

## 7 4-5 熱ストレス増大による都市生活への影響調査

### 7.1 概要

#### 7.1.1 背景・目的

気候変動による気温上昇に加え、都市化の進展に伴うヒートアイランド現象の影響によって、特に都市圏では気温の上昇傾向が顕著になっており、それに伴う熱中症などの健康被害が生じている。気温の上昇は、熱中症のリスクを高めるだけでなく、人々が感じる熱ストレス<sup>1</sup>の増大にもつながる。熱ストレスは、睡眠障害や、人々の屋外活動を妨げる原因の一つとなっており、喫緊に対策を取るべき課題の一つである。

そこで、本調査では、熱ストレスと熱中症等との関係性を明らかにするとともに、熱中症リスクや快適性の観点から、気候変動が都市生活へ与える影響を調査し、適応策の検討を行うことを目的として調査を行った。

#### 7.1.2 実施体制

大阪市立環境科学研究センター榊元研究員および兵庫県立大学奥准教授の協力を得て、調査を実施した。実施体制を図 7.1-1 に示す。

本調査の実施者：一般財団法人日本気象協会

アドバイザー：大阪市立環境科学研究センター 研究員 榊元慶子

兵庫県立大学 准教授 奥勇一郎

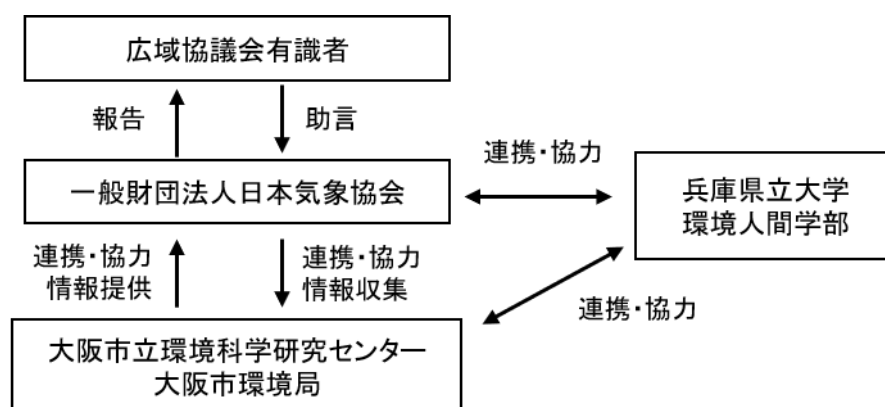


図 7.1-1 実施体制図 (調査項目 4-5)

<sup>1</sup> 人々が身体の生理的障害なしに耐え得る限度を上回る暑熱のこと。

### 7.1.3 実施スケジュール(実績)

本調査では、平成 29 年度から平成 31 年度の 3 年間で、大阪市を対象として熱ストレスが都市生活に与える影響を調査するため、現地観測データおよび衛星データを用いた暑熱環境把握調査、気候シナリオデータを用いた擬似温暖化実験、熱中症搬送者数を予測するための熱中症リスクモデルを構築し、将来の影響評価及び適応策の検討を行った。

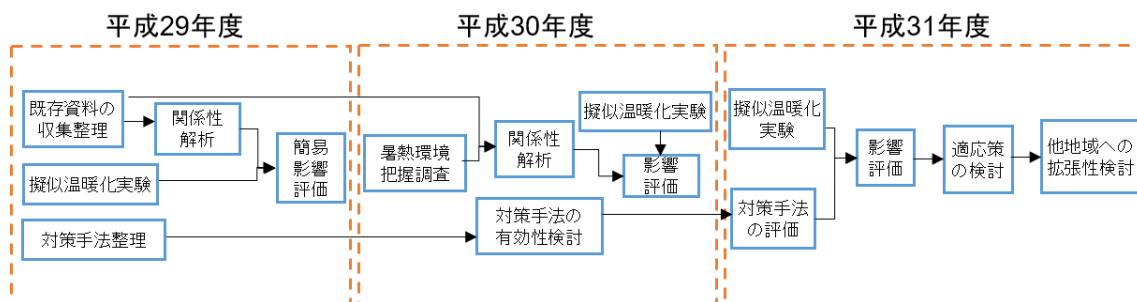


図 7.1-2 本調査の実施フロー(調査項目 4-5)

### 7.1.4 気候シナリオ基本情報

本調査で利用した気候シナリオの基本情報を表 7.1-1 に示す。

表 7.1-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 4-5)

| 項目        | WBGT 値等の将来予測             |
|-----------|--------------------------|
| 気候シナリオ名   | MRI-AGCM 3.2S by 創生プログラム |
| 気候パラメータ   | 風向・風速、気温、水蒸気混合比          |
| 排出シナリオ    | RCP8.5 <sup>2</sup>      |
| 予測期間      | 現在、21 世紀末                |
| バイアス補正の有無 | 無し                       |

### 7.1.5 気候変動影響予測結果の概要

#### 7.1.5.1 WBGT 値の将来予測

気象モデル WRF<sup>3</sup>を用いて、過去に発生した大阪の高温事例(2013 年 8 月 6 日から 23 日)について現況再現計算を行うと共に、同様の現象が RCP8.5 の 21 世紀末の環境で起こった場合の推定計算(擬似温暖化実験)を行った。その結果、熱ストレスの体感指標である WBGT 値が 21 世紀末には大幅に上昇し、計算対象期間では連日危険レベル

<sup>2</sup> 高位参照シナリオ:2100 年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオ

<sup>3</sup> WRF(Weather Research and Forecasting model):米国 NCAR で開発されたオープンソースの領域気象モデル

<sup>4</sup>を超過する可能性があることが分かった。現在と21世紀末におけるWBGTの時系列変化を図7.1-3に示す。

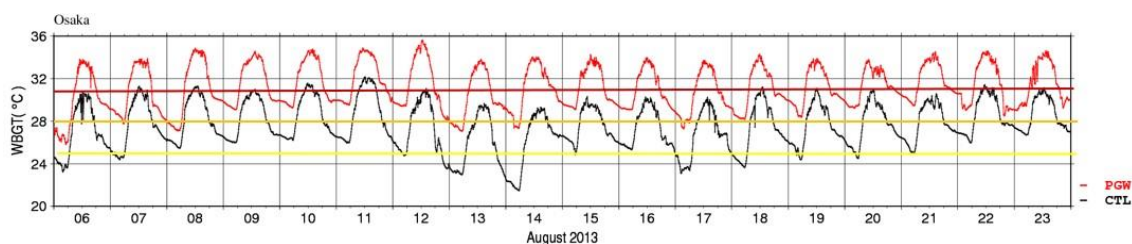


図 7.1-3 大阪における高温事例でのWBGTの時系列変化

黒線：現在(現況再現計算)、赤線：21世紀末(擬似温暖化実験：RCP8.5)

赤横線：熱中症危険レベル(WBGT 値 31℃以上)、橙横線：熱中症嚴重警戒レベル(WBGT 値 28℃以上 31℃未満)、黄横線：熱中症警戒レベル(WBGT 値 25℃以上 28℃未満)

### 7.1.5.2 適応策検討：緑地化・河川拡幅化の効果の評価

将来の高温に対する適応策を検討するため、前述の擬似温暖化計算において、土地利用を変更した場合の数値実験を行った。ここで、土地利用の変更は、①大阪市内の小学校を緑地化した場合、②大阪市内の河川を拡幅した場合の二通りを試行した。数値実験の土地利用を図7.1-4に示す。大阪市内各地域における緑地化および河川拡幅化の効果を表7.1-2に示す。緑地化及び河川拡幅化の場合には、低温化の効果が大きい一方、WBGT値は、どちらの土地利用変更においても湿度の上昇が見られ、低温化の効果を相殺する結果となった。



図 7.1-4 数値実験の土地利用(左：現況、中：小学校緑地化、右：河川拡幅化)

<sup>4</sup> 日本生気象学会「熱中症予防指針」に記載の警戒ランクに基づく

表 7.1-2 大阪市における緑地化および河川拡幅の効果(特徴的な区のみ抽出)  
再現計算の土地利用の気温、WBGT 値を基準として、各要素の変化率を百分率で表示

| 市区名     | 緑地化の効果 |        |      | 河川拡幅化の効果 |        |       |
|---------|--------|--------|------|----------|--------|-------|
|         | 気温     | WBGT   | 緑地化率 | 気温       | WBGT   | 拡幅化率  |
| 大阪市(全体) | 1.70%  | -0.02% | 5.0% | 5.91%    | -0.85% | 9.1%  |
| 北区      | 1.82%  | -0.76% | 5.1% | 5.89%    | -1.36% | 8.8%  |
| 此花区     | 0.71%  | 0.17%  | 2.6% | 5.26%    | -0.42% | 8.3%  |
| 中央区     | 1.47%  | -0.65% | 2.9% | 7.88%    | -1.69% | 12.0% |
| 西区      | 2.51%  | -0.24% | 6.3% | 12.62%   | -1.33% | 20.4% |
| 西淀川区    | 0.86%  | -0.94% | 4.7% | 5.52%    | -0.99% | 9.1%  |
| 住吉区     | 1.95%  | 0.70%  | 6.7% | 3.31%    | -0.17% | 4.0%  |
| 西成区     | 2.58%  | 0.79%  | 6.7% | 0.81%    | -0.53% | 0.5%  |

