数等のデータがなく判断がつかないため「不明」（－）とした。 効果発現までの時間は、利用者（市民）の意識に大きく左右されることから、「評価が困難である」（N/A）とした。 期待される効果の程度は、代替策として相対比較が可能な適応オプションがないことから「中」とした。
民間救急事業者の利用	民間救急サービスは国内でも広く普及しているが、自治体消防部局との連携の有無に関する情報がなく普及状況の判断がつかないため、普及状況は「不明」（－）、情報面は「実施事例無し」（△）とした。 効果発現までの時間は、実施事例がなく実現性の判断がつかないことから、「評価が困難である」（N/A）とした。 期待される効果の程度は、代替策として相対比較が可能な適応オプションがないことから「中」とした。
熱中症予防に関する啓発、指導、教育支援等	ホームページを通じて熱中症予防に関する情報が発信されているほか、「パネル展示」「熱中症予防街頭キャンペーン」「出前講座」などの取り組みが進められている。 【出典】福岡市 熱中症情報 http://heatstroke.city.fukuoka.lg.jp/
熱中症関連製品の普及促進	高齢者の見守り活動支援の一環として、高齢者への暑さ指数計の配布などが行われている。 【出典】福岡市環境局ヒアリングによる。

4.5.3 適応オプションの提示

熱中症救急搬送データの傾向、福岡市消防局へのヒアリングの結果、暑熱環境に係る現地踏査の結果等に基づき、有効と考えられる適応オプションを選定した。

4.5.3.1 緑陰・日除けの設置



緑陰・日除けの設置			
実施を想定する地域	教育施設（運動場）、公園・庭園等、運動場・競技場（屋外）、仕事場（屋外）、道路上		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	熱環境負荷の低減	対策の目的	日射の遮蔽・再帰反射
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none">令和元年 8 月の晴天日昼間に福岡市内で実施した現地踏査結果によれば、<u>日陰内の暑さ指数（WBGT）は、日向に比べて最大で 2℃程度低いことが確認された。</u>福岡市における熱中症救急搬送者数と WBGT との関係式を用いた試算によれば、平成 30 年度の気象条件下で日最高 WBGT が毎日 2℃下がると、年間の熱中症救急搬送者数は約半分に減少する。日陰が少ない運動公園においては、休息場としての日陰を創出することで、運動競技中の熱中症発症リスクの低減が期待できる（写真①）。道路上では、踏切・歩車分離信号交差点・バス停など、暑くても待たなければならない場所への対策が効果的である。また、高層建築物が建ち並ぶ都心部では、建築物の日陰が自ずと広範囲に広がることから、日陰がでにくい場所（郊外・幅の広い道路や線路沿い）の方が、対策の効果は高い（写真②）。		
その他情報			
出典・参考資料等			

写真①：日陰の少ない運動公園[2019/08/12]

写真②：都心と郊外の朝夕の日当たりの状況[2019/09/04, 09/08, 08/12 撮影]

(福岡市東区 雁の巣レクリエーションセンター)

(左：福岡市博多区 JR 博多駅 中央：福岡市東区 JR 香椎駅 右：福岡市東区 JR 九産大前駅)



4.5.3.2 ミスト噴霧・噴射

ミスト噴霧・噴射			
実施を想定する地域	教育施設（運動場）、公園・庭園等、運動場・競技場（屋外）、仕事場（屋外）		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	熱環境負荷の低減	対策の目的	体温上昇の低減
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none">福岡市役所西側広場（ふれあい広場）で夏季に実施した実測事例（写真①）によれば、日向でのミスト噴霧により、暑さ指数（WBGT）は約1℃低下した。¹⁾福岡市における熱中症救急搬送者数と WBGT との関係式を用いた試算によれば、平成 30 年度の気象条件下で日最高 WBGT が毎日 1℃下がると、年間の熱中症救急搬送者数は 3 割程度減少する。まちなかで夏季の昼間に散布されている例は多い（写真②）。福岡市内でも既に導入している運動公園がある（写真③）。レンタル品も多数あり、イベントなど利用期間が短期間の場合は比較的安価で利用できる。		
その他情報			
出典・参考資料等	¹⁾ 平成 20 年度大都市オフィス街をモデル地区とした熱環境管理推進事業委託業務報告書（平成 21 年 3 月 福岡市）		

