

5.5 市内気温の将来予測(2°C上昇及び4°C上昇の事例)

(1) 概要

地球温暖化など気候変動に起因する気象・気候現象に向けた対策に取り組んでいくためには、地域の特性を踏まえた詳細な情報が必要となる。そこで、本章では、解像度 320m まで高めた数値シミュレーションにより得られた横浜市内の気温について、現在気候時と将来気候時の比較解析を行った結果を述べる。

その結果、現在・将来の気温及び現在から将来への気温上昇量は、海風と緑地による影響により市内でも地域差があり、海風と緑地による影響を強く受ける地域は、弱い地域より「将来の気温」が高温となりやすく、「現在から将来への気温上昇量」は小さくなっており、温暖化した将来でも海風や緑地が引き続き重要となることが分かった。

(2) 背景と目的

18 世紀中頃の産業革命以降、人間活動による温室効果ガス濃度の増加に伴い、現在の世界の年平均気温は産業革命以前に比べて上昇傾向にあるとされており、IPCC の第6次評価報告書には「1850～1900 年から 2010～2019 年までの人為的な世界平均気温上昇の可能性が高い範囲は 0.8°C～1.3°Cであり、最良推定値は 1.07°Cである。」と記載されている¹⁾。

今後さらに地球温暖化が進行した場合、将来の 21 世紀末の世界平均気温の上昇値は、今後の地球温暖化対策の取組状況に大きく依存し、IPCC 報告書には複数のシナリオに対応する状態があると報告されている。^{1,2)}

さらにその気温上昇量に関しては、「世界中で均一に上昇するわけではなく、地域性をもって上昇する」³⁾とされているため、今後の気候変動影響に向けた対策に取り組むには、地域の特性を踏まえたきめ細やかな情報が必要と考えられる。

そこで、横浜を含む神奈川県東部を対象領域として、解像度 320m まで高めた類を見ない詳細な数値シミュレーションを現在気候と将来気候に対し実施し気温等の解析情報を得ることと、その得られた解析情報を市民・事業者の皆様に発信することにより、地球温暖化対策への普及啓発につなげる事を目的として、本課題を実施した。

(3) 方法

ア 将来予測の概要

地球温暖化により、産業革命以前に比べて世界平均気温が2°C上昇又は4°C上昇した場合(以下、「2°C上昇した場合」「4°C上昇した場合」)において、横浜市内の現在の夏季の平均気温がどの程度上昇するかを数値シミュレーションから求め、地域の特性を定量的に評価した。概念図について図5-5-1に示す。