### 7.1.5.3 熱中症リスクモデルを用いた熱中症搬送者数の予測

実測による熱中症搬送者数と WBGT 値から、熱中症リスクモデルを作成し、前述の高温事例での擬似温暖化実験で得られた将来の WBGT 値を適用した。この結果、現在の WBGT と搬送者数の関係が将来も成り立つものと仮定した場合、21 世紀末の高温事例では現在と比較し熱中症搬送者数が 3 倍以上になる可能性のあることが分かった。大阪市における日ごとの熱中症搬送者数を図 7.1-5 に示す。

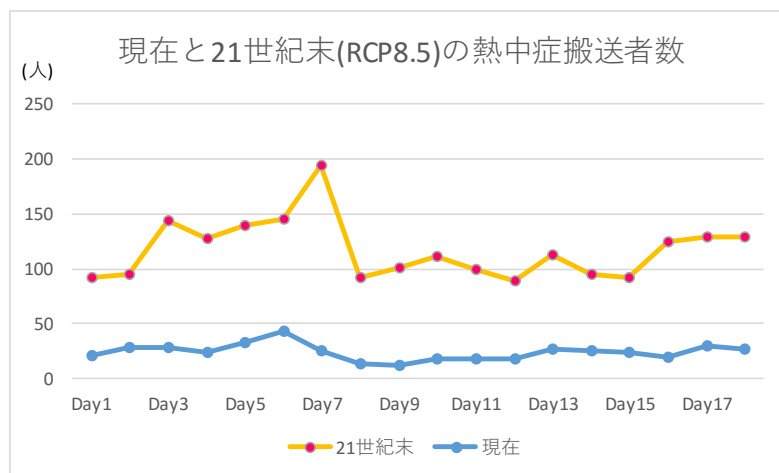


図 7.1-5 大阪市における日ごとの熱中症搬送者数

## **7.1.6 活用上の留意点**

### **7.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項**

本調査では、気温や湿度等気象要素を擬似温暖化実験にて求め、将来の夏季高温事例での熱中症搬送者数を予測した。

### **7.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項**

本調査では、過去の高温事例が将来の温暖化環境下で起こった際の気温、WBGT の予測結果をもとに、熱ストレスの変化傾向を分析したものであり、熱中症搬送者数の予測に人口の変化、人々の環境への適応性の考慮は行っていない。

### **7.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項**

擬似温暖化実験は、過去の特定の高温事例の再現計算結果をもとに将来予測を行ったものであるが、将来における特定の日の気温等を予測しているわけではないことに留意が必要である。

## 7.1.7 適応オプション

適応オプションのまとめを表 7.1-3 に示す。

表 7.1-3 適応オプション(調査項目 4-5)

| 適応オプション       | 想定される実施主体 |     |    | 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 |
| ①緑化の推進        | ●         | ●   |    | 普及が進んでいる   | <ul style="list-style-type: none"> <li>緑化の推進エリア面積により波及効果に差がある。</li> <li>維持管理のために散水が必要となることがある。</li> </ul> | △     | ○    | △    | ◎   | 短期        | 中          |
| ②水路の拡幅        | ●         | ●   |    | 普及が進んでいない  | <ul style="list-style-type: none"> <li>大規模な工事が必要となり、実現可能性に課題が残る。</li> </ul>                               | △     | ○    | N/A  | △   | 長期        | 中          |
| ③クールスポットの導入   | ●         | ●   |    | 一部普及が進んでいる | <ul style="list-style-type: none"> <li>コストを要する(補助金もあるが、時期が合わないことがある)。</li> <li>事業者や自治体の協力が必要。</li> </ul>  | △     | ○    | △    | ◎   | 短期        | 中          |
| ④気象情報の活用      |           | ●   | ●  | 一部普及が進んでいる | <ul style="list-style-type: none"> <li>特になし。</li> </ul>   | ◎     | ◎    | ◎    | ◎   | 長期        | 高          |
| ⑤啓発活動の推進      | ●         | ●   |    | 一部普及が進んでいる | <ul style="list-style-type: none"> <li>事業者や自治体の協力が必要。</li> </ul>  | ◎     | ○    | N/A  | ◎   | N/A       | 低          |
| ⑥熱中症患者への体制の整備 | ●         | ●   | ●  | 一部普及が進んでいる | <ul style="list-style-type: none"> <li>救急車、処置者の確保。</li> </ul>   | ◎     | ○    | ◎    | ◎   | N/A       | 低          |

表 7.1-4 適応オプションの根拠(調査項目 4-5)

| 適応オプション       | 適応オプションの考え方と出典   |
|---------------|--|
| ①緑化の推進        | 大阪市では、平成 17(2005)年度より市立小学校の運動場の芝生化モデル事業が始まり、現在までに私立小学校約 300 校中、70 校以上で芝生化がされている。         |
| ②水路の拡幅        | 水路の拡幅には、用地の取得に多額の費用が掛かる他、大規模な工事が必要となる。   |
| ③クールスポットの導入   | 大阪府では、「大阪府環境保全基金」を活用し、屋外空間における夏の昼間の暑熱環境を改善することを目的にクールスポットを創出する「クールスポットモデル拠点推進事業」を実施している。 |
| ④気象情報の活用      | 大阪市のホームページでは、気象情報ページへのリンクを設置し、WBGT 値等を公開している。  |
| ⑤啓発活動の推進      | 大阪市では小学生向けに分かりやすく熱中症の危険度を示す看板が設置されている学校がある。  |
| ⑥熱中症患者への体制の整備 | 大阪市内で熱中症搬送者数の多くなる天神祭当日には、救護所の増設等の対策が行われている。  |

## 7.2 気候シナリオに関する情報

### 7.2.1 気候シナリオ基本情報

本調査で使用した気候シナリオの基本情報を表 7.2-1 に示す。

表 7.2-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 4-5):再掲

| 項目                      | WBGT 値等の将来予測             |
|-------------------------|--------------------------|
| 気候シナリオ名                 | MRI-AGCM 3.2S by 創生プログラム |
| 気候パラメータ                 | 風向・風速、気温、水蒸気混合比          |
| 排出シナリオ                  | RCP8.5                   |
| 予測期間                    | 現在、21 世紀末                |
| バイアス <sup>5</sup> 補正の有無 | 無し                       |

### 7.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

まず、MRI-AGCM3.2S の現在気候実験(1979 年から 2003 年までの 25 年間)と将来気候実験(2075 年から 2100 年までを想定した 25 年間)について、地上から大気上層までの各高度の月平均気象要素の差分を算出した。本調査では、検討対象期間に合わせて、8 月の平均場の差分を、擬似温暖化実験で想定する将来の環境における現在との差分として与えることとした。平均場の気温差分値の分布を図 7.2-1 に示す。地上相当の高度に相当する 1,000hPa 面における気温を調べると、大阪市では 3.6℃の気温上昇があることがわかった。風向・風速については目立った傾向は見られなかったが、水蒸気混合比は現在よりも 21 世紀末のほうが大きくなっていった。これらの高度別の温暖化による差分値を再現実験で用いた初期値、境界値に加算して擬似温暖化実験を実施した。

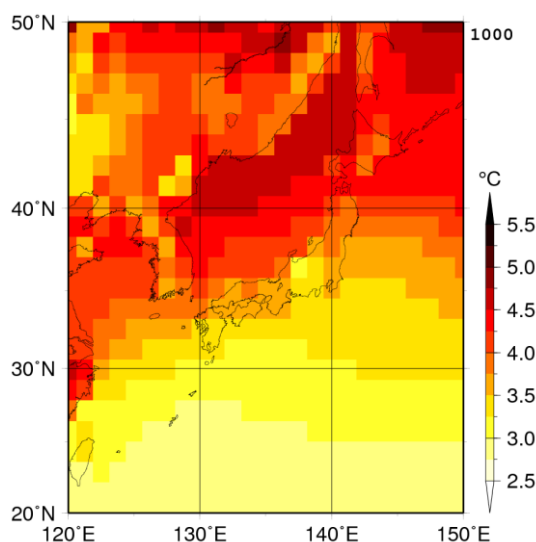


図 7.2-1 地上相当(1000hPa 面)の MRI-AGCM3.2S 温暖化差分値  
(21 世紀末 RCP8.5 - 現在)の分布

<sup>5</sup> 気候モデルを用いたシミュレーション(数値予報等)の結果に含まれる、ある一定の誤差。例えば、ある気候モデルでは気温が実際に観測された値よりも少し高めに出やすい、降水量が少なめになりやすいなど。

