

# 愛知県における過去から将来の気候変動及び暑熱環境の変化に係る解析

小島 徳久\* 松田 涼樹\*\* 熊谷 禎晃 川上 七恵 山田 晃司 高井 賢治

地球温暖化の進行に伴い、本県でも更なる気温上昇が予測されており、暑熱環境の悪化が懸念される。

これに対し、県内における気候の地域差を踏まえた上で適応策を検討するためには、暑熱環境に係る気象要素に関し、高い空間解像度を持つ予測データを用いて解析を行う必要がある。

そこで本研究では、国立環境研究所が提供する予測データセットを用いて、県内における1980年代から2090年代までの暑熱環境の変動に係る解析・可視化を行った。

気候モデルとしてMIROC\*6のダウンスケーリングデータを用いて、各メッシュに含まれる日平均気温データの夏季平均について県内平均を求めたところ、1980年代には23.6℃であったが2090年代にはSSP1-2.6\*2で25.3℃、SSP5-8.5\*2で27.4℃となった。地域別の特徴として、日平均気温は、年代に関わらず名古屋周辺で高く三河山間部で低いが、2090年代までの上昇幅は県内の北に位置する場所ほど大きい傾向にあった。また、日平均気温、相対湿度、風速及び全天日射量を用いて計算したWBGT(本報では日平均cWBGTという。)の夏季の県内平均は、1980年代では22.5℃、2090年代にはSSP1-2.6で24.3℃、SSP5-8.5で26.2℃となった。地域別の特徴として、日平均cWBGTは、年代に関わらず沿岸部で高く三河山間部で低いが、2090年代までの上昇幅は三河山間部や尾張地域で大きい傾向にあった。

キーワード 気候変動, 気候モデル, 統計的ダウンスケーリングデータ, 気温, WBGT

## 1 はじめに

地球温暖化の進行により、本県でも将来さらに気温が上昇すると予測されている<sup>3)</sup>。

2019年度に実施した気候変動影響及び適応に関する県民の意識調査<sup>4)</sup>では、「熱中症を心配するようになった」と回答した割合は67.7%と高く、多くの回答者が気候変動に伴う暑熱環境の変化に懸念を感じている。

こうした予測や懸念を踏まえつつ、県庁内の各部局や県内市町村、事業者、県民といった各主体が暑熱環境による影響への適応策を検討するためには、県内における過去から将来までの暑熱環境の変化について知見の充実が必要となる。

そこで本研究では、国立環境研究所や環境省等が提供する気候・暑熱関連データを用いて、県内における過去から中長期的な将来までの暑熱環境に関し、県域内での気候の地域差を含む予測情報を得ることを目的に、気温及びWBGT(Wet Bulb Globe Temperature, 湿球黒球温度・暑さ指数ともいう。)の変化に係る解析を行った。

## 2 方法

国立環境研究所Webページ<sup>5, 6)</sup>から、「CMIP\*36/CMIP5をベースにしたCDFM手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ」に収録されている各種全球気候モデルを基にした計算結果データセットのうちMIROC6及びMIROC5に係る計算結果を取得した(以下「M6」及び「M5」という)。データの概要は附表1のとおりである。

M6及びM5は、約150kmメッシュ<sup>8, 9)</sup>で計算されているMIROC6及びMIROC5の計算結果を、観測値から求めた統計的関係を用いて1kmメッシュに高解像度化したデータ(統計的ダウンスケーリングデータ)である。観測値は大野ら(2016)<sup>10)</sup>のメッシュ農業気象データが用いられており、これには気象庁のアメダス観測結果が考慮されている。M6及びM5のバイアス補正手法としては、観測値とモデルの過去再現実験の計算結果を月ごとに並び替え、順位ごとに補正量を決定するCDFM手法(Cumulative Distribution Function-based Downscaling Method)が用いられている。バイアス補正に用いられた観測値の期間は、気温や全天日射量が1980～2018年の39年間で、風速や相対湿度は2008～2018年の11年間である<sup>11)</sup>。時間解像度について、M6及びM5は日別値で提供されている。

本報では、まず、M6及びM5の両方について、県内気象\*3 世界気候研究計画(WCRP)が主導する大気海洋結合モデル相互比較計画(Coupled Model Inter-comparison Project)<sup>7)</sup>。CMIPには後述のMIROCを始めとした複数の気候モデルがある。

\* 水大気環境課 \*\* 元環境調査センター

\*1 東京大学, 国立環境研究所, 国立海洋研究開発機構により開発された気候モデル。「The Model for Interdisciplinary Research on Climate」を略して、MIROCと名付けられている<sup>1)</sup>。

\*2 SSP1-2.6は持続可能な発展の下で気温上昇を2℃未満に抑えるシナリオ, SSP5-8.5は化石燃料依存型の経済発展の下で気候政策を導入しない最大排出量シナリオのことをいう<sup>2)</sup>。

観測値との比較を行った。MIROC6は、MIROC5の後のバージョンであり、MIROC5の放射やエアロゾル等の計算過程が改良されている<sup>12)</sup>。しかしながら、CMIP6とCMIP5モデルの現在気候再現性に明らかな違いは見られないとされている<sup>1)</sup>。

最初に、M6及びM5の気象要素のうち日平均気温、日平均相対湿度及び日平均風速について月平均値を作成し、この月平均値について、県内の大気汚染測定局における各観測値<sup>13)</sup>との比較を行った。アメダスの存在しない地点をカバーするために、アメダス地点<sup>14)</sup>からある程度距離があり、また観測報告期間を長くとするよう検討した結果、図1に示す富田支所(北緯35.14°、東経136.81°、最近傍アメダス地点の愛西からの距離約13km)及び岡崎市鴨田(北緯34.98°、東経137.16°、最近傍アメダス地点の岡崎からの距離約7.4km)の2009～2012年の月平均値を用いた。各大気汚染測定局が含まれるメッシュ区画におけるM6及びM5の値を抽出し、観測値との間で相関図を作成し、相関係数及びRMSE(Root Mean Squared Error, 二乗平均平方根誤差)を確認した。なお、国が定める事務処理基準において、大気汚染測定局における気象要素の測定を実施するよう努める<sup>15)</sup>とされており、気象業務法に基づく測定と同等の精度は必ずしも担保されないことに留意する必要がある。

次に、M6及びM5のデータセットには直接含まれていないものの暑熱環境の評価において重要な指標であるWBGTについても、前段と同様に妥当性を確認するため、M6及びM5の各気象要素から計算によりWBGTを求め(本報においてcalculated WBGTと称し、以下「cWBGT」という。)、環境省熱中症予防情報サイト<sup>16)</sup>から取得した県内アメダス11地点(図1)の2010～2021年のWBGT実況推定値<sup>\*4)</sup>(以下本報では単に「WBGT」という。)との比較を行った。同サイトでは、各気象要素から近似的にWBGTを求めるにあたり、式(1)に示す小野らの式<sup>17)</sup>を用いている。このことを踏まえ、M6及びM5から日平均cWBGTを求めるにあたっては同式を準用し、日平均気温、相対湿度、風速及び全天日射量を用いて計算した。比較に当たっては各アメダス地点が含まれるメッシュ区画のM6及びM5の値を抽出して、夏季(気象庁の用語<sup>18)</sup>に倣い、本報では6～8月のことをいう。)の月平均値を算出の上、WBGTとの間で相関図を作成し、相関係数及びRMSEを確認した。

以降の解析にはM6のみを用いることとし、M6から得られた日平均気温及び日平均cWBGTについて、県内平均又は地域平均をとって大まかな変動傾向を把握すること

\*4 名古屋に関しては実測値も提供されているが、欠測値のない実況推定値の方が計算上扱いやすいため、本報では実況推定値を用いた。



図1 解析に使用した県内のアメダス地点(青点)及び大気汚染測定局(赤星)

$$\begin{aligned} \text{WBGT} = & 0.735 \times \text{Ta} + 0.0374 \times \text{RH} \\ & + 0.00292 \times \text{Ta} \times \text{RH} + 7.619 \times \text{SR} \\ & - 4.557 \times \text{SR}^2 - 0.0572 \times \text{WS} - 4.064 \end{aligned} \quad (1)$$

Ta : 気温(°C)

RH : 相対湿度(%)

SR : 全天日射量(kW/m<sup>2</sup>)

WS : 平均風速(m/s)