写真①：福岡市役所ふれあい広場での暑さ指数実測状況¹⁾



写真②：まちなかでのミスト噴霧状況



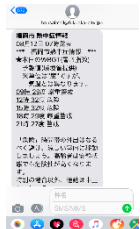
写真③：ミスト噴霧装置の設置状況




4.5.3.3 暑さ指数（WBGT 値）、天気予報等の活用

暑さ指数（WBGT 値）、天気予報等の活用			
実施を想定する地域	住宅、教育施設、公園・庭園等、運動場・競技場、仕事場、道路上		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	日常における熱中症予防	対策の目的	暑さへの備え・注意による熱中症の予防
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none"> 「福岡市防災メール」や「福岡市 LINE 公式アカウント」を通じた熱中症情報の提供は既に運用中であり、登録ユーザーには随時、環境省発表の暑さ指数（WBGT）の予報値が発信されている（写真①）。 スマートフォンには「通知機能」（メールメッセージ等の一部をロック画面に表示する機能）があり（写真②）、最初の数行はメールアプリケーションを開かずとも受信直後に即座に画面で確認できるため、防災メールの最初の数行に重要な情報を集約するなどの工夫により、注意喚起の効果向上が期待できる。 住宅内における熱中症の発症を予防する上では、テレビを通じた注意喚起（写真③）も効果的と考えられる。 福岡市内の運動公園の中には、当日の熱中症の危険レベル予報を掲示している公園もあった（写真④）。 		
その他情報			
出典・参考資料等			


写真①：福岡市防災メール




写真②：スマートフォンの通知機能



写真③：テレビを通じた注意喚起



写真④：熱中症危険レベルの掲示



(2019/07/31 高温注意情報発表時)
(福岡市城南区 西南杜の湖畔公園)

4.5.3.4 暑さ指数（WBGT 値）計の準備

暑さ指数（WBGT 値）計の準備			
実施を想定する地域	教育施設・公園・庭園等、運動場・競技場、仕事場		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	通常の回避	対策の目的	作業環境・屋内環境におけるリスクの回避
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none"> 大型の表示器が付いた暑さ指数（WBGT）計が市販されている（写真①）。¹⁾ 屋外建設現場など作業環境では、大型の表示器が付いた暑さ指数計の設置とともに、危険レベルが上がると作業を中断する等の管理が行われている事例がある（写真②）。また、スポーツイベントにおいても、大型表示器が付いた暑さ指数計で注意喚起されている事例がある（写真③）。 教育施設（運動場や体育館）、運動場・競技場などにおいても、同様の機器設置により利用者がその場の WBGT をリアルタイムで視認できるようになれば、高温時に利用者が自主的に予防行動をとりやすくなると考えられる。 		
その他情報			
出典・参考資料等	¹⁾ （一例）鶴賀電機株式会社 WBGT 測定器（JIS B 7922 準拠） http://www.tsuruga.co.jp/wbgt/wbgt.html ²⁾ 鶴賀電機株式会社提供写真		

写真①：大型表示器が付いた暑さ指数計の例²⁾



写真②：作業環境下での使用例²⁾



写真③：スポーツイベントでの使用例²⁾



4.5.3.5 室温の管理

室温の管理			
実施を想定する地域	教育施設（体育館）、運動場・競技場（体育館）		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	通常の回避	対策の目的	作業環境・屋内環境におけるリスクの回避
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none"> 令和元年 8 月の晴天日昼間に福岡市内で実施した現地踏査結果によれば、冷房が入った体育館内の暑さ指数（WBGT）は、冷房が入っていない体育館内に比べて 5℃程度低いことが確認された（写真①、写真②）。 福岡市における熱中症救急搬送者数と WBGT との関係式を用いた試算によれば、平成 30 年度の気象条件下で日最高 WBGT が毎日 5℃下がると、年間の熱中症救急搬送者数は 8 割程度減少する。 空調設備のない体育館に空調設備を導入すれば、体育館におけるスポーツ活動中の熱中症発症は相当程度予防できると考えられる。 		
その他情報			
出典・参考資料等			

写真①：冷房が入っていない体育館内の暑さ指数測定[2019/08/09]

（福岡市東区 福岡市立香住丘小学校）



写真②：冷房が入った体育館内の暑さ指数測定[2019/08/09]