### 7.2.3 気候シナリオに関する留意事項

気候シナリオには計算を行っている全球モデルの持つバイアス(気温が高めに出やすい、降水量が多めに出やすい等のモデルの癖)が含まれる。本調査では、21 世紀末と現在の差分値のみを使用したことから、気候シナリオのバイアス補正は実施していない。また、擬似温暖化実験は、領域モデルを用いて計算を行ったが、出力値には、領域モデルの持つバイアス(気温が高めに出やすい等)が含まれることに注意が必要である。

### 7.2.4 バイアス補正に関する情報

本調査では、21 世紀末と現在の差分値のみを用いていることから、モデルそのものが持つバイアスは相殺されるため、バイアス補正は実施していない。

### 7.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査で必要な気象要素(気温、水蒸気混合比、風向・風速)を含み、できる限り空間解像度が細かい気候シナリオとして、MRI-AGCM3.2S を利用した。

## 7.3 気候変動影響に関する調査手法

### 7.3.1 手順

本調査では、現在の暑熱環境を把握する現地観測を行うと共に、擬似温暖化実験、熱中症リスクモデルの構築、将来の熱ストレスによるリスクを低減するための適応策の検討を行った。調査のフローを図 7.3-1 に示す。



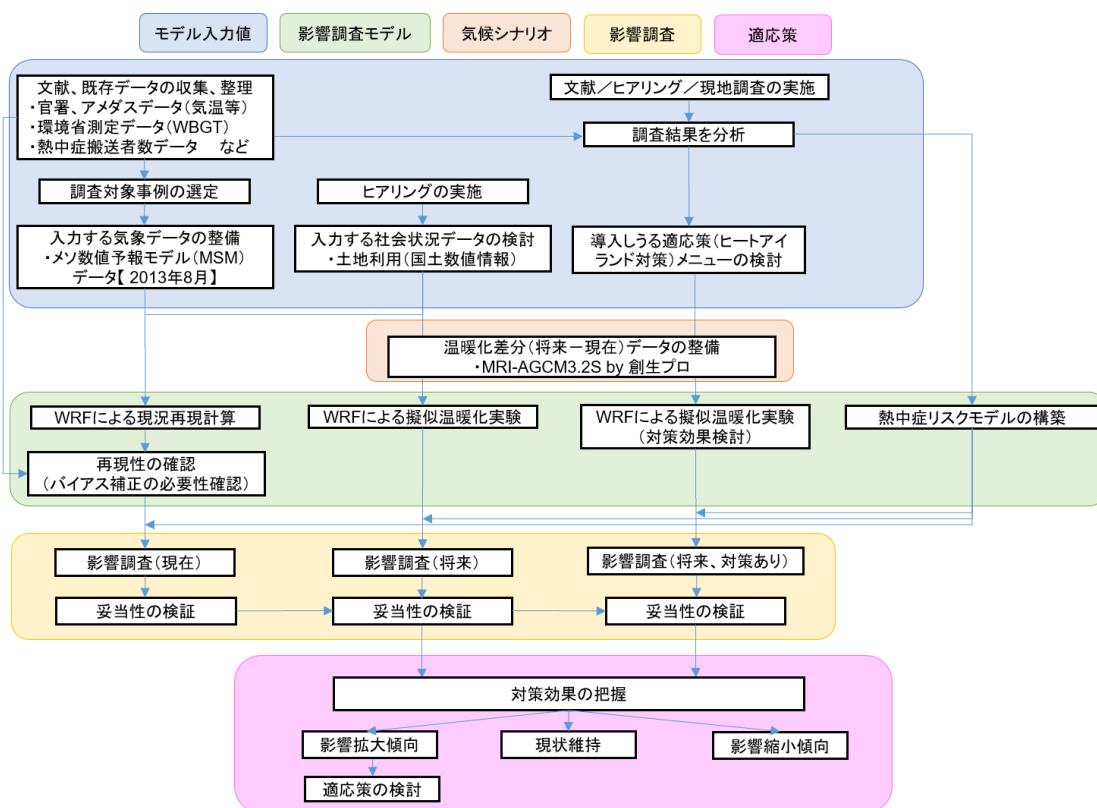


図 7.3-1 気候変動影響の検討フロー(調査項目 4-5)

### 7.3.2 使用したデータ・文献

収集を行ったデータ一覧を表 7.3-1 に示す。気象データに加え、熱ストレスの影響調査のため、熱中症搬送者数の収集を行った。また、主な収集文献の一覧を表 7.3-2 に示す。

表 7.3-1 収集データ概要

| 収集データ       | 出典・提供元   | 備考            |                      |
|-------------|--|---------------|----------------------|
| 気温          | 大阪市ヒートアイランドモニタリングデータ[2005年～2018年]                        | 大阪市環境局        | 統計値での入手。<br>2014年は欠測 |
| 気温、<br>風向風速 | アメダス(大阪、能勢、枚方、豊中、生駒山、堺、八尾、関空島、河内長野、熊取)(時別値)[2005年～2018年] | 気象庁 HP        | 「大阪」は湿度も入手           |
| WBGT        | 暑さ指数(WBGT)データ(大阪)[2006年～2018年]                           | 環境省熱中症予防情報サイト |                      |
| 熱中症<br>搬送者数 | 熱中症による救急搬送人員数(大阪府)[2008年～2018年]                          | 総務省消防庁 HP     |                      |
|             | 大阪市内熱中症救急搬送者数データ[2008年～2018年]                            | 大阪市消防局        |                      |

表 7.3-2 主な収集文献

| 文献  |
|---|
| 1. 大橋唯太, 亀掛川幸浩, 山口和貴, 井原智彦, 岡和孝, 2010: 数値気象モデルを利用した屋外活動空間の暑熱評価, 日本生気象学会誌, 47 巻, 2 号, 91-106.  |
| 2. 飯田涼太, 黒木尚長, 櫻井嘉信, 廣崎英和, 畑明寿, 藤谷登, 2016: 大阪市における熱中症発症の実態, 千葉科学大学紀要, 第 9 号, 93-98.   |
| 3. 日下博幸, 飯島奈津美, 井原智彦, 原政之, 高根雄也, 飯塚悟, 2013: 2070 年代 8 月を対象とした東京・名古屋・大阪における熱中症および睡眠困難の将来予測 複数の CMIP3-GCM からの力学的ダウンスケール実験と問題比較型影響評価手法による健康影響評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻, 第 693 号, 873-881. |
| 4. 奥勇一郎, 木本絢子, 梶元慶子, 山本雄平, 石川裕彦, 2016: 次世代気象衛星ひまわりでみる京阪神地域のヒートアイランド現象, 平成 27 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 講演会予稿集, P41  |

### 7.3.3 有識者ヒアリング

有識者へのヒアリングの結果を表 7.3-3 に示す。

表 7.3-3(1) ヒアリング結果の概要

|          |   |
|----------|---|
| NO.      | 1   |
| ヒアリング対象者 | 大阪市立大学大学院 工学部 西村 伸也 教授  |
| 日付       | 平成 30 年 3 月 9 日(金) 14:00~16:00  |
| 場所       | 大阪市立大学  |
| 概要       | 適応策も重要であるが緩和策についてもきちんと取り組むべきであること、温暖化に伴うエネルギーシステムの変化にも考慮すべき必要があること、再生可能エネルギーが普及すると排熱量の削減に効果が期待されること、等の助言を頂いた。 |

|          |  |
|----------|--|
| NO.      | 2  |
| ヒアリング対象者 | 神戸大学大学院 工学研究科 竹林 英樹 准教授  |
| 日付       | 平成 30 年 4 月 11 日(水) 15:00~17:00  |
| 場所       | 神戸大学   |
| 概要       | 大阪 HITEC(大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム)の取組みでは主にヒートアイランドへの適応策検討が行われており適応策の整理も進んでいること、適応策の検討にあたっては対象とする現象のスケールを意識してツールを選択すべきこと、等の助言を頂いた。 |