にした。地域については図1のとおり、既報と同様に4区分した<sup>19)</sup>。まず、1980～2099年の夏季平均値の各年代(西暦の10年毎区切り)平均を算出し、県内の暑熱環境の変化を解析した。将来シナリオは、CMIP6のSSP1-2.6及びSSP5-8.5を用いた。日平均気温や日平均cWBGTの県内平均値を算出する際には、国土交通省Webページから取得した県の行政区画データ<sup>20)</sup>を用いて、M6の1kmメッシュ区画のデータごとにラベル付けられている経度・緯度が行政区画内にあるか判別することで抽出し、メッシュ間の平均値を算出した。M6から県内データとして抽出されたメッシュは4892区画である<sup>\*5)</sup>。次いで、本県における日平均気温と日平均cWBGTの状況を面的に把握するため、上述のシナリオについて、県域白地図上に年代別にマップとして作図することにより、将来における日平均気温、日平均cWBGTの空間的な差異等について検討した。更に、環境省熱中症予防情報サイト<sup>16)</sup>から取得した名古屋地方気象台における2010～2021年の夏季の日平均WBGTと日最高WBGTから求めた回帰式を用いて、日平均cWBGTから日最高cWBGTを求め、その面的な経時変化について検討した。

\*5 1区画を1km<sup>2</sup>と考えたとき、国土地理院調査による面積5173km<sup>2</sup><sup>21)</sup>と一致しないが、これはメッシュを行政区画で切り出す際に、海岸との境界や県境において欠損が生じることによる。

### 3 結果と考察

#### 3.1 M6及びM5と気象観測値との比較

2009～2012年における日平均の気温、相対湿度及び風速に係る1～12月の月平均値について、各大気汚染測定局地点(図1赤星)における観測値とM6及びM5の値の相関図を示す(図2)。

M6及びM5のいずれの気象要素も、傾きが1の直線周辺に概ね位置しており、M6及びM5はいずれも県内の大気汚染測定局の観測値に概ね近い値となっている。これは、バイアス補正の結果と考えられる。

日平均気温に関し、相関係数はM6及びM5のいずれも0.98以上と非常に高い。RMSEはM6で1.6及び1.5(富田支所、岡崎市鴨田の順。以下同順。)、M5で1.7及び1.6であり、同程度であった。

日平均相対湿度に関し、相関係数はM6で0.54及び0.48、M5で0.71及び0.56であり、両モデルともに相関関係が見られ、M5の方が比較的良好であった。RMSEはM6で5.7及び7.9、M5で5.1及び7.7であり、RMSEが良好なモデルは測定局によって異なっていた。

日平均風速に関し、相関係数はM6で0.57及び0.69、M5で0.60及び0.62であり、両モデルともに相関関係が見られ、両者を比較したときに相関係数が良好なモデルは測定局によって異なっていた。RMSEはM6で0.60及び0.34、M5で0.60及び0.35であり、同程度であった。

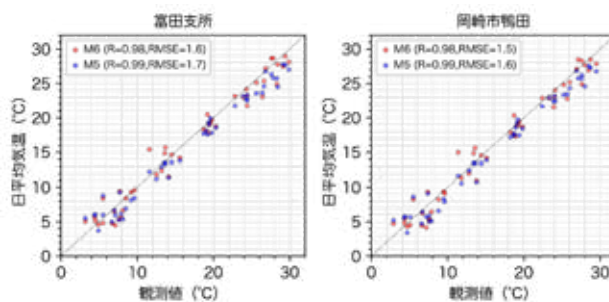
以上の結果から、M6及びM5は観測された気象要素を概ねよく再現できていることが分かった。

M6及びM5と観測値との間の誤差の原因としては、本解析に用いることができた大気汚染測定局の観測値の期間が、気候モデル計算結果の統計的ダウンスケーリングデータの評価において短いことも影響していると考えられ、解析条件の更なる検討が必要と考える。更に、ダウンスケーリング時において逆距離加重法(乗数3)が用いられていることにより各メッシュのデータがそれぞれ最近傍アメダス地点の観測値の影響を強く受けている<sup>10)</sup>一方で、実測値はアメダス地点から離れた距離にある大気汚染測定局の場合、必ずしも近隣アメダス測定値と類似しないことも考えられた。

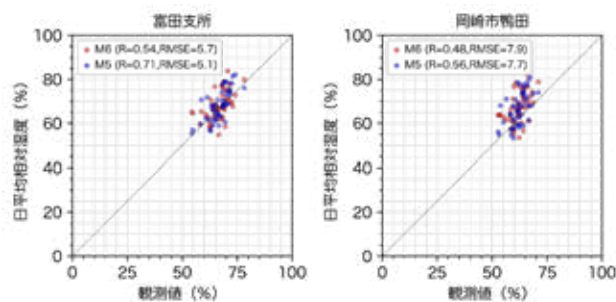
#### 3.2 M6及びM5から得られた日平均cWBGTと気象観測値から得られた日平均WBGTとの比較

図3に、11か所のアメダス地点(図1青点)における2010～2021年の日平均WBGTと、M6及びM5から得られた日平均cWBGTについて、夏季の月平均値をそれぞれ求めプロットした。

#### a) 日平均気温



#### b) 日平均相対湿度



#### c) 日平均風速

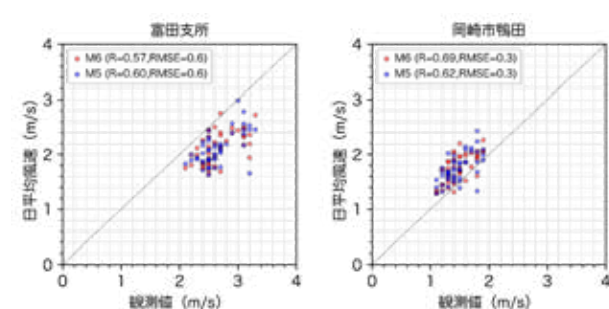


図2 大気汚染測定局地点における観測値とM6及びM5の値の相関

いずれの観測所においても、図3の傾きが1の直線周辺にプロットが概ね位置しており、M6及びM5のいずれについても日平均cWBGTの月平均値は日平均WBGTのそれを概ね良く再現している。

相関はM6及びM5とともに強く、M6と観測値の相関係数はM5と同じか僅かに大きかった。RMSEは、新城においてM6の方がM5よりも大きかったが、その他の地点では同じか又はM6の方が小さかった。なお、図3の日平均WBGTが低い領域は、6月の平均値である。