（福岡市東区 福岡市立東体育館）



4.5.3.6 救急車適正利用の推進

救急車適正利用の推進			
実施を想定する地域	住宅、教育施設、公園・庭園等、運動場・競技場、仕事場、道路上 ほか		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	回避できない緊急時への対応	対策の目的	救急搬送体制の維持
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none"> 福岡市における平成 30 年度の救急出動件数は約 8 万件であるが、過去 10 年間は約 2 千人/年の増加率で右肩上がりに増加している（図①）。到着時間も年々遅くなってきており、現状が続けば緊急時の救急搬送体制の維持が困難となるおそれがある。 「病院を受診した方がいいか」「救急車を呼んだ方がいいか」と迷った際に、救急車の利用や最寄りの医療機関について電話で相談できる窓口（＃7119、図②）や、スマートフォンやパソコンで緊急度を判定するアプリ（Ｑ助、図③）があることを市民に周知し利用を促すなど、救急車の適正利用を推進することで、緊急時の救急搬送体制の維持を図ることが望まれる。 		
その他情報			
出典・参考資料等	¹⁾ 福岡市消防年報（福岡市消防局） ²⁾ 救急車が必要か迷ったとき（「＃7119」・Ｑ助） 福岡市消防局 http://119.city.fukuoka.lg.jp/kyukyuu/hituyou		

図①：福岡市における救急出動件数の推移¹⁾

年度	救急出動件数(千件)
H20	58,000
H21	60,000
H22	62,000
H23	64,000
H24	66,000
H25	68,000
H26	70,000
H27	72,000
H28	74,000
H29	76,000
H30	78,000

図②：福岡県救急医療電話相談²⁾

図③：アプリ（Ｑ助）²⁾

4.5.3.7 民間救急事業者の利用

民間救急事業者の利用			
実施を想定する地域	住宅、教育施設、公園・庭園等、運動場・競技場、仕事場、道路上 ほか		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	回避できない緊急時への対応	対策の目的	救急搬送体制の強化
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none"> 福岡市における平成 30 年度の救急出動件数（約 8 万件¹⁾）のうち、熱中症による救急出動件数は約 800 件²⁾（全体の 1%程度）と、月間や年間でみれば少ないが（図①、図②）、「同一日の同一時間帯に複数箇所ですべて複数人が同時多発し得る」³⁾という熱中症の特性上、通常の体制では一時的に対応不能状況が生じるおそれがある。 緊急性の低い発症者の搬送などには「民間救急事業者」（福岡市消防局による認定事業者は令和元年 11 月時点で 5 事業者、福岡市ホームページで周知あり）を利用する方法もある。 		
その他情報			
出典・参考資料等	¹⁾ 福岡市消防年報（福岡市消防局） ²⁾ 福岡市熱中症救急搬送データ（福岡市消防局） ³⁾ 福岡市消防局へのヒアリング		

図①：福岡市における救急出動件数の推移¹⁾²⁾

年度	熱中症	熱中症以外	合計
H25	約 1,000	約 67,000	約 68,000
H26	約 1,000	約 70,000	約 71,000
H27	約 1,000	約 73,000	約 74,000
H28	約 1,000	約 75,000	約 76,000
H29	約 1,000	約 77,000	約 78,000
H30	約 1,000	約 80,000	約 81,000

図②：福岡市における平成 30 年の月別救急出動件数¹⁾²⁾

月	熱中症	熱中症以外	合計
1月	約 100	約 7,800	約 7,900
2月	約 100	約 6,200	約 6,300
3月	約 100	約 6,600	約 6,700
4月	約 100	約 6,000	約 6,100
5月	約 100	約 6,300	約 6,400
6月	約 100	約 6,000	約 6,100
7月	約 1,000	約 7,500	約 8,500
8月	約 1,000	約 6,800	約 7,800
9月	約 100	約 6,000	約 6,100
10月	約 100	約 6,300	約 6,400
11月	約 100	約 6,300	約 6,400
12月	約 100	約 6,800	約 6,900

4.5.3.8 熱中症予防に関する啓発、指導、教育支援等

熱中症予防に関する啓発、指導、教育支援等			
実施を想定する地域	住宅、教育施設、公園・庭園等、運動場・競技場、仕事場、道路上　ほか		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	普及啓発	対策の目的	普及啓発
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none">福岡市は、「福岡市　熱中症情報」（http://heatstroke.city.fukuoka.lg.jp/）を通じて熱中症予防に関する様々な情報を発信しているほか、「パネル展示」「熱中症予防声かけプロジェクト主催イベント」「熱中症予防街頭キャンペーン」「出前講座」などの取り組みを進めている（写真①、写真②、写真③）。¹⁾街頭でのイベント等の活動とあわせて、「福岡市防災メール」や「福岡市 LINE 公式アカウント」の紹介・登録代行などにより、リアルタイムの熱中症情報が市民に広く伝わるようなれば、特に居室での高齢者の熱中症発症予防には効果的と考えられる。21 世紀半ばや 21 世紀末に向けての長期的な適応という視点では、学校教育（保健体育の授業等）に熱中症予防教育を組み込むなどにより、将来の高齢者の熱中症発症を低減できる可能性がある。		
その他情報			
出典・参考資料等	¹⁾ 取り組み 福岡市　熱中症情報 http://heatstroke.city.fukuoka.lg.jp/torikumi/		