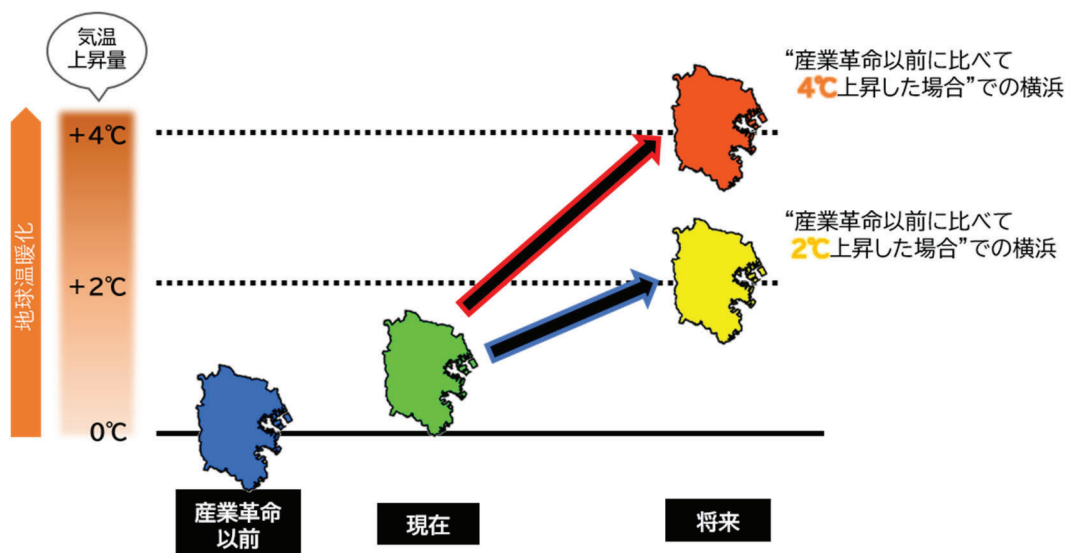


図 5-5-1 将来予測テーマの概念図

ここで、各用語の説明は以下の通りである。

(ア) 地球温暖化における気温上昇量

産業革命以前（世界的な観測が行われるようになった 1850 年から 1900 年を基準とする）と比べた世界平均気温の上昇量のことを指す。

(イ) 産業革命以前に比べて4°C上昇した場合

追加的な緩和策（温室効果ガスの排出削減など）を取らなかった世界で起こりうる気候の状態に相当し、産業革命以前と比べて、世界の平均気温の上昇量が約4°Cに達する状態に相当するが、具体的には、RCP8.5 シナリオにおける21世紀末（2090 年の外部強制因子）の状態である。

(ウ) 産業革命以前に比べて2°C上昇した場合

パリ協定^{※1}の「2°C目標」^{※2}の状況に達した世界で起こりうる気候の状態に相当するが、具体的には、RCP8.5 シナリオにおいて世界の平均気温の上昇量が約2°Cに達する時期（2040 年の外部強制因子）の状態である。

イ 数値シミュレーションの計算手法

現在気候と将来気候の数値シミュレーションを実施した。

(ア) 現在気候

対象年月は 2010 年～2019 年の 10 年間の各年8月とした（スピニアップは7月15日より開始）。対象地域を神奈川県東部を主とし、多段階のネスト手法を用いた力学的ダウンスケーリングにより実施した。3.2章の数値計算モデルのうち、気象シミュレーションを使用した。初期・境界条件は、気象庁のメソ数値予報モデル GPV (MSM) と海面水温データ SST (MGDSST) を用い、ECMWF オゾン量、NCEP 土壌などの気候値、地理院土地利用データを用いた。

(イ) 将来気候

将来気候は、擬似温暖化実験手法を用いて計算した。擬似温暖化データの作成（擬似温暖化実験手法）手順のイメージについて図5-5-2 に、シミュレーション全体像のイメージについて図5-5-3 に示す。温暖化差分量の算出には、文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)」で

作成されたデータセット「大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ（東北から九州）（SI-CAT DDS5TK）」を用いた。

DDS5TK データセットは、現在気候（過去実験とも呼ばれる）と、将来気候（2℃または4℃上昇実験とも呼ばれる）のそれぞれに対し、372年分のデータより構成されている。これら3つのデータセットの8月の平均気温差を温暖化差分量とした。例えば、2℃上昇実験と過去実験の平均気温差が2℃上昇した場合の温暖化差分量である。

この温暖化差分量を現在気候の GPV データ、SST データに加算することで、初期・境界条件とし、現在気候と同じく、多段階のネスト手法を用いた力学的ダウンスケーリングにより実施した。