表 7.3-3(2) ヒアリング結果の概要

|          |  |
|----------|--|
| NO.      | 3  |
| ヒアリング対象者 | 大阪市立大学大学院 工学研究科 鍋島美奈子 准教授  |
| 日付       | 平成 31 年 3 月 5 日(火) 10:00~12:00   |
| 場所       | 大阪市立大学   |
| 概要       | 適応策は長期的な視点を持って取り組むべき、一般市民には WBGT の認知度が低く普及活動も積極的に行っていくべき、クールスポットの普及については助成金もあるがあまり活用されていない、等の助言を頂いた。 |

### 7.3.4 観測および実証実験

大阪市内 8 地点において、2018 年 6 月 1 日から 9 月 30 日までの 4 ヶ月間、現地観測を行った。調査地点名および所在地を表 7.3-4 に、調査地点位置を図 7.3-2 に、各調査地点の調査風景を図 7.3-3 に示す。

なお、調査地点 St.1~St.5 については、大阪市内の地域性を把握するための代表点として設定し、St.5~St.8 については、同一地域内における地表面特性や周辺環境等による差を検討するための地点として設定した。

表 7.3-4 調査地点名および所在地

| 番号   | 地点名             | 所在地                       |
|------|-----------------|---------------------------|
| St.1 | 夢洲              | 此花区夢洲東 北港処分地内             |
| St.2 | 桜島              | 此花区桜島 桜島北公園内              |
| St.3 | うめきた            | 北区大深町 うめきた 2 期区域 暫定利用事業地内 |
| St.4 | 今宮              | 浪速区大国 今宮駅前第 1 公園内         |
| St.5 | 鶴見緑地(苗圃)        | 鶴見区緑地公園 花博記念公園 鶴見緑地内      |
| St.6 | 鶴見緑地(大池)        | 同上                        |
| St.7 | 鶴見緑地(政府苑バックヤード) | 同上                        |
| St.8 | 鶴見緑地(農事小屋)      | 同上                        |



図 7.3-2 調査地点位置





図 7.3-3 各調査地点における調査風景

#### i) 測定項目及び測定方法

WBGT を算出するため、各調査地点において、鶴賀電機株式会社製 WBGT 計ロガー(401F)を用いて気温(乾球温度)、相対湿度および黒球温度を測定した。気温および相対湿度センサは自然通風シェルターに格納し、黒球は JIS B 7922 CLASS1.5 に準拠し、銅製で直径 15cm のものを使用した。なお、それぞれ地表面から高さ約 1.5m の位置で測定した。機器設置状況の例(St.1)を図 7.3-4 に示す。



図 7.3-4 機器設置状況の例(St.1)

### 7.3.5 気候変動影響予測手法の検討

本調査では、現在の暑熱環境を把握した上で、気候シナリオデータを用いた擬似温暖化実験、熱中症搬送者数を推計する熱中症リスクモデルを使用して、将来の予測を行った。影響予測手法のフローを図 7.3-5 に示す。

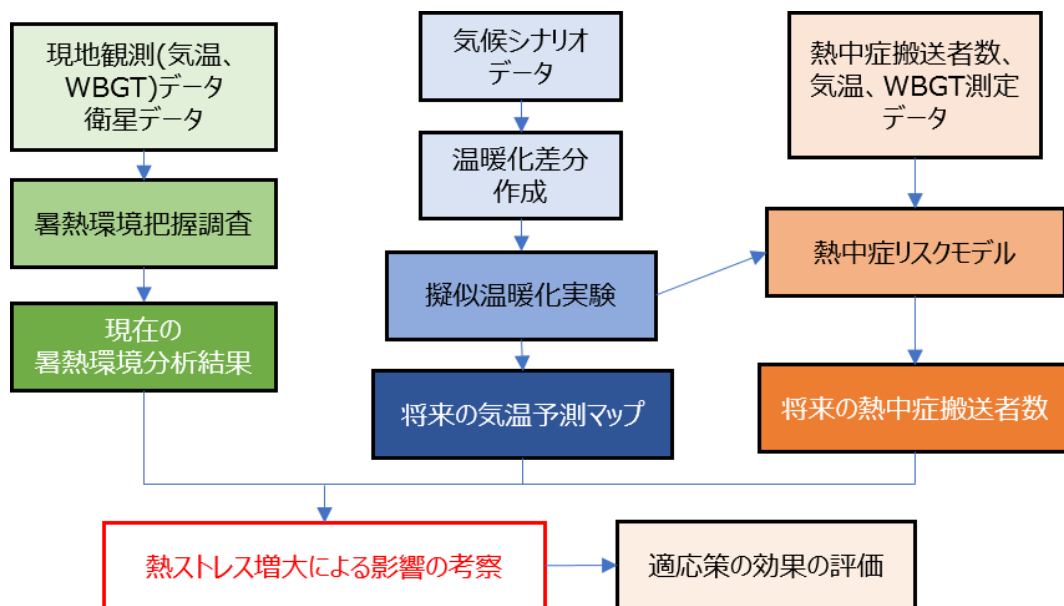


図 7.3-5 影響予測手法のフロー

### 7.3.6 影響予測モデルに関する情報

#### 7.3.6.1 現況再現・将来予測モデル

大阪市付近の詳細な気象の状況を再現するため、気象予測モデル WRF を用いて、過去の高温事例の再現計算および将来予測を行った。WRF の境界条件として入力する MRI-AGCM3.2S の格子サイズが 20km であることと本調査で利用する格子サイズの違いを考慮し、計算は 3 段階で詳細化を行った。この時、格子サイズは、4km、1km、200m とし計算を行った。

#### ア. 熱中症リスクモデル

熱ストレスと熱中症発症者数との関係性を明らかにするため、熱中症搬送者数と日最高 WBGT の相関解析を実施し、熱中症リスクモデルを作成した。導出した予測式(多項式)に、現況再現計算及び擬似温暖化実験によって得られた日最高 WBGT 値を代入することで、将来の住環境等の変化がない場合での、大阪市における熱中症搬送者数を予測した。

### 7.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

影響予測に必要な入力パラメータ一覧を表 7.3-5 に示す。

擬似温暖化実験には、気温、水蒸気混合比、風のデータ等の地上から上空までの気象要素が必要である。また、熱中症リスクモデルを用いて熱中症搬送者数を推定するには WBGT 値が必要である。

表 7.3-5 影響予測に必要な入力パラメータ一覧

|         |                 |
|---------|-----------------|
| 影響予測の種類 | 必要な入力パラメータ      |
| 擬似温暖化実験 | 風向・風速、気温、水蒸気混合比 |
| 熱中症搬送者数 | WBGT 値          |

### 7.3.8 影響予測における留意事項(制限事項)

開発したモデルは、現在の土地利用形態および気象条件(WBGT 範囲)に基づき作成した、高温事例における熱中症搬送者数の予測モデルであり、将来の高温下で現在を超える WBGT 範囲については推定式による外挿となることに注意が必要である。

## 7.4 調査結果

### 7.4.1 文献調査結果

国によるヒートアイランド及び熱ストレス、ならびに適応策に関する既存調査報告書やガイドラインを収集し、気候変動に加えてヒートアイランドの影響が進行しており、その影響は都市部ほど大きいことが分かった。また、熱ストレスの増大により近年の熱中症搬送者数が増加しているが、特に梅雨明けの気温急上昇期にその数が多いことが分かった。

### 7.4.2 有識者ヒアリングの結果

有識者へのヒアリングから、現在大阪市周辺を対象として、実施が検討されている適応策等について情報を収集し、本調査での適応策検討に活かした。

### 7.4.3 観測や実証実験の結果

本調査における観測調査について以下に示す。

#### 7.4.3.1 暑熱環境把握調査(現地調査結果)

観測期間中の調査結果概要を表 7.4-1 に示す。なお、一部の地点においては、台風や大雨の影響に伴う機器故障等があり、欠測期間が生じている。

ここでは熱中症を予防することを目的として 1954 年にアメリカで提案された WBGT について着目し、日本生気象学会の「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3 確



定版」(表 7.4-2)に基づく暑さ指数のランク別のデグリーアワー<sup>6</sup>(以下、「DH」という。)の比較を行った結果を図 7.4-1 に示す。

本結果をもとに大阪市内での地域間(St.1～St.5)での比較を行うと、地域間で暑熱環境に大きな差がみられ、暑さ指数のランク別 DH をみると、都心部及び内陸側の St.3～5 で各 DH は大きく、危険ランク DH(31℃を超えた WBGT 値と時間数との積算値)では St.4 で約 390℃hour となった一方、海側の St.1～2では 50℃hour 未満であった。また、鶴見緑地内(St.5～St.8)での比較を行うと、同地域内の地点間においても、周辺環境等の違いにより暑熱環境に大きな差が見られ、周辺が緑地である St.7 と建物に囲まれている St.8 とでは、警戒ランク以上 DH に約 800℃hour もの差があった。また、水辺の地点 St.6 では、危険ランク DH が他地点に比べて小さかった。