以上及び3.1項のとおり、相対湿度に関してはM5の相関係数及びRMSEの方が若干良好であったものの、日平均気温に関しM6及びM5のいずれも実測値との相関係数や

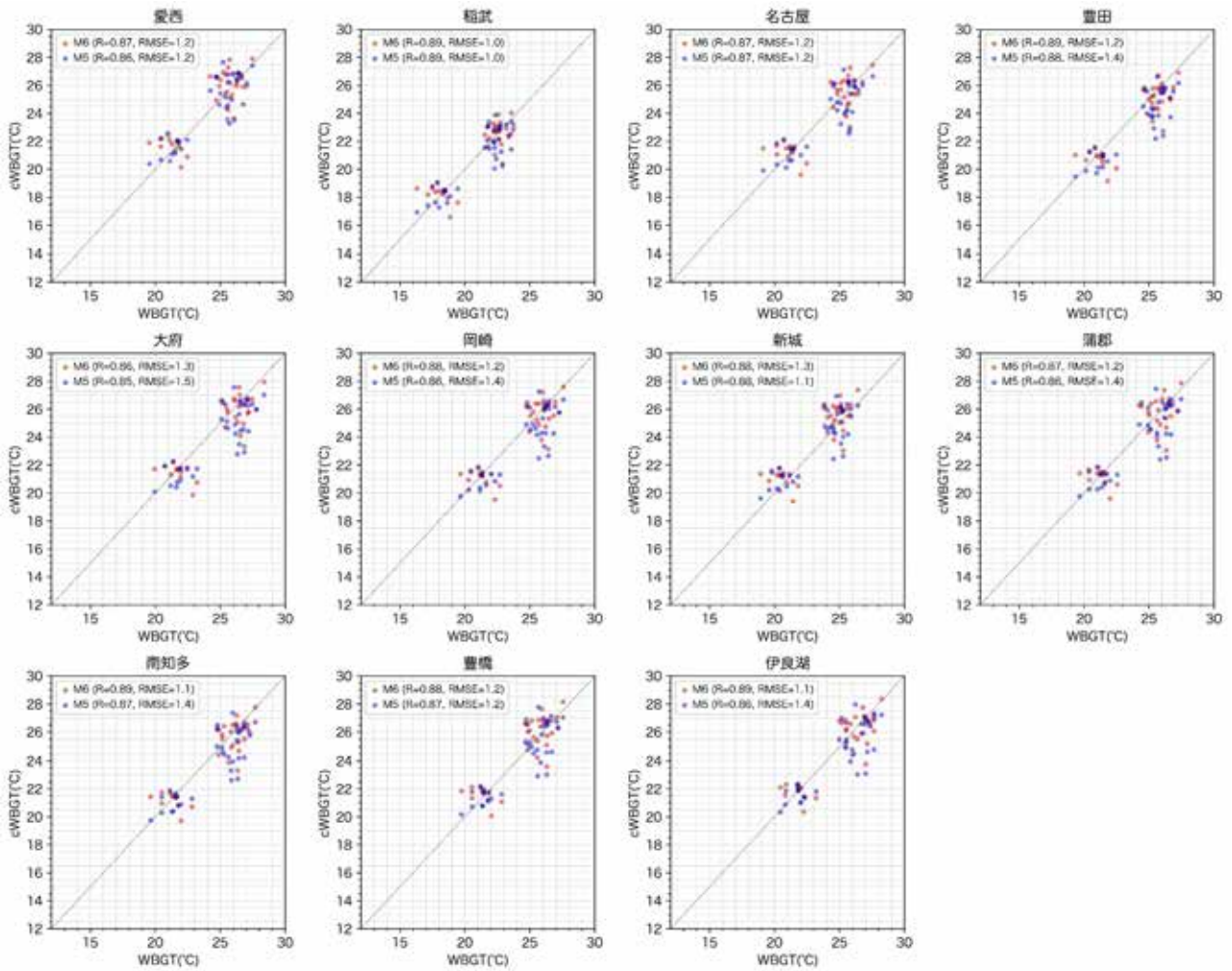


図3 県内アメダス11地点における夏季の日平均WBGTと日平均cWBGTの相関図

RMSEに違いが見られないこと、日平均cWBGTに関しM6はM5と比較して相関係数が同等以上、RMSEが概ね同等以下であること及びデータ計算過程はM6において改良がされていることを踏まえ、以下の項ではM6を用いる。

### 3.3 M6における気温及びcWBGTの変化(変化の状況及びシナリオ間の差異)

1980～2099年の夏季の日平均気温及び日平均cWBGTに関し、県内平均及び県域を4地域に区分したときの地域平均について、各年代平均の推移を図4-1及び4-2に示す(併せて附表2-1及び2-2参照)。将来シナリオはSSP1-2.6及びSSP5-8.5を用いた。

日平均気温に関し、県内平均を見ると、1980年代には23.6℃であったのが、SSP1-2.6では2050年代以降上昇が抑えられ2090年代には25.3℃となったが、SSP5-8.5では各年代を通じて徐々に増加し2090年代には27.4℃となっている。

日平均気温に関し、4地域の上昇傾向は県内平均のそれと同様となっている。4地域を比較すると、名古屋市域が最も高く、尾張地域(名古屋市域を除く)と知多地域・三河地域沿岸地区が続いて高く、三河地域内陸地区が相対的に低い。都市域において気温が高い原因としてはヒートアイランド現象が、三河地域内陸地区で低い原因には標高の高さが挙げられる。

日平均cWBGTに関し、県内平均を見ると、1980年代には22.5℃であったのが、SSP1-2.6では2050年代以降は上昇が抑えられ2090年代では24.3℃となったが、SSP5-8.5では各年代を通じ徐々に増加し2090年代には26.2℃となっている。日平均cWBGTの上昇の傾向は、日平均気温と類似している。

日平均cWBGTに関しても、4地域の上昇傾向は県内平均のそれと同様となっている。4地域を比較すると、名古屋市域、知多地域・三河地域沿岸地区、尾張地域(名古屋市域を除く)で高く、三河地域内陸地区で相対的に低

い。日平均cWBGTの地域間の差は、日平均気温に係るそれよりも小さい。知多地域・三河地域沿岸地区の日平均cWBGTは名古屋市域と同等レベルで推移しており、同地域の日平均気温が名古屋市域や尾張地域（名古屋市域を除く）よりも低いレベルで推移していたのとは異なる傾向が見られた。式(1)より、相対湿度、風速、全天日射量のいずれか又は複数について他地域と異なる特性を有しているものと考えられ、これらの気象要素の時系列変化についても今後解析していく必要がある。

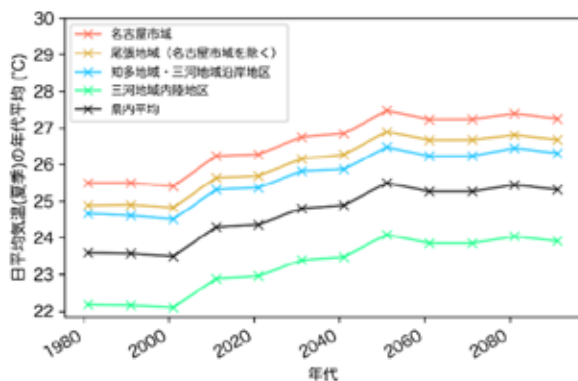
日平均気温及び日平均cWBGTにおいて地域差が確認されたため、次に、県内の暑熱環境の変化を面的に解析した。1980年代、2040年代及び2090年代の夏季平均の日平均気温及び日平均cWBGTと、両項目の2090年代と1980年代の差を図5-1及び5-2に示す。

日平均気温に関し、どの年代においても、名古屋や名

古屋周辺で値が高く、次いで沿岸部で高く、標高が高い三河山間部で値が低い。2090年代と1980年代の差は、SSP1-2.6の場合、最大約1.8℃、最小約1.5℃、県内平均は約1.7℃で、県内地域差の幅は0.3℃程度あり、県内では北に位置する場所ほど上昇幅が大きい傾向にある。SSP5-8.5の場合においても、同様に、北に位置する場所ほど上昇幅が大きい傾向が確認できる。

日平均cWBGTに関し、どの年代においても、尾張地域、知多半島や渥美半島等の沿岸部において相対的に高く、三河山間部で低い。SSP1-2.6の場合、2090年代と1980年代の差は、最大約1.9℃、最小約1.6℃、県内平均は約1.8℃で、地域差は0.3℃程度と日平均気温に係る地域差と同程度であり、三河山間部や尾張地域で上昇幅が大きい傾向が見られた。SSP5-8.5の場合、三河山間部や尾張北西部において上昇幅が大きい傾向が見られた。

a) SSP1-2.6



b) SSP5-8.5

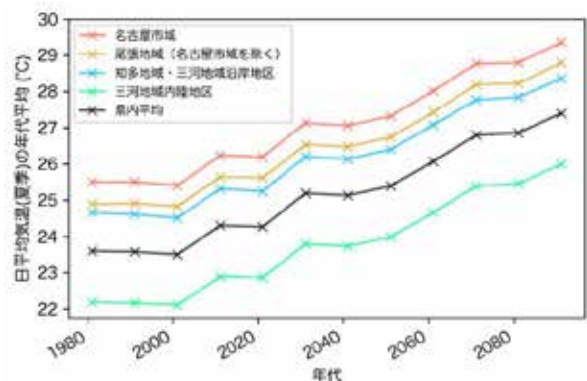
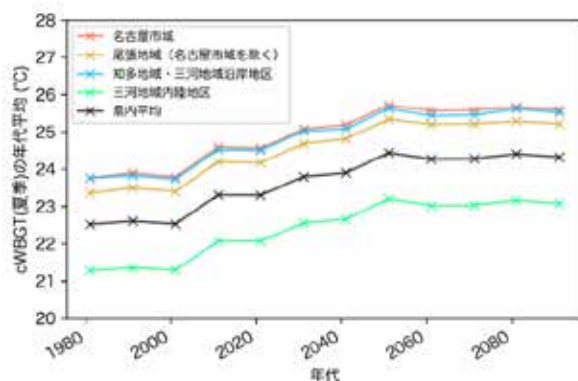