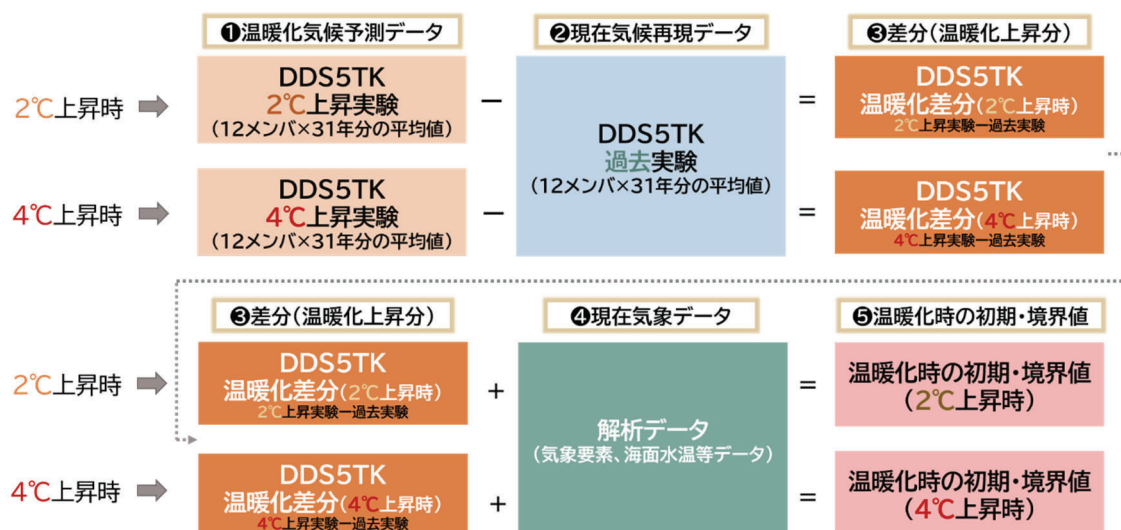


図5-5-2 擬似温暖化データの作成（擬似温暖化実験手法）手順のイメージ

温暖化気候予測データ（2℃または4℃上昇実験・①）と現在気候再現データ（過去実験・②）との差分（温暖化上昇分）（温暖化差分・③）を算出し、それに現在気象データ（解析データ・④）を加え、温暖化時の初期・境界値（⑤）をそれぞれ作成した。

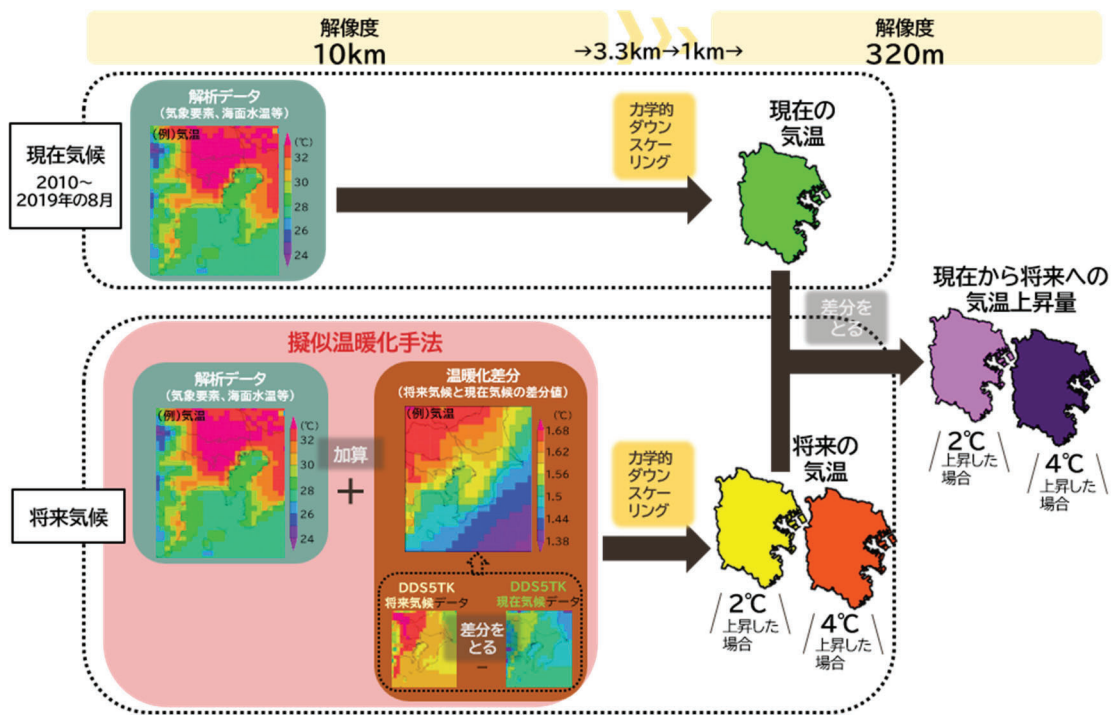


図5-5-3 シミュレーション全体像のイメージ

(4) 結果

解析結果を示すにあたり、現在とは「現在気候」を指し、将来とは「将来気候」を指す。また、気温とは、主に「地上2m高さ気温」を指す。

また、解析に用いた日は、8月のうち、横浜市内において降水がなかった日（日降水量が1.0mm未満の日）のみを用いた。これは、降水による気温低下を除外するためである。農業への影響など低温日を考察する場合は、別途解析が必要であるが、ここでは述べない。