観測期間中、大阪市内において最も暑かった 2018 年 7 月 19 日の気温および WBGT の時系列変化を図 7.4-2 に示す。同日の事例では、大阪市内での地域間(St.1～St.5)においては、気温で 5℃以上、WBGT で 4℃以上の差が、鶴見緑地内(St.5～St.8)の地点間においては、気温で 5℃程度、WBGT で 3℃程度の差がみられた。

以上の結果から、大阪市では WBGT を指標とした暑熱環境に沿岸部や内陸部等の地域差があること、さらには同地域内においても周辺環境(水辺の草地、アスファルト等)の差により暑熱環境が大きく異なることが明らかとなった。

---

<sup>6</sup> デグリーアワー:規定の気温または WBGT となった時間数と規定を超えた気温または WBGT の積算値。(単位:℃hour)

表 7.4-1 観測期間中(2018年6~9月)の観測結果概要

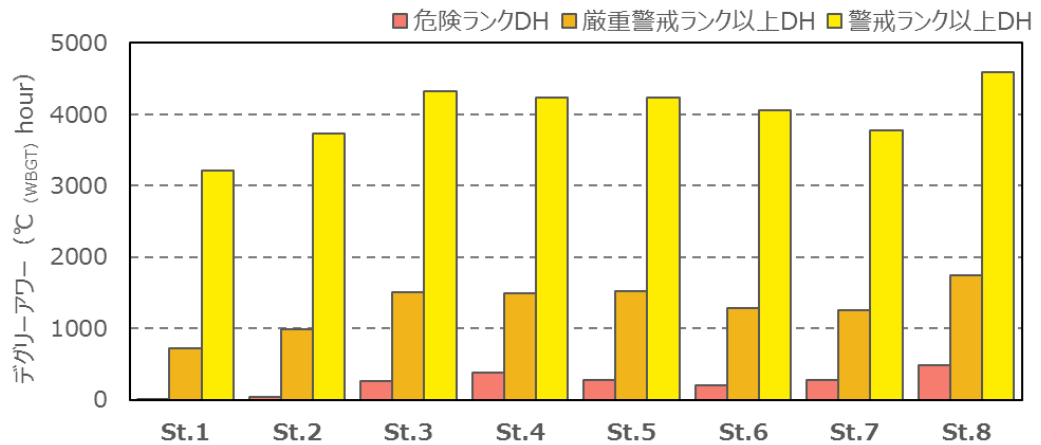
| 項目   | 地点名                 | St.1   | St.2   | St.3   | St.4   | St.5   | St.6   | St.7   | St.8   |
|------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      |                     | 夢洲     | 桜島     | うめきた   | 今宮     | 鶴見緑地   |        |        |        |
|      |                     |        |        |        |        | 苗圃     | 大池     | 政府苑BY  | 農事小屋   |
| 気温   | 平均値(°C)             | 25.7   | 26.7   | 27.2   | 26.9   | 26.7   | 26.5   | 26.4   | 27.6   |
|      | 最高値(°C)             | 35.9   | 39.4   | 39.2   | 39.7   | 39.3   | 39.5   | 39.4   | 43.0   |
|      | 最低値(°C)             | 15.8   | 16.6   | 16.4   | 16.1   | 14.1   | 14.3   | 14.4   | 15.5   |
|      | 猛暑日DH(°Chour)       | 1.2    | 22.8   | 182.1  | 144.4  | 135.9  | 103.3  | 153.6  | 638.7  |
|      | 真夏日DH(°Chour)       | 435.7  | 1086.7 | 2043.2 | 1872.6 | 1841.6 | 1612.1 | 1759.6 | 3086.9 |
|      | 熱帯夜DH(°Chour)       | 1637.6 | 2316.8 | 2533.2 | 2259.8 | 2056.2 | 2029.7 | 1760.3 | 2586.2 |
|      | 欠測率(%)              | 5.8    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 3.9    | 0.0    | 0.0    | 1.0    |
| 湿度   | 平均値(%)              | 78.4   | 73.9   | 70.5   | 72.3   | 71.9   | 75.0   | 74.4   | 68.4   |
|      | 最高値(%)              | 99.0   | 99.0   | 99.0   | 99.0   | 99.0   | 99.0   | 99.0   | 99.0   |
|      | 最低値(%)              | 35.8   | 28.1   | 23.3   | 26.6   | 26.8   | 28.3   | 26.9   | 20.0   |
|      | 欠測率(%)              | 6.2    | 0.1    | 0.0    | 1.7    | 6.0    | 3.3    | 6.5    | 1.6    |
| WBGT | 平均値(°C)             | 24.4   | 24.7   | 25.0   | 24.9   | 24.8   | 24.8   | 24.7   | 25.0   |
|      | 最高値(°C)             | 32.1   | 33.5   | 34.4   | 35.7   | 34.8   | 34.4   | 34.9   | 35.9   |
|      | 最低値(°C)             | 14.2   | 14.5   | 14.4   | 14.3   | 13.5   | 13.6   | 13.7   | 14.1   |
|      | 危険ランクDH(°Chour)     | 10.1   | 44.7   | 267.1  | 396.1  | 271.6  | 201.7  | 281.1  | 488.2  |
|      | 嚴重警戒ランク以上DH(°Chour) | 720.9  | 1024.7 | 1561.4 | 1554.0 | 1520.2 | 1309.6 | 1298.2 | 1797.7 |
|      | 警戒ランク以上DH(°Chour)   | 3254.0 | 3924.4 | 4541.8 | 4445.7 | 4311.4 | 4232.7 | 3942.7 | 4776.5 |
|      | 欠測率(%)              | 6.2    | 0.1    | 0.0    | 1.7    | 6.0    | 3.3    | 6.5    | 1.6    |

※表中の DH とはデGREEアワーを示し、気温における猛暑日 DH、真夏日 DH は日中(7~19時)においてそれぞれ 35°C、30°Cを超えた気温と時間数との積算値を、熱帯夜 DH は夜間(19~7時)において 25°Cを超えた気温と時間数との積算値を示す。また、WBGT におけるランク区分は表 7.4-2 に示す日本生気象学会の「日常生活における熱中症予防指針」の基準を準用し、危険ランク DH、嚴重警戒ランク以上 DH および警戒ランク以上 DH は、それぞれ 31°C、28°Cおよび 25°Cを超えた WBGT 値と時間数との積算値を示す。

表 7.4-2 日常生活における熱中症予防指針

| 温度基準<br>WBGT    | 注意すべき<br>生活活動の目安    | 注意事項   |
|-----------------|---------------------|--|
| 危険<br>31°C以上    | すべての生活活動で<br>おこる危険性 | 高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。 |
| 嚴重警戒<br>28~31°C |                     | 外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。                     |
| 警戒<br>25~28°C   | 中等度以上の生活活動でおこる危険性   | 運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。                  |
| 注意<br>25°C未満    | 強い生活活動でおこる危険性       | 一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。             |

出典:「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3 確定版」(日本生気象学会ホームページ)



※危険ランク DH :31℃を超えた WBGT 値と時間数との積算値  
 厳重警戒ランク以上 DH:28℃を超えた WBGT 値と時間数との積算値  
 警戒ランク以上 DH :25℃を超えた WBGT 値と時間数との積算値  
 ここでは、すべての地点の測定値が揃う期間のみを対象に統計をおこなった。