図 4-1 各地域における 1980 年代から 2090 年代の日平均気温の変化

a) SSP1-2.6



b) SSP5-8.5

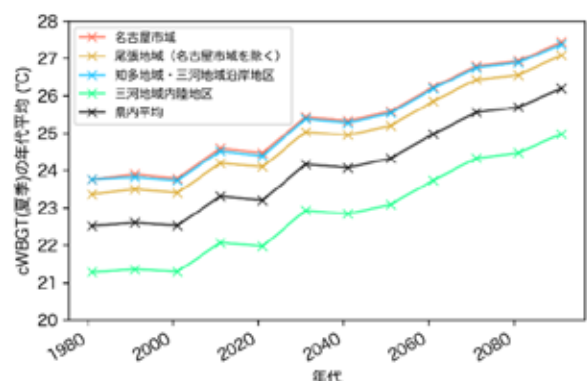
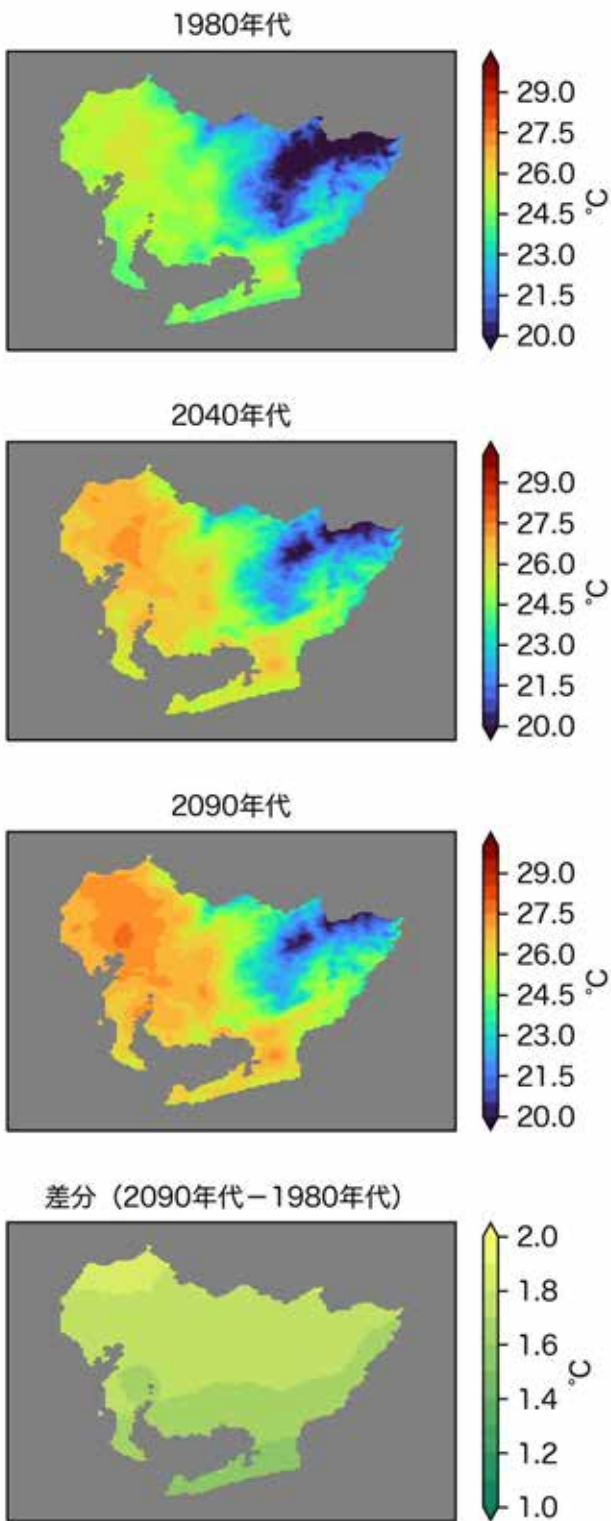


図 4-2 各地域における 1980 年代から 2090 年代の日平均 cWBGT の変化

a) SSP1-2.6



b) SSP5-8.5

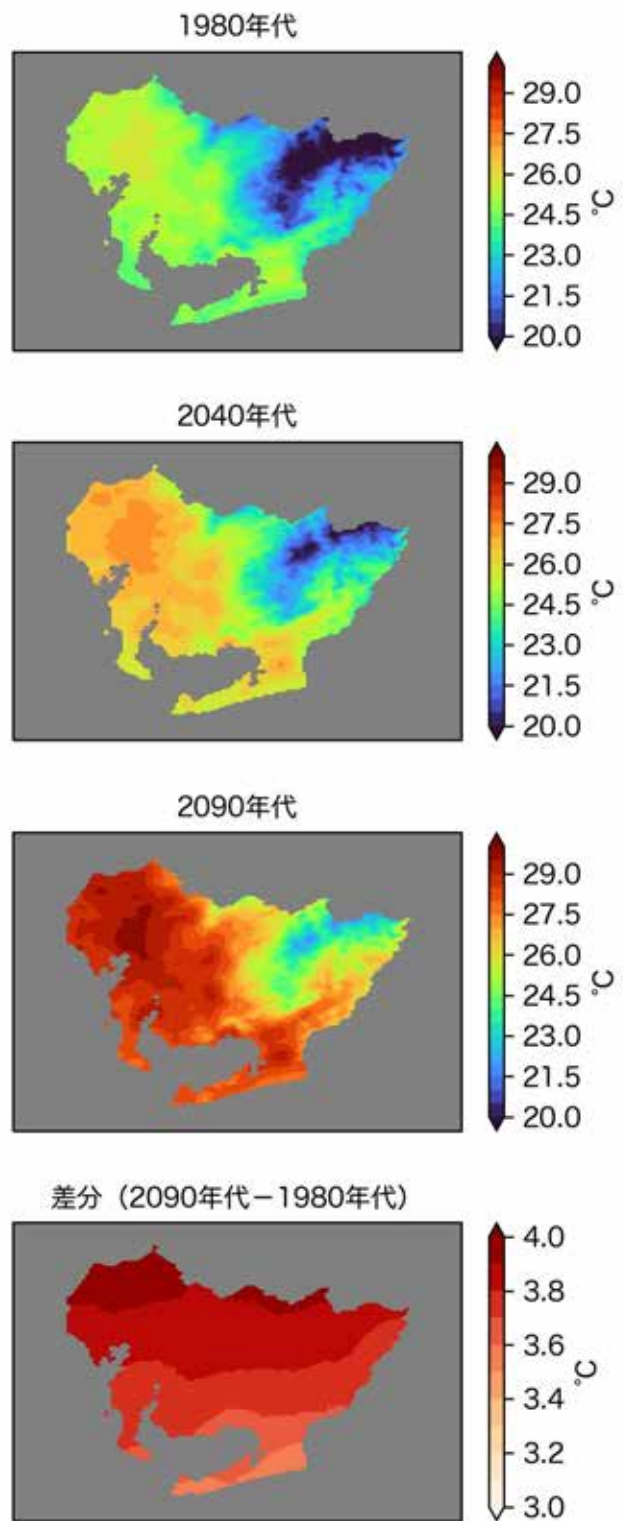
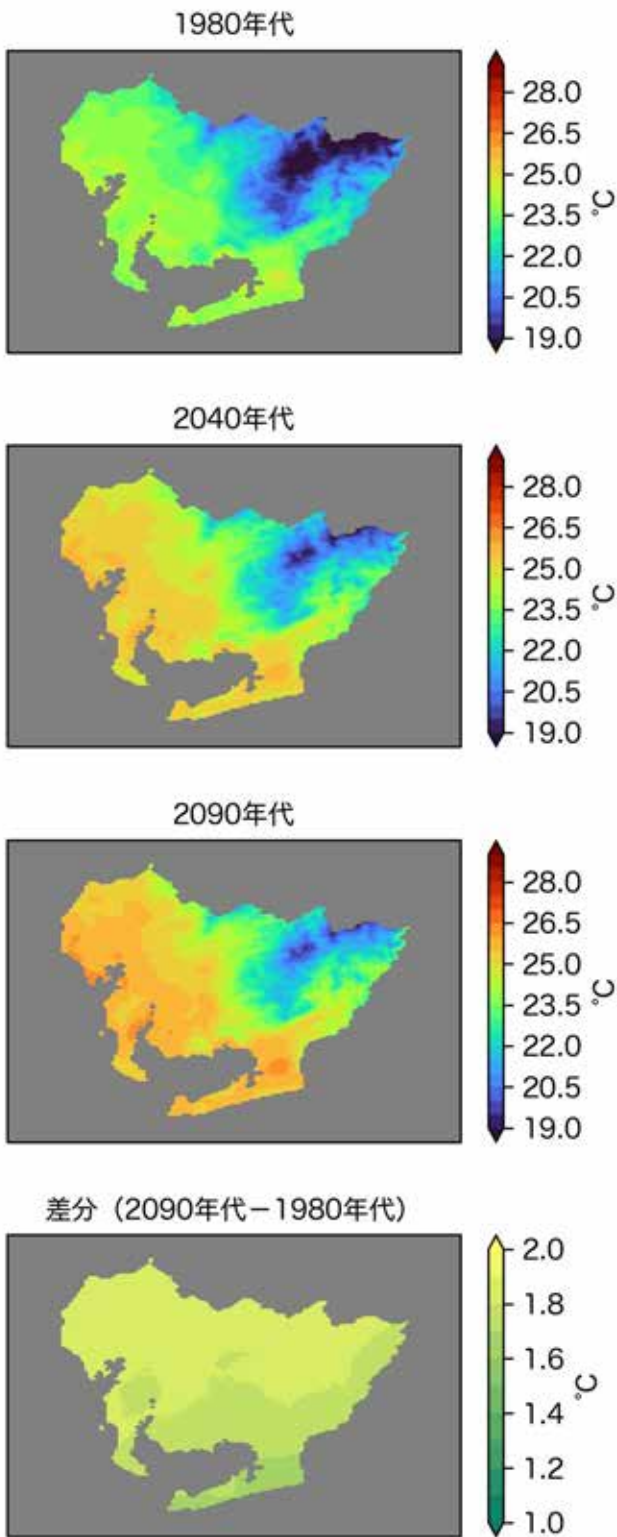