ア 平均気温分布

現在と将来における横浜市内の平均気温を図5-5-4に示す。また、将来の平均気温から現在の平均気温を差し引いたものが、現在から将来への気温上昇量である。

左から順に「現在の気温」、「現在から将来への気温上昇量」、「将来の気温」になっており、上段は「4°C上昇した場合」、下段は「2°C上昇した場合」である。現在・将来の気温、現在から将来への気温上昇量のいずれも、市内で地域差が見られた。この結果は、320mという高解像度計算によるところが大きい。

「2℃上昇した場合」「4℃上昇した場合」での、横浜市内の8月の平均気温*

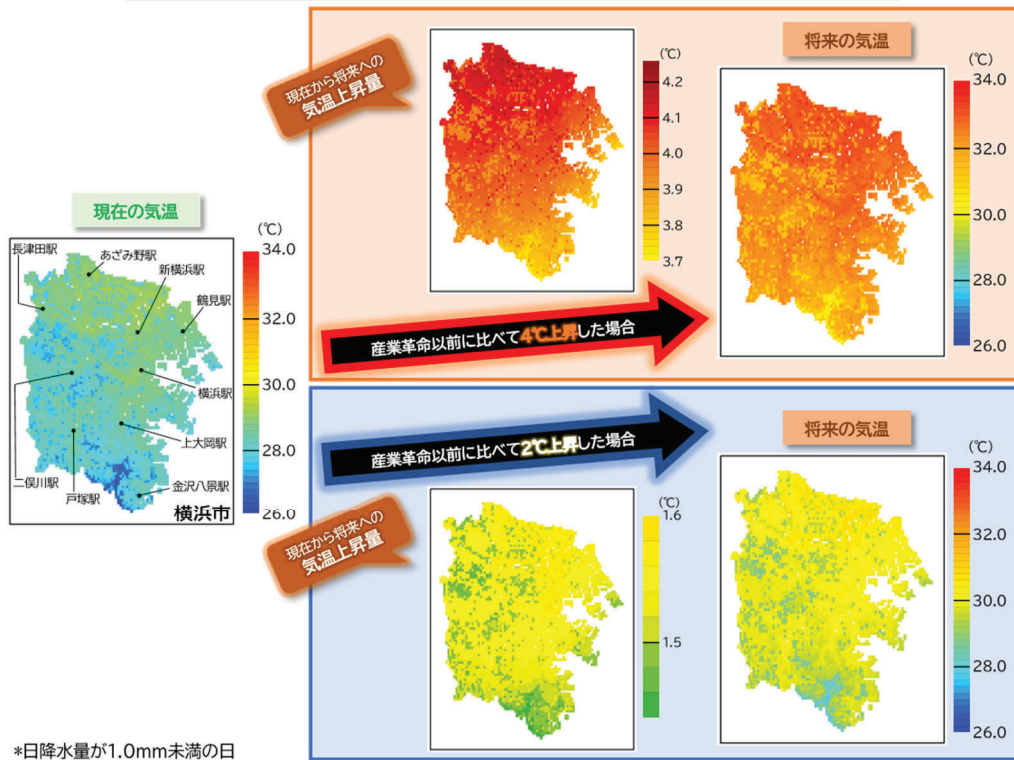


図5-5-4 横浜市内の8月の無降水日における現在・将来の平均気温及び
現在から将来への気温上昇量

将来の平均気温に関して、「2℃上昇した場合」と「4℃上昇した場合」のいずれも次の傾向が共通していた。

- ・高温傾向となったのは、市内の東部（東京湾沿岸部を除く）や北部であった。
- ・海風（海方向から吹く風）の影響を強く受ける地域（市内の南部や東京湾沿岸部等）では、高温となりにくい傾向であった。
- ・緑地（主に市内の南部や西部に位置）では、周囲と比べて高温となりにくい傾向であった。

現在から将来への気温上昇量に関して、以下の結果が得られた。

- ・市内における現在から将来への気温上昇量は、「2℃上昇した場合」は約 1.4～1.6℃、「4℃上昇した場合」は約 3.7～4.3℃と、地域によって差があった。
- ・海風と緑地による影響を強く受ける地域では、弱い地域と比べて、現在から将来への気温上昇量が小さくなっていた。