図 7.4-1 観測期間中における測定 WBGT から求めた暑さ指数のランク別 DH の比較

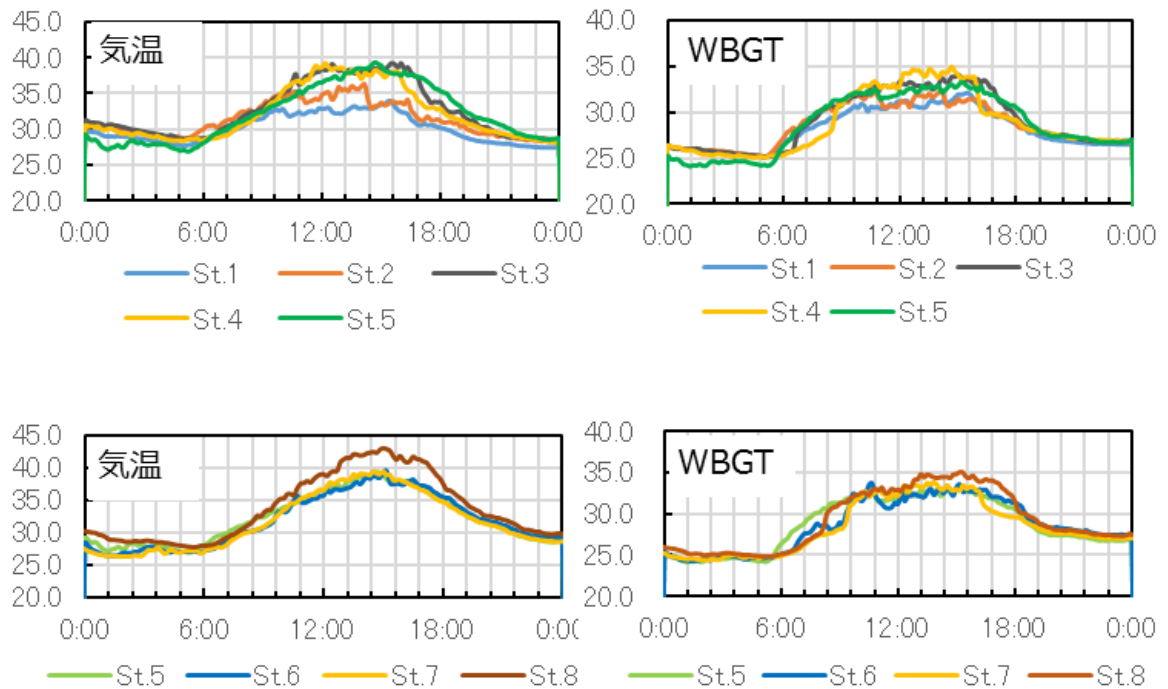


図 7.4-2 2018年7月19日の気温およびWBGTの時系列変化

## ア. 暑熱環境把握調査(衛星画像を活用した面的把握調査結果)

1日を通してほぼ晴天であった2018年8月4日における衛星画像からの地表面温度推定値と地上における実測値の比較を行ったところ、絶対値には差が確認されたものの、日変化傾向としては比較的良好な相関がみられた(図 7.4-3)。

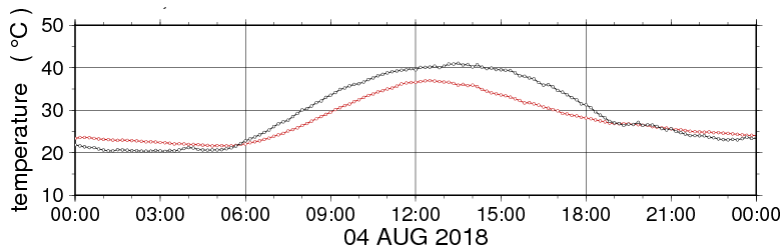


図 7.4-3 鶴見緑地における地表面温度(黒)とひまわり8号で観測された10.4 $\mu$ m帯(大気の窓領域で、晴天時は地上面温度の情報が、曇天時には雲頂温度の情報が把握できる)の輝度温度(赤)の時間変化

## 7.4.4 気候変動影響予測結果

### 7.4.4.1 WBGT 値の将来予測

気象モデル WRF を用いて過去の高温事例(2013年8月6日～8月23日)の再現計算を行った後、RCP8.5 の 21 世紀末の気象状況と現在の差分データを用いた擬似温暖化実験を実施した。

#### i) 現況再現計算(高温事例)

対象期間を通じた気温の観測値(大阪管区气象台)とモデルによる再現計算値の平均二乗誤差は 0.77°Cであり、再現計算は精度良く行えた。また、WBGT の観測値と現況再現計算値の相関係数は 0.90 であり、WBGT についても、高い相関があり再現計算の妥当性が確認できた。

#### ii) 擬似温暖化実験

「i. 現況再現計算」で用いた初期値、境界値に現在と RCP8.5 シナリオ 21 世紀末の差分値を加算し、気象モデルを用いて擬似温暖化実験(将来予測)を実施した。この計算により、温暖化による気象環境の下で、同様の高温事例が起きた際の大阪市周辺の状況を推定することが出来る。再現計算と将来予測の比較結果を図 7.4-4 に示す。将来(21 世紀末)においては、気温だけでなく熱ストレスに関わる指標である WBGT についても、全体的に大きく上昇することが分かる。

大阪管区气象台における WBGT の時間変化と、擬似温暖化実験下での同地点での計算された WBGT を図 7.4-5 に示す。黒線が再現計算の結果、赤線が擬似温暖化実験の結果である。また、環境省の「日常生活に関する指針における WBGT の温度基準ランク」に基づき、黄色が警戒レベル(25℃以上 28℃未満)、オレンジが嚴重警戒レベル(28℃以上 31℃未満)、赤が危険レベル(31℃以上)を直線で示している。再現計算では、高温日の日中に危険レベルを超過する日があるものの概ね嚴重警戒レベルで留まっているが、擬似温暖化実験では、全ての日で危険レベルを超過し、夜間であっても嚴重警戒レベルを下回らない値となっている。

2013年8月12日12時(JST)

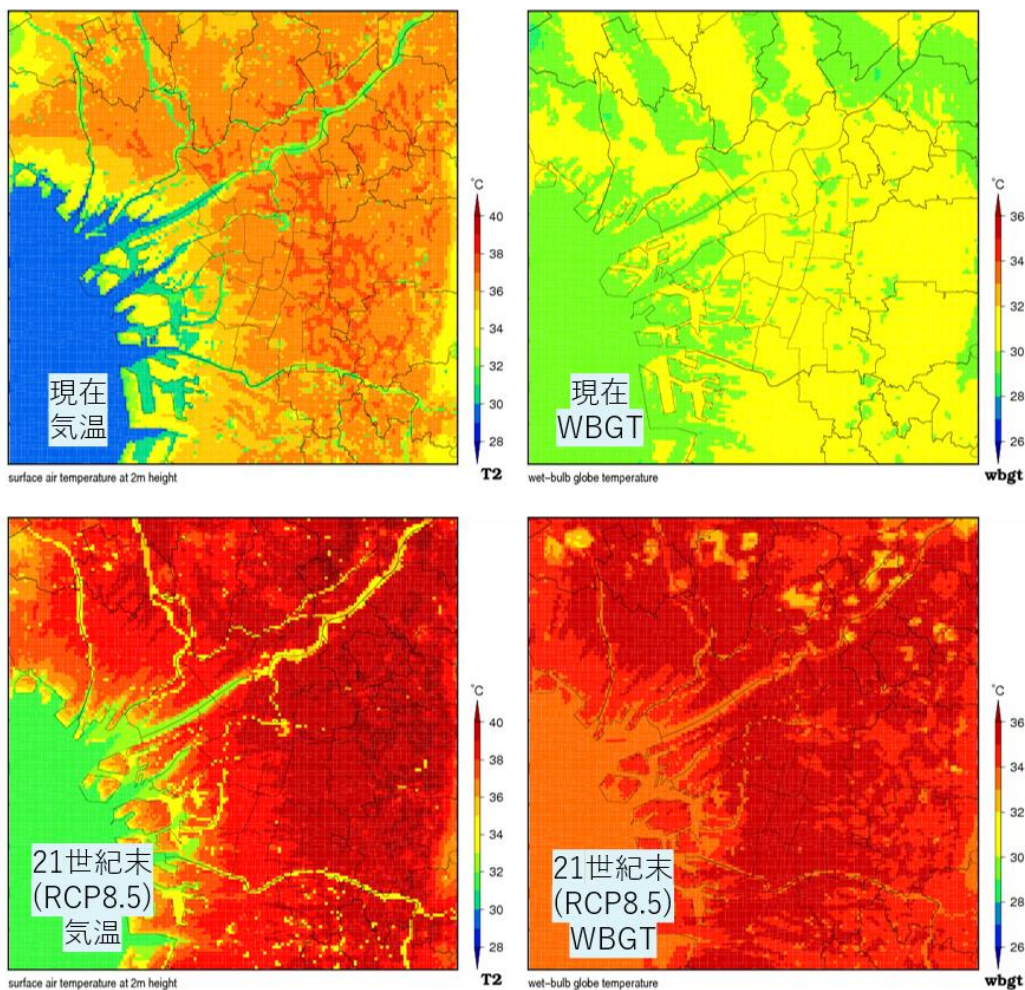


図 7.4-4 現況再現計算及び擬似温暖化実験による気温とWBGTの比較  
 (左上:気温(現在)、右上:WBGT(現在)、左下:気温(21世紀末 RCP8.5)  
 、右下:WBGT(21世紀末 RCP8.5))