図 5-1 各年代における夏季の日平均気温

a) SSP1-2.6



b) SSP5-8.5

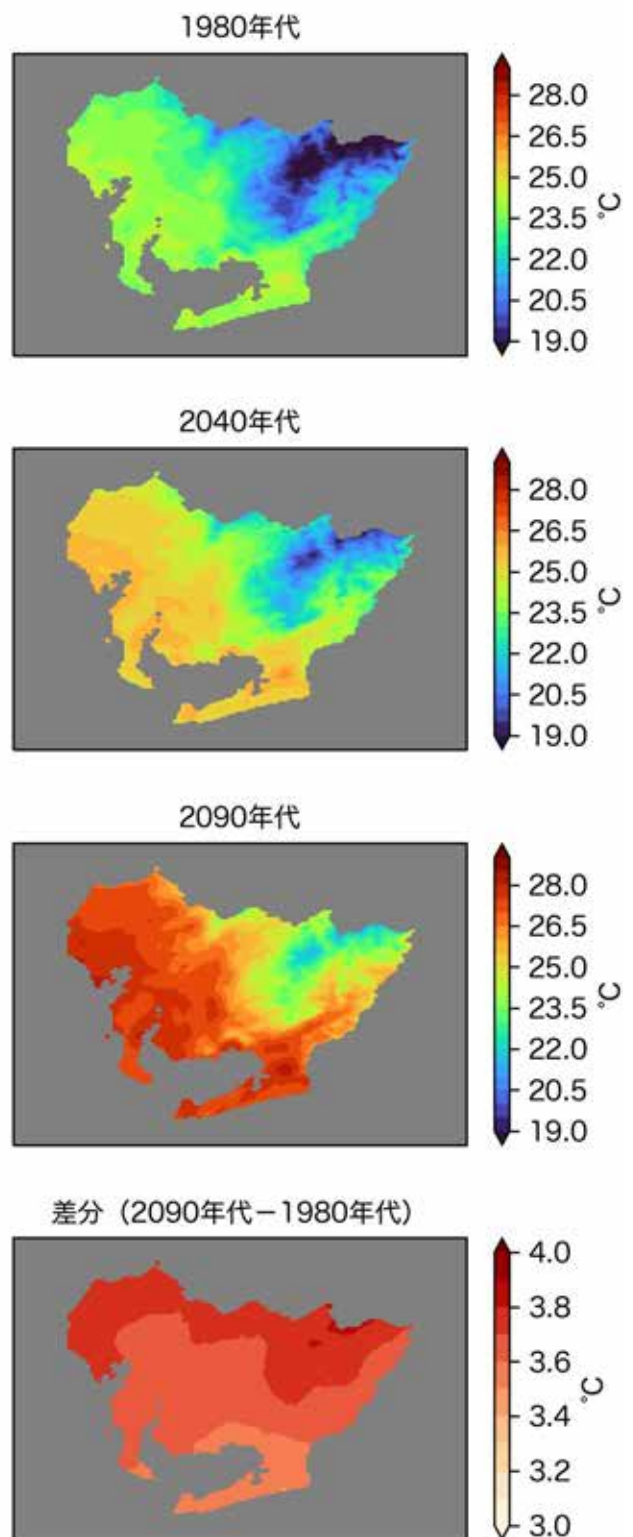
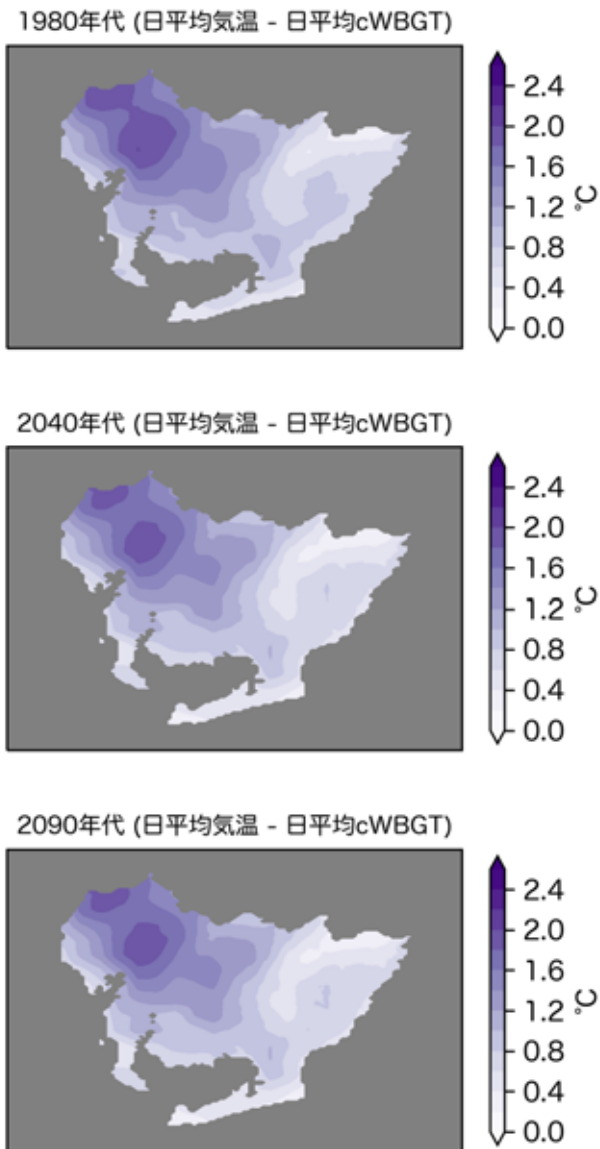


図 5-2 各年代における夏季の日平均 cWBGT

a) SSP1-2.6



b) SSP5-8.5

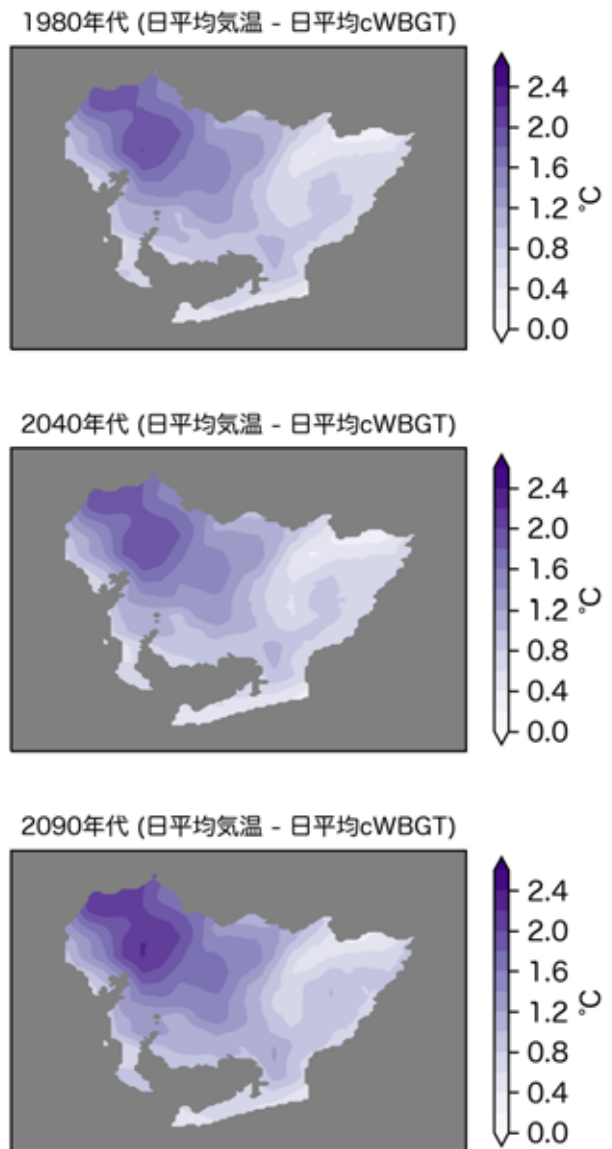
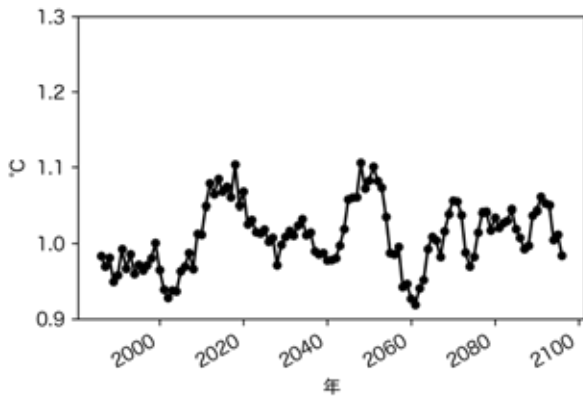