写真①：パネル展示¹⁾



写真②：熱中症予防声かけプロジェクト主催イベント¹⁾



写真③：熱中症予防街頭キャンペーン¹⁾



4.5.3.9 熱中症関連製品の普及促進

熱中症関連製品の普及促進			
実施を想定する地域	住宅、教育施設、公園・庭園等、運動場・競技場、仕事場、道路上		
気候変動影響	暑熱による健康影響（熱中症）		
分類	普及啓発	対策の目的	普及啓発
技術・特徴・期待される効果など	<ul style="list-style-type: none">暑さ指数（WBGT）の危険レベル表示機能や高温時のアラーム機能が付き、携行も可能な小型の暑さ指数計が、比較的安価（数千円）で販売されている（写真①、写真②）。¹⁾個人が携行可能な暑さ指数計の普及により、その場の暑さ指数をリアルタイムで把握できるようになれば、住宅、学校、競技場など様々な場所での熱中症予防に効果的である。黒球が付いていない測定器は、屋外などの輻射熱がある場所では、実際よりも低い数値が表示されることがある点に注意が必要である。		
その他情報			
出典・参考資料等	¹⁾ 株式会社エー・アンド・デイ 製品情報 https://www.aandd.co.jp/adhome/products/index.html		

写真①：小型の暑さ指数計（黒球なし）の例¹⁾



写真②：小型の暑さ指数計（黒球付き）の例¹⁾



引用文献一覧

- 1 たとえば「地球温暖化予測情報第8巻」, 気象庁
- 2 たとえば「気象研究所非静力学地域気候モデルによる日本付近の将来気候変化予測について 気象研究所技術報告 第73号」気象研究所技法第73号, 気象研究所
- 3 たとえば「力学的ダウンスケーリングによる近未来標準気象データの試作と精度検証」, 生産研究 67 巻
- 4 「平成 22 年度大都市中枢街区における総合的なヒートアイランド対策による熱環境管理推進事業委託業務報告書」(平成 23 年 3 月 福岡市) <環境省委託事業>
- 5 萩島理, 博士論文「都市熱環境の予測評価手法に関する研究」, 第 6 章 建築—都市—土壌連成系モデルによる都市高温化の構造解析, pp.98-135, 2001.12.
- 6 萩島理 他, 改良・建築—都市—土壌連成系モデル(AUSSSM)による都市高温化の構造解析 第 1 報 モデルの理論構成及び標準解, 日本建築学会計画系論文集, No.550, pp. 79-86, 2001.12.
- 7 丸山敬, 粗面上に発達する乱流境界層の数値シミュレーション その 2 市街地のように粗度形状が複雑な場合, 日本風工学会誌 第 47 号, pp.81-82, 1991.
- 8 萩島理 他, 都市キャノピーモデルによる数値計算と風洞模型実験との比較, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp. 1107-1108, 2000.9.
- 9 近藤裕昭 他, 1 次元都市キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究, 大気環境学会誌 第 33 巻 第 3 号, pp. 179-192, 1998.
- 10 Gambo, Notes on the Turbulence Closure Model for Atmospheric Boundary Layers, Journal of Meteorological Society of Japan Vol.56, No.5, pp. 466-480, 1978.
- 11 Tsutomu Watanabe and Junsei Kondo, The Influence of Canopy Structure and Density upon the Mixing Length within and above Vegetation, Journal of Meteorological Society of Japan Vol.68, No.2, pp. 227-235, 1990.4.
- 12 香川治美 他, 芝生植栽が都市熱環境に及ぼす影響に関する研究 第 1 報 土壌の含水状態を考慮した芝生植栽の蒸発発散特性の定量的特定, 日本建築学会計画系論文集 No. 507, pp. 7-12, 1998.5.
- 13 萩島理 他, 二相系熱水分同時移動方程式による数値実験に基づく土壌物性値の同定都市熱環境評価のための地表面からの蒸発量の簡易計算手法に関する研究 第 2 報, 日本建築学会計画系論文集 No.540, pp. 67-72, 2001.2.
- 14 月松孝司 他, 降水後の人工被覆面における蒸発比減衰モデルの提案 その 3 蒸発比減衰モデルの改良, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp. 351-352, 2000.9.
- 15 宿谷昌則, 数値計算で学ぶ光と熱の建築環境学, 丸善, 1993.
- 16 「福岡市ヒートアイランド現象調査報告書」(平成 16 年 3 月 福岡市環境局)