※21世紀末の予測は、将来の特定日時を表すものではない。

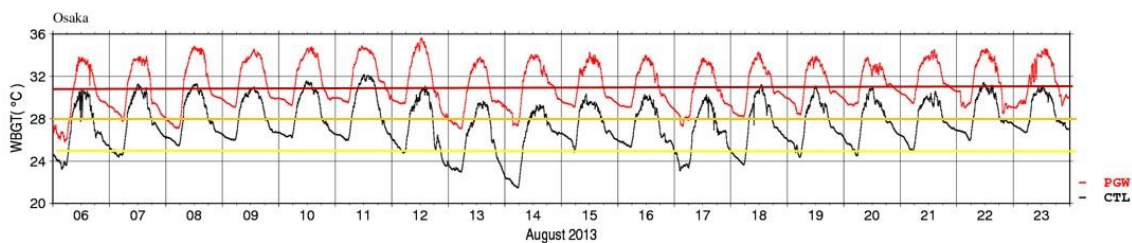


図 7.4-5 大阪における高温事例でのWBGTの時系列変化

黒線:現在(現況再現計算)、赤線:21世紀末(擬似温暖化実験:RCP8.5)

赤横線:熱中症危険レベル(WBGT 値 31°C以上)、橙横線:熱中症嚴重警戒レベル(WBGT 値 28°C以上 31°C未満)、黄横線:熱中症警戒レベル(WBGT 値 25°C以上 28°C未満)



#### 7.4.4.2 適応策検討:緑地化・河川拡幅化の効果の評価

適応策の検討を行うため、WRF の土地利用を変更した数値実験を行った。土地利用の変更は、①小学校の緑地化、②河川拡幅化の二通りを試行した。各実験の土地利用設定を図 7.4-6 に示す。

大阪市の区ごとの緑地化、河川拡幅化の効果一覧を表 7.4-3 に示す。多くの区では緑地化実験、河川拡幅化実験ともに低温化の効果が大きくなっており、その程度は緑地化率(区の面積に対する緑地化面積の割合)や河川拡幅化率が高いほど低温化効果が大きい。一方、WBGT 低下の効果の見られる区もあるが、特に河川を拡幅した場合に上昇している区が多い結果となった。これは、河川拡幅化により湿度が増加するためと考えられる。



図 7.4-6 数値実験の土地利用(左:現況、中:小学校緑地化、右:河川拡幅化)

表 7.4-3 大阪市における緑地化および河川拡幅の効果

(再現計算の土地利用の気温、WBGT 値を基準として各要素の変化率を百分率で表示)

| 市区名  | 緑地化の効果 |        |      | 河川拡幅化の効果 |        |       |
|------|--------|--------|------|----------|--------|-------|
|      | 気温     | WBGT   | 緑地化率 | 気温       | WBGT   | 拡幅化率  |
| 大阪市  | 1.99%  | -0.09% | 5.8% | 6.10%    | -1.10% | 9.3%  |
| 北区   | 1.82%  | -0.76% | 5.1% | 5.89%    | -1.36% | 8.8%  |
| 都島区  | 2.48%  | -0.69% | 8.0% | 7.70%    | -1.66% | 12.3% |
| 福島区  | 2.42%  | -0.46% | 7.1% | 8.06%    | -1.13% | 11.9% |
| 此花区  | 0.71%  | 0.17%  | 2.6% | 5.26%    | -0.42% | 8.3%  |
| 中央区  | 1.47%  | -0.65% | 2.9% | 7.88%    | -1.69% | 12.0% |
| 西区   | 2.51%  | -0.24% | 6.3% | 12.62%   | -1.33% | 20.4% |
| 港区   | 2.44%  | 0.72%  | 6.4% | 4.59%    | -0.30% | 7.1%  |
| 大正区  | 2.34%  | 0.84%  | 5.6% | 5.38%    | -0.25% | 8.5%  |
| 天王寺区 | 2.32%  | -0.03% | 6.2% | 0.13%    | -1.49% | 0.0%  |
| 浪速区  | 2.53%  | 0.33%  | 4.7% | 3.83%    | -1.11% | 6.2%  |
| 西淀川区 | 0.86%  | -0.94% | 4.7% | 5.52%    | -0.99% | 9.1%  |
| 淀川区  | 1.15%  | -1.07% | 5.4% | 2.70%    | -1.28% | 4.7%  |
| 東淀川区 | 1.57%  | -1.00% | 5.4% | 1.76%    | -1.65% | 3.2%  |
| 東成区  | 2.34%  | -0.77% | 7.8% | 10.22%   | -2.35% | 17.0% |
| 生野区  | 2.74%  | 0.12%  | 8.0% | 12.48%   | -1.56% | 20.0% |
| 旭区   | 2.27%  | -0.81% | 6.0% | 5.80%    | -1.51% | 8.2%  |
| 城東区  | 2.02%  | -0.93% | 6.5% | 13.10%   | -1.94% | 19.8% |
| 鶴見区  | 1.27%  | -1.11% | 4.9% | 7.31%    | -1.98% | 10.2% |
| 阿倍野区 | 2.69%  | 0.75%  | 6.6% | 0.77%    | -0.53% | 0.0%  |
| 住之江区 | 1.34%  | 1.08%  | 3.1% | 3.93%    | 0.16%  | 5.6%  |
| 住吉区  | 1.95%  | 0.70%  | 6.7% | 3.31%    | -0.17% | 4.0%  |
| 東住吉区 | 1.94%  | 0.54%  | 5.7% | 10.94%   | -0.87% | 17.2% |
| 平野区  | 1.68%  | 0.27%  | 5.1% | 5.69%    | -0.86% | 7.4%  |
| 西成区  | 2.58%  | 0.79%  | 6.7% | 0.81%    | -0.53% | 0.5%  |



### 7.4.4.3 熱中症リスクモデルを用いた搬送者数の予測

熱中症の搬送者数と気象条件の関係を調査するため、2013年から2017年までの大阪市における日最高 WBGT、熱中症搬送者数を用いて熱中症リスクモデルを作成し、将来の熱中症搬送者数を推定した。なお、2018年のデータは、高温の特異年であったことから、リスクモデル作成のためのデータとしては用いないこととした。検証の期間は、高温事例の再現計算及び擬似温暖化実験を行った2013年8月6日から23日までの18日間とした。大阪市における日ごとの熱中症搬送者数を図7.4-7に示す。再現計算によって得られたWBGTから求めた熱中症搬送者数が青、擬似温暖化実験によって得られたWBGTから求めた熱中症搬送者数(将来予測)が橙色、該当期間の熱中症による実搬送者数が灰色の線である。再現計算による熱中症搬送者数は実人数よりもやや過少となっている。また、将来予測では、現在と比較して大幅に熱中症搬送者数が増えることが分かる。

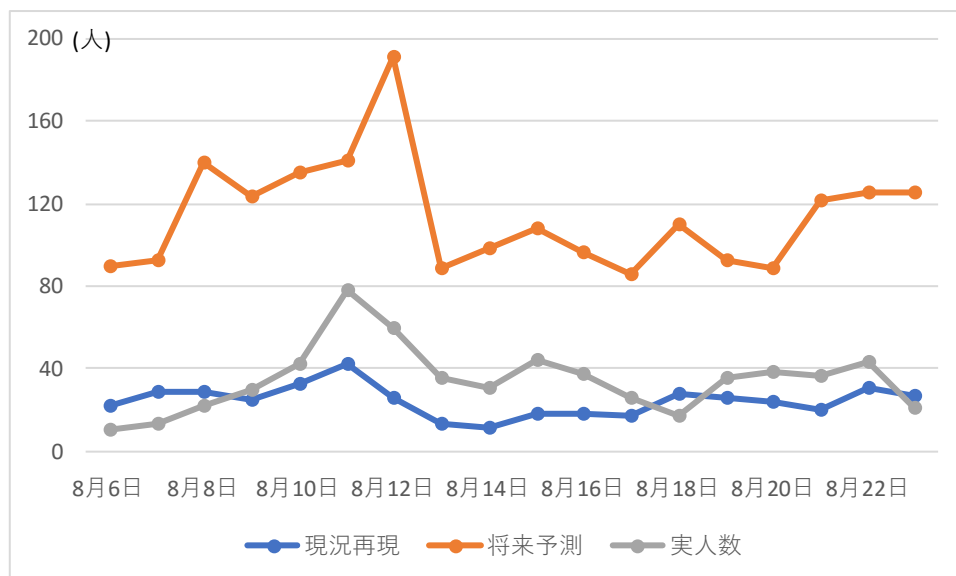


図 7.4-7 大阪市における日ごとの熱中症搬送者数

### 7.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

本調査では、過去の高温事例が将来の温暖化環境下で起こった際の気温、WBGT の予測結果をもとに、熱ストレスの変化傾向を分析したものであり、熱中症搬送者数の予測に人口の変化、人々の環境への適応性の考慮は行っていない。また、擬似温暖化実験は、過去の特定の高温事例の再現計算結果をもとに将来予測を行ったものであるが、将来における特定の日の気温等を予測しているわけではないことに留意が必要である。