図6 各年代における夏季の日平均気温と日平均 cWBGT との差

a) SSP1-2.6



b) SSP5-8.5

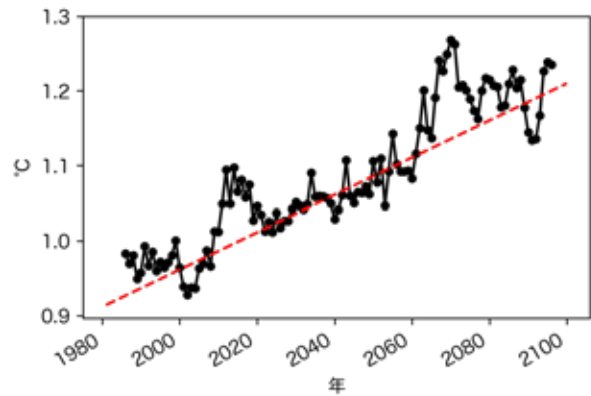


図7 夏季の日平均気温と日平均 cWBGT との差に係る経時変化



図6では各年代における日平均気温と日平均cWBGTとの差分について示す。両変数間の差分は、SSP1-2.6の場合、1980年代で最大2.0℃、最小0.2℃、県内平均で1.1℃、2090年代で最大1.9℃、最小0.2℃、県内平均で1.0℃であった。各年代ともに差分は三河山間部で小さく、次いで渥美半島や知多半島等の沿岸部で小さかった。この両変数間の差が小さいことから、三河山間部の気温が名古屋等と比較して相対的に低かったとしてもWBGTに関し注意が必要となるケースがありうる事が示唆される。SSP5-8.5の場合も同様に三河山間部で差が小さく、渥美半島や知多半島等が次いで小さかった。

変数間の差について、県内平均で経時変化を見ると図7のようになる。SSP1-2.6について、2050年代以降差の拡大が止まっているように見える。一方、SSP5-8.5においては、1980年から2099年の10年移動平均値でMann-Kendall検定を行った結果、県内で変数間の差は有意(p<0.05)に拡大することが分かった。このことは、日平均気温の上昇幅と比較して日平均WBGTの上昇幅が小さいことに起因している。変数間の差の原因を論じるためには、cWBGTの気温以外の構成要素である相対湿度や風速、全天日射量のそれぞれで県内の地域差を経年的に捉える必要があり、今後の課題と考える。

更に、熱中症に注意や警戒が必要な地理的領域がどのように拡大していくのかを確認するため、日最高cWBGTの経時変化について考える。

まず、名古屋地方気象台における2010～2021年の夏季の日平均WBGTと日最高WBGTとの関係を図8に示す。両者には強い相関関係が認められ、とりわけWBGTの値が高いときにはばらつきが低い傾向があった。回帰式は式(2)のとおりであった。

$$\text{日最高WBGT} = 1.05 \times \text{日平均WBGT} + 2.58 \quad (2)$$

この実データによる式(2)を用いて、日平均cWBGTから、日最高cWBGTを求めた。1980年代、2040年代、2090年代における夏季の日最高cWBGTの中央値について図9に示す。日常生活に関し、25℃未満は注意、25～28℃は警戒、28～31℃は嚴重警戒、31℃以上は危険とされる温度基準域である(附表3参照)<sup>23)</sup>。なお、配色については、環境省の熱中症予防情報サイト<sup>16)</sup>の「全国の暑さ指数(WBGT)」に倣った。その結果、SSP1-2.6の場合、1980年代と2040年代とを比較すると、28℃未満の区域が大きく面積を減らす一方で、28～31℃の区域が面積を増加させている。しかし、2040年代と2090年代とを比較すると、僅かに31℃以上の区域が出現しているものの概ね同じような図となっている。SSP5-8.5の場合、日最高cWBGT21～25℃の区域は年代を経るごとに消失している。25～28℃の区域は2040年代に拡大した後2090年代には縮小に転じているが、それと入れ替わるように31℃以上の範囲が2090年代に大きく広がっている。とりわけ平野部において日最高cWBGTが高い値をとる傾向が見られた。

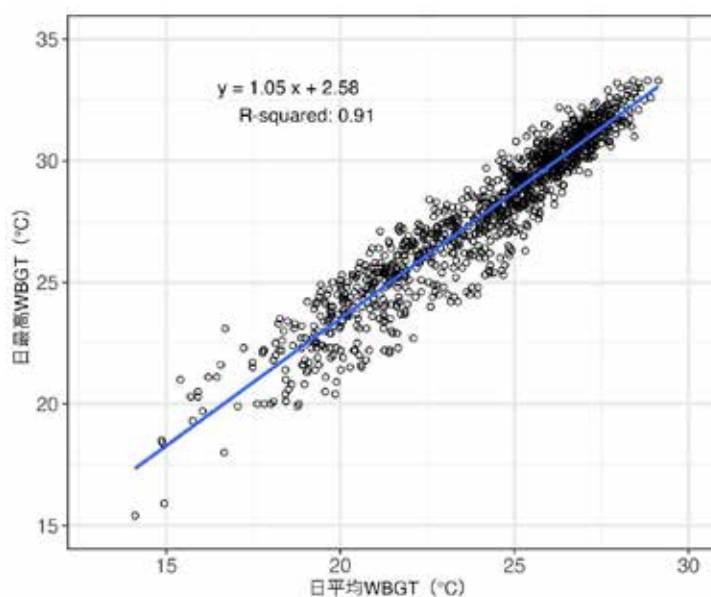
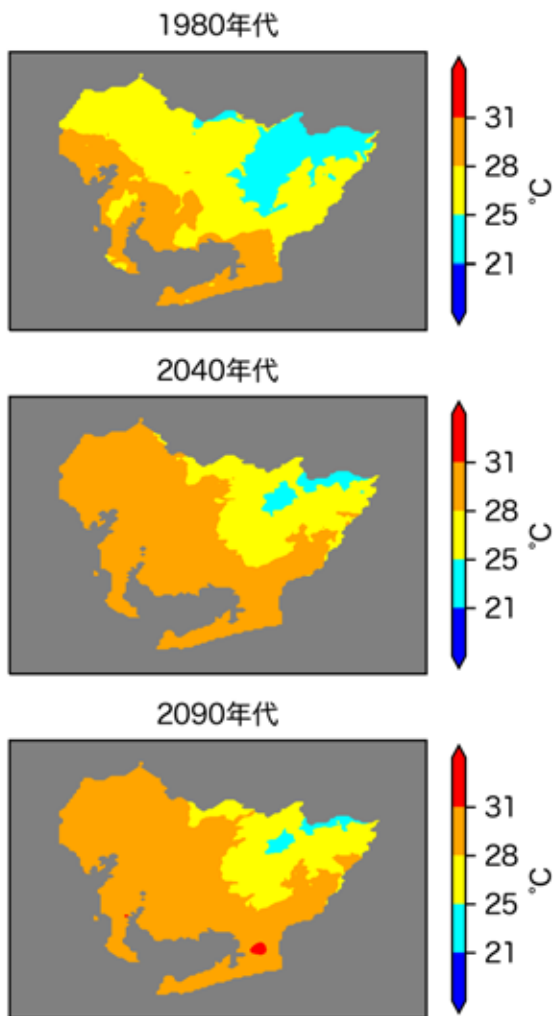


図8 日平均WBGTと日最高WBGTの関係

a)SSP1-2.6



b)SSP5-8.5

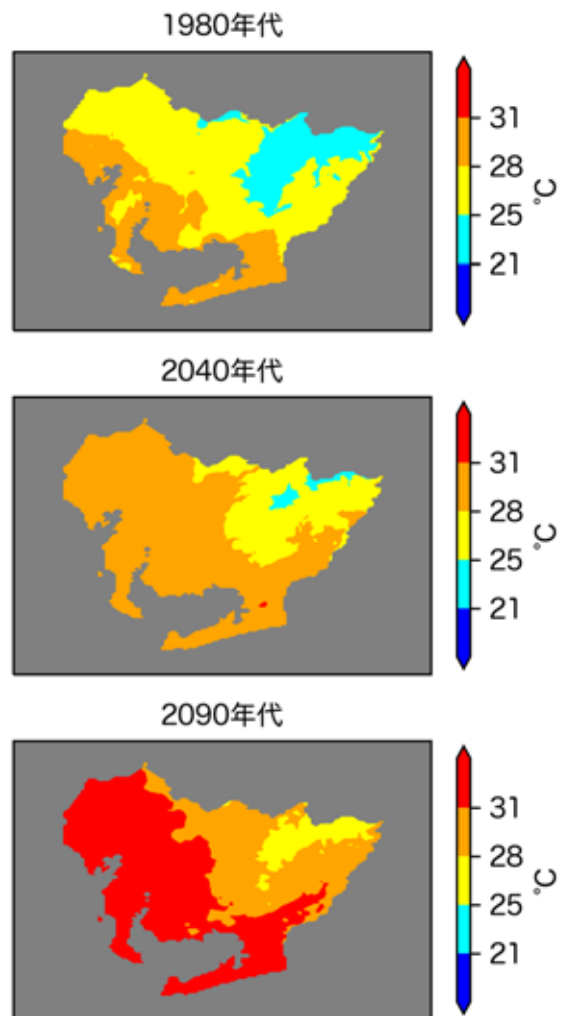


図9 各年代における夏季の日最高 cWBGT

#### 4 まとめと今後の課題

国立環境研究所WebページからCMIP6及びCMIP5における気候モデルMIROC6及びMIROC5の統計的ダウンスケーリングデータ(M6及びM5)を取得し、日平均の気温、相対湿度、風速の月平均値について、県内の大気汚染測定局における観測値との比較を行った。この結果、M6及びM5は観測された気象要素を概ね良く再現できていることが分かった。M6及びM5と観測値との間の誤差については、大気汚染測定局の位置や立地環境、観測値の報告期間を踏まえた解析を今後行い、議論する必要がある。

次に、M6及びM5の日平均の気温、相対湿度、風速、全天日射量を用いて計算した日平均cWBGTについて、環境省熱中症予防情報サイトから取得した県内アメダス11地点における日平均WBGTと比較を行った。この結果、M6及びM5ではともに、日平均cWBGTは日平均WBGTを概ね良く再現することが確認され、M6はM5と比較して、相関が僅かに強く、RMSEも僅かに小さかった。

M6の日平均気温について、各年代平均の夏季平均値の経時変化を解析した結果、2090年代の県内平均はSSP1-2.6では25.3℃、SSP5-8.5では27.4℃となった。県内を4地区に分割して考えると、名古屋市域が最も高く、次いで尾張地域(名古屋市域を除く)、知多地域・三

河地域沿岸地区が高い値で推移していた。シナリオによる差を見ると、SSP1-2.6では、2050年代以降に気温上昇が抑えられることが確認された。

同様に、日平均 cWBGT について経時変化を解析した結果、2090 年度の県内平均は SSP1-2.6 で 23.1℃、SSP5-8.5 で 25.0℃となった。名古屋市域が最も高く、知多地域・三河地域沿岸地区がこれと同程度の高さで、次いで尾張地域(名古屋市域を除く)が高かった。日平均気温と同様に、SSP1-2.6 では 2050 年代以降に日平均 cWBGT の上昇が抑えられることが確認された。

日平均気温と日平均 cWBGT との差を計算し、県内を面的に概観すると、特に三河山間部は他の地域と比べ差が小さい。すなわち、三河山間部は相対的に気温が低い地域ではあるものの cWBGT では他地域との差が小さい。cWBGT として暑熱環境を捉える上では、気温以外の構成要素である相対湿度、風速、全天日射量のそれぞれについても、過去から将来で県内においてどのように変化しているのか、今後詳細に解析する必要がある。

また、日最高 cWBGT について、SSP1-2.6 では 2040 年代と 2090 年代を比較したときの変化は小さかった。SSP5-8.5 では 2040 年代から 2090 年代にかけて平野部を中心に中央値が 31℃以上となる区域が拡大していた。

今後の課題として、次のようなことが考えられる。まず、熱中症対策の観点から、夏季平均だけでなく、特に県内で暑熱環境が厳しい月日に限定した解析も必要と考えられ、今後は気象庁等の過去の気象観測結果の解析も交え、特定の期間ごとの解析も行いながら、県内の暑熱環境の解析を行うことが考えられる。また、気温の日平均値だけでなく日最高値や日最低値を用いた解析や、日別値を用いた各月の真夏日、猛暑日、熱帯夜の日数についても解析を行い、より詳細に県内の気候変動に伴う暑熱環境の変化を解析することが考えられる。

更に、MIROC 以外の気候モデルの統計的ダウンスケーリングデータも活用して、気候モデル間の差を踏まえた解析に取り組むことも考えられる。

解析を全国スケールでも行うことで、本県の気温や cWBGT と比較を行い、気候変動による暑熱環境の変化について本県の特徴を抽出し、今後の適応策検討に活用できる情報の収集、整理、解析することも考えられる。

## 謝 辞

本研究の動機となった、気候変動影響及び適応に関する意識調査に回答くださった県民の皆様に感謝いたします。

また、国立環境研究所気候変動適応センターの岡和孝主幹研究員には、これまでも本県気候変動適応検討会の委員としてひとかたならぬ御尽力をいただいていたところですが、本報の内容についても御指導をいただき、大変お世話になりました。

また、本研究で使用した気候・暑熱関連データを公開している国立環境研究所、環境省、気象庁、国土交通省、名古屋市、岡崎市の皆様や、解析で活用したプログラミング環境(Python 等)の開発者の皆様に感謝いたします。

## 文 献

- 1) 文部科学省、気象庁 気候予測データセット 2022 解説書、1-39 (2022)
- 2) 全国地球温暖化防止活動推進センター 将来予測の「SSP シナリオ」とは、  
<https://www.jccca.org/global-warming/trend-world/ipcc6-ssp> (2024.2.9)
- 3) 東京管区気象台 気候変化レポート 2018—関東甲信・北陸・東海地方—、120-125 (2019)
- 4) 牧原絵里 愛知県気候変動適応センターについて、愛知県環境調査センター所報、48、11-17 (2020)
- 5) 石崎紀子 CMIP6 をベースにした CDFM 手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ、Ver. 1.1、国立環境研究所 doi:10.17595/20210501.001. (2022) (2022.9.1)
- 6) 石崎紀子 CMIP5 をベースにした CDFM 手法による日本域バイアス補正気候シナリオデータ、Ver. 202005、国立環境研究所 地球環境研究センター、doi:10.17595/20200415.001. (2021) (2022.9.1)
- 7) 環境省、文部科学省、農林水産省、国土交通省、気象庁 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～、24-26 (2018)
- 8) MIROC6 AGCM Document Writing Team Description of MIROC6 AGCM, CCSR Report 65, Division of Climate System Research, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <https://doi.org/10.15083/0002000180> (2021)
- 9) Masahiro Watanabe, Tatsuo Suzuki, Ryouta O'ishi, Yoshiki Komuro, Shingo Watanabe, Seita Emori, Toshihiko Takemura, Minoru Chikira, Tomoo Ogura, Miho Sekiguchi, Kumiko Takata, Dai Yamazaki, Tokuta Yokohata, Toru Nozawa, Hiroyasu Hasumi,