## 7.5 適応オプション

### 7.5.1 手順

本調査における適応オプション検討の流れは図 7.5-1 の通りである。

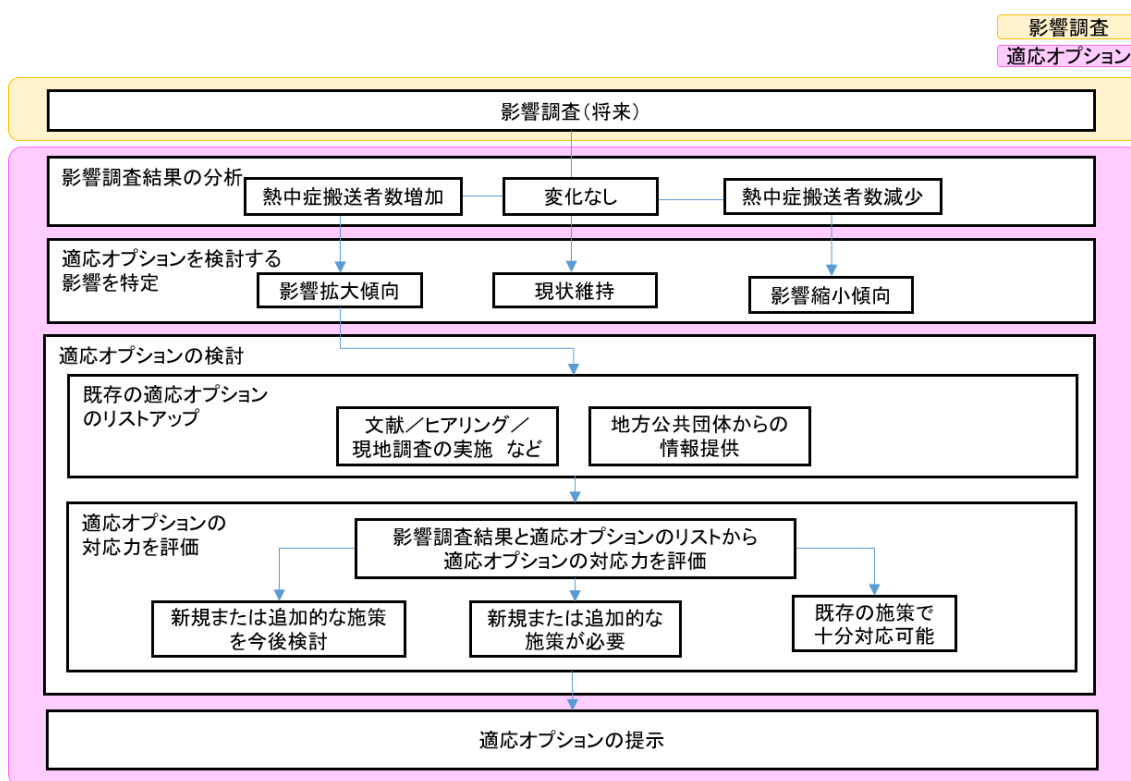


図 7.5-1 適応オプションの検討フロー

### 7.5.2 概要

適応オプションを表 7.5-1 に示す。

表 7.5-1 適応オプション(調査項目 4-5):再掲

| 適応オプション       | 想定される実施主体 |     |    | 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 |
| ①緑化の推進        | ●         | ●   |    | 普及が進んでいる   | ・緑化の推進エリア面積により波及効果に差がある。<br>・維持管理のために散水が必要となることがある。 | △     | ○    | △    | ◎   | 短期        | 中          |
| ②水路の拡幅        | ●         | ●   |    | 普及が進んでいない  | ・大規模な工事が必要となり、実現可能性に課題が残る。                          | △     | ○    | N/A  | △   | 長期        | 中          |
| ③クールスポットの導入   | ●         | ●   |    | 一部普及が進んでいる | ・コストを要する(補助金もあるが、時期が合わないことがある)。<br>・事業者や自治体の協力が必要。  | △     | ○    | △    | ◎   | 短期        | 中          |
| ④気象情報の活用      |           | ●   | ●  | 一部普及が進んでいる | ・特になし。  | ◎     | ◎    | ◎    | ◎   | 長期        | 高          |
| ⑤啓発活動の推進      | ●         | ●   |    | 一部普及が進んでいる | ・事業者や自治体の協力が必要。                                     | ◎     | ○    | N/A  | ◎   | N/A       | 低          |
| ⑥熱中症患者への体制の整備 | ●         | ●   | ●  | 一部普及が進んでいる | ・救急車、処置者の確保。  | ◎     | ○    | ◎    | ◎   | N/A       | 低          |

表 7.5-2 適応オプションの根拠(調査項目 4-5):再掲

| 適応オプション       | 適応オプションの考え方と出典   |
|---------------|--|
| ①緑化の推進        | 大阪市では、平成 17(2005)年度より市立小学校の運動場の芝生化モデル事業が始まり、現在までに私立小学校約 300 校中、70 校以上で芝生化がされている。         |
| ②水路の拡幅        | 水路の拡幅には、用地の取得に多額の費用が掛かる他、大規模な工事が必要となる。   |
| ③クールスポットの導入   | 大阪府では、「大阪府環境保全基金」を活用し、屋外空間における夏の昼間の暑熱環境を改善することを目的にクールスポットを創出する「クールスポットモデル拠点推進事業」を実施している。 |
| ④気象情報の活用      | 大阪市のホームページでは、気象情報ページへのリンクを設置し、WBGT 値等を公開している。  |
| ⑤啓発活動の推進      | 大阪市では小学生向けに分かりやすく熱中症の危険度を示す看板が設置されている学校がある。  |
| ⑥熱中症患者への体制の整備 | 大阪市内で熱中症搬送者数の多くなる天神祭当日には、救護所の増設等の対策が行われている。  |

## 7.5.3 適応オプション

### 7.5.3.1 緑化の推進

大阪市では、平成 17 年度より小学校運動場芝生化のモデル事業が開始され、現在までに大阪市立小学校約 300 校中、70 校を超える小学校で芝生化が実施されている。本調査での実験からも、緑地化の効果が示されており、他の小学校に加え、中学校や高等学校の校庭、民間ビルの屋上等も芝生化することで、より大きな効果が見込める。

### 7.5.3.2 水路の拡幅

大阪市内の既存の河川、運河等の川幅を拡げた場合、低温化の効果が見込めるが、実現には土地の買収や工事に多額の費用が掛かるため、実現可能性には課題が残る。

### 7.5.3.3 クールスポットの導入

これまでも、商店街や商業施設等にクールスポットが導入されている。利用条件や募集期間に限られるものの自治体からの補助金もあり、今後も普及を拡大していくことが有効と考えられる。

### 7.5.3.4 気象情報の活用

気象会社等から配信される気象情報を有効に活用し、気温や湿度の上昇が見込まれる場所や時間帯の外出を控えることや水分を適切に摂ることで、熱中症リスクの低減が見込める。

### 7.5.3.5 啓発活動の推進

現在までも熱中症リスクに関する普及啓発活動が行われているが、今後は情報弱者となりやすい小学生や高齢者を中心に、啓発活動を一層推進することで、熱中症リスクの低減が見込める。

### 7.5.3.6 熱中症患者への体制の整備

熱中症の症状が発生した際に、適切な治療を迅速に受けられる体制を整備することで重篤化を防ぐことも有効である。大阪市内でも大イベント時には救急車や救護所を多く配置する等の工夫が行われている。

## 7.6 引用文献一覧

- 1: 榊元慶子, 2009: 大阪市域の夏季におけるヒートアイランド現象の時空間特性と暑熱指標(WBGT)による評価, 大阪市立環科研報告 平成 20 年度, 第 71 集, 35-40.
- 2: 奥勇一郎, 榊元慶子, 2014: 大阪市における夏と冬のヒートアイランド現象の違いに関する観測的研究, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.9, 1-12.
- 3: 榊元慶子, 2017: 地域の気候変動適応白書 2016 年度版—社会実装の推進に向けて—, PP54

- 4: 日本生気象学会, 2013: 「日常生活における熱中症予防指針」Ver.3 確定版.
- 5: 奥勇一郎, 木本絢子, 榊元慶子, 山本雄平, 石川裕彦, 2016: 次世代気象衛星ひまわりでみる京阪神地域のヒートアイランド現象, 平成 27 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 講演会予稿集, P41