- Hiroaki Tatebe and Masahide Kimoto Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity, *J. Climate*, **23**, 6312-6335, doi:10.1175/2010JCLI3679.1 (2010)
- 10) 大野宏之, 佐々木華織, 大原源二, 中園 江 実 況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ 気温・降水量データの作成, *生物と気象*, **16**, 71-79 (2016)
- 11) Noriko N Ishizaki, Hideo Shiogama, Naota Hanasaki, and Kiyoshi Takahashi Development of CMIP6-based climate scenarios for Japan using statistical method and their applicability to heat-related impact studies, doi:10.1029/2022EA002451 (2022)
- 12) Hiroaki Tatebe, Tomoo Ogura, Tomoko Nitta, Yoshiki Komuro, Koji Ogochi, Toshihiko Takemura, Kengo Sudo, Miho Sekiguchi, Manabu Abe, Fuyuki Saito, Minoru Chikira, Shingo Watanabe, Masato Mori, Nagio Hirota, Yoshio Kawatani, Takashi Mochizuki, Kei Yoshimura, Kumiko Takata, Ryouta O'ishi, Dai Yamazaki, Tatsuo Suzuki, Masao Kurogi, Takahiko Kataoka, Masahiro Watanabe, and Masahide Kimoto Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6, *Geosci. Model Dev.*, **12**, 2727-2765, doi:10.5194/gmd-12-2727-2019 (2019)
- 13) 愛知県環境局環境政策部水大気環境課 愛知県大気環境情報, <http://taiki-kankyo-aichi.jp/kanshi/download/index.html> (2024. 2. 9)
- 14) 名古屋地方气象台 愛知県内の気象観測所, [https://www.data.jma.go.jp/nagoya/shosai/info/amedas\\_map.html](https://www.data.jma.go.jp/nagoya/shosai/info/amedas_map.html) (2024. 2. 9)
- 15) 環境省水大気環境局長 「大気汚染防止法第 22 条の規定に基づく大気の汚染の状況の常時監視に関する事務の処理基準について」及び「ダイオキシン類対策特別措置法第 26 条の規定に基づく大気のダイオキシン類による汚染の状況の常時監視に関する事務の処理基準について」の一部改正について (令和 4 年 3 月 31 日付け環水大総発第 2203302 号, 環水大大発第 2203306 号, 環水大自発第 2203303 号) 別添 1, 3
- 16) 環境省 熱中症予防情報サイト, <https://www.wbgt.env.go.jp/> (2024. 2. 9)
- 17) 小野雅司, 登内道彦 通常観測気象要素を用いた WBGT(湿球黒球温度)の推定, *日生氣誌*, **50**(4), 147-157, doi:10.11227/seikisho.50.147 (2014)
- 18) 気象庁 時に関する用語, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/toki.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/toki.html) (2024. 2. 9)
- 19) 小島徳久, 松田涼樹 愛知県気候変動適応センター 2021 年度の取組, 愛知県環境調査センター所報, **50**, 43-56 (2022)
- 20) 国土交通省 国土数値情報ダウンロードサイト, [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3\\_1.html#prefecture23](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_1.html#prefecture23) (2024. 2. 9)
- 21) 国土交通省国土地理院 令和 4 年全国都道府県市区町村別面積調(10 月 1 日時点), <https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/backnumber/GSI-menseki20221001.pdf> (2024. 2. 9)
- 22) 愛知県気候変動適応センター(愛知県環境調査センター企画情報部) 令和 3 年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託業務—成果報告— (2022), <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/445490.pdf> (2024. 2. 9)
- 23) 日本生気象学会 「日常生活における熱中症予防指針」Ver. 4 (2022), <https://seikishou.jp/cms/wp-content/uploads/20220523-v4.pdf> (2024. 2. 9)

附表1 使用した全球気候モデルの統計的ダウンスケーリングデータの概要

	CMIP5 をベースにした CDFDM 手法による 日本域バイアス補正気候シナリオデータ	CMIP6 をベースにした CDFDM 手法による 日本域バイアス補正気候シナリオデータ
公開日	2019年9月1日	2021年5月1日
提供期間	1900年1月1日から2100年12月31日まで	
提供機関	国立研究開発法人国立環境研究所	
DOI	10.17595/20200415.001	10.17595/20210501.001
ファイル形式	netCDF4	
データ容量	約800GiB	約1.8TB
バージョン	Ver.202005	Ver.1.1
データ項目	日最低・最高・平均気温(°C), 降水量 (mm/day), 全天日射量(MJ/m <sup>2</sup> /day), 風速 (m/s), 相対湿度(%)	日最低・最高・平均気温(°C), 降水量(mm/day), 全天日射量(MJ/m <sup>2</sup> /day), 風速(m/s), 相対湿度 (%), 下向き長波放射量(MJ/m <sup>2</sup> /day)
領域	日本(東経122° から146° まで, 北緯24° から46° まで, 陸上のみ)	
時間分解能	1日	
空間分解能	1 × 1 km	
気候モデル	MIROC5, MRI-CGCM3, HadGEM2-ES, GFDL-CM3	MIROC6, MRI-ESM2-0, ACCESS-CM2, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR
過去再現実験及び 排出シナリオ	過去: historical 将来: RCP2.6, RCP8.5	過去: historical 将来: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5

注) 国立環境研究所 Web ページ<sup>5, 6)</sup>を基に作成した。

附表2-1 M6により推計した夏季における年代、地域別の日平均気温

年代	日平均気温(°C)				
	名古屋市域	尾張地域(名古屋 市域を除く)	知多地域・三河地 域沿岸地区	三河地域内陸地 区	県内平均
1980年代	25.5 [25.5]	24.9 [24.9]	24.7 [24.7]	22.2 [22.2]	23.6 [23.6]
1990年代	25.5 [25.5]	24.9 [24.9]	24.6 [24.6]	22.2 [22.2]	23.6 [23.6]
2000年代	25.4 [25.4]	24.8 [24.8]	24.5 [24.5]	22.1 [22.1]	23.5 [23.5]
2010年代	26.2 [26.2]	25.6 [25.6]	25.3 [25.3]	22.9 [22.9]	24.3 [24.3]
2020年代	26.3 [26.2]	25.7 [25.6]	25.4 [25.2]	23.0 [22.9]	24.4 [24.3]
2030年代	26.7 [27.1]	26.2 [26.5]	25.8 [26.2]	23.4 [23.8]	24.8 [25.2]
2040年代	26.8 [27.1]	26.3 [26.5]	25.9 [26.1]	23.5 [23.7]	24.9 [25.1]
2050年代	27.5 [27.3]	26.9 [26.7]	26.5 [26.4]	24.1 [24.0]	25.5 [25.4]
2060年代	27.2 [28.0]	26.7 [27.4]	26.2 [27.1]	23.9 [24.7]	25.3 [26.1]
2070年代	27.2 [28.8]	26.7 [28.2]	26.2 [27.8]	23.9 [25.4]	25.3 [26.8]
2080年代	27.4 [28.8]	26.8 [28.2]	26.4 [27.8]	24.0 [25.5]	25.4 [26.9]
2090年代	27.2 [29.4]	26.7 [28.8]	26.3 [28.4]	23.9 [26.0]	25.3 [27.4]

注) [ ]外が SSP1-2.6 を, [ ]内は SSP5-8.5 を示す。

附表 2-2 M6 により推計した年代、地域別の日平均 cWBGT

年代	日平均 cWBGT (°C)				
	名古屋市域	尾張地域(名古屋市域を除く)	知多地域・三河地域沿岸地区	三河地域内陸地区	県内平均
1980 年代	23.8 [23.8]	23.4 [23.4]	23.8 [23.8]	21.3 [21.3]	22.5 [22.5]
1990 年代	23.9 [23.9]	23.5 [23.5]	23.8 [23.8]	21.4 [21.4]	22.6 [22.6]
2000 年代	23.8 [23.8]	23.4 [23.4]	23.7 [23.7]	21.3 [21.3]	22.5 [22.5]
2010 年代	24.6 [24.6]	24.2 [24.2]	24.5 [24.5]	22.1 [22.1]	23.3 [23.3]
2020 年代	24.6 [24.5]	24.2 [24.1]	24.5 [24.4]	22.1 [22.0]	23.3 [23.2]
2030 年代	25.1 [25.4]	24.7 [25.0]	25.0 [25.4]	22.6 [22.9]	23.8 [24.2]
2040 年代	25.2 [25.3]	24.8 [25.0]	25.1 [25.3]	22.7 [22.8]	23.9 [24.1]
2050 年代	25.7 [25.6]	25.3 [25.2]	25.6 [25.5]	23.2 [23.1]	24.4 [24.3]
2060 年代	25.6 [26.2]	25.2 [25.9]	25.4 [26.2]	23.0 [23.7]	24.3 [25.0]
2070 年代	25.6 [26.8]	25.2 [26.4]	25.5 [26.7]	23.0 [24.3]	24.3 [25.6]
2080 年代	25.7 [26.9]	25.3 [26.6]	25.6 [26.9]	23.2 [24.5]	24.4 [25.7]
2090 年代	25.6 [27.4]	25.2 [27.1]	25.5 [27.4]	23.1 [25.0]	24.3 [26.2]

注) [ ]外が SSP1-2.6 を, [ ]内は SSP5-8.5 を示す.

附表 2 別表 地域の区割り

地域	名古屋市域	尾張地域(名古屋市域を除く)	知多地域・三河地域沿岸地区	三河地域内陸地区
市町村名	名古屋市	一宮市, 瀬戸市, 春日井市, 犬山市, 江南市, 小牧市, 稲沢市, 尾張旭市, 岩倉市, 豊明市, 日進市, 清須市, 北名古屋市, 長久手市, 東郷町, 豊山町, 大口町, 扶桑町, 津島市, 愛西市, 弥富市, あま市, 大治町, 蟹江町, 飛島村, みよし市	半田市, 常滑市, 東海市, 大府市, 知多市, 阿久比町, 東浦町, 南知多町, 美浜町, 武豊町, 碧南市, 刈谷市, 安城市, 知立市, 高浜市, 豊橋市, 豊川市, 西尾市, 蒲郡市, 田原市	岡崎市, 豊田市, 幸田町, 新城市, 設楽町, 東栄町, 豊根村

附表 3 日常生活における熱中症予防指針<sup>23)</sup>

WBGT による温度基準域	注意すべき生活活動の目安	注意事項
危険 31°C以上	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
嚴重警戒 28°C以上 31°C未満		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 25°C以上 28°C未満	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。
注意 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