なお、ここで述べる海風については以下となる。

横浜市内に夏季に海方向から吹く風の発生機構は様々あり、例えば太平洋側から日本海側へ吹き渡るような広域的な風や、晴れた日の日中に生じる局地的な海から陸へ吹く海風などがある。前者は気圧配置に依存する一方で、後者は明瞭な海風前線^{※3}が形成されやすく海風の効果を確認しやすい特徴を有する。また、「日中に局地的に吹く海風^{※4}」の場合、横浜市は、南側に相模湾が近く、東側には東京湾

に面しているため、その2つの湾からの海風が市内へ進入しやすい傾向がある。進入イメージについては図5-5-5に示す。



図5-5-5 海風の進入イメージ

さらに市内へと2方向から進入した海風は、時間経過により徐々に内陸へ進行していく。その結果、市内全域に海風は進入するが、地域によって海風の進入状況には違い^{※5}が生まれる。その原因には、海風の到達時間が海岸線からの距離に依存することのほかにも、東京湾からの海風と相模湾からの海風の性質が異なるため到達範囲に差異があることなどが挙げられる。

また、シミュレーションにおける市内の緑地分布を図5-5-6に示す。

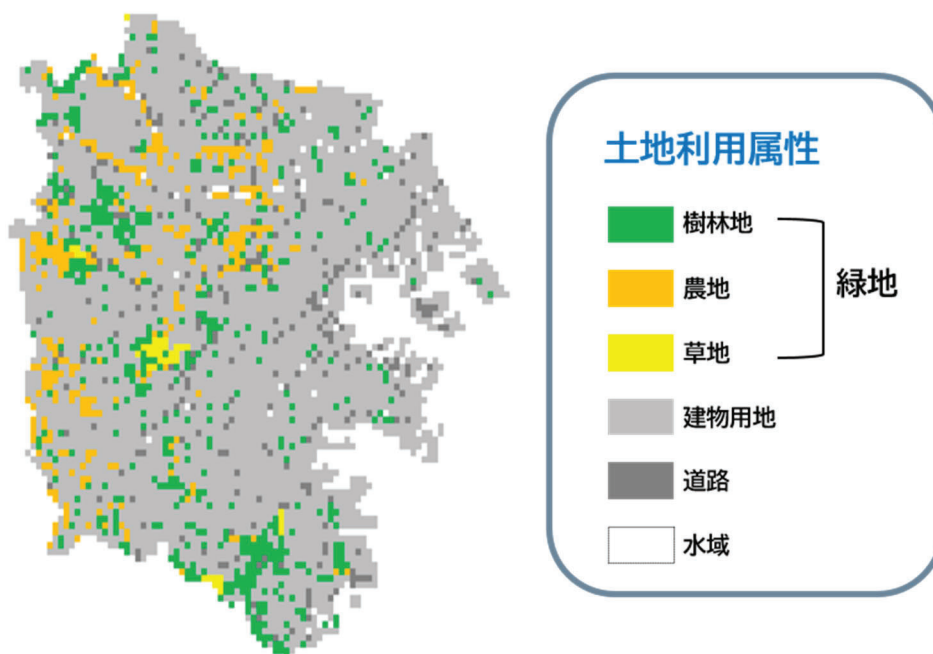


図5-5-6 シミュレーションにおける市内の緑地分布

イ 海風の効果(相模湾方向からの海風における「海風が到達している地域」と「海風が到達していない地域」との比較結果)について

上記(4)アのとおり、現在・将来の気温及び現在から将来への気温上昇量には、海風と緑地による効果があることが確認された。その影響範囲に関して、緑地による効果は緑地がある場所に見られているのに対して、海風による効果は市内の広い範囲に影響が現れていることが図5-5-4より確認された。そこで、海風の進入により暑さを和らげる効果について詳細に解析した結果を述べる。

(ア) 解析条件について

上記(4)アを踏まえ、本解析では「日中に局地的に吹く海風」が吹いている日を対象に、現在・将来の気温、現在から将来への気温上昇量について、特に相模湾からの海風における海風前線を境にして、「海風が到達している地域」と「到達していない地域」間で比較した。

10年分の現在気候と将来気候シミュレーション結果から、市内において相模湾からと東京湾からの2方向から局地的な海風が吹く日(日中に局地的に海風が吹く日)を全て抽出した。さらに、東京湾からの海風の影響範囲を確認して、東京湾からの海風が到達しない経度を解析対象とした。その解析対象地域について、図5-5-7に示す。なお、解析対象の経度(黒線位置)における横浜市域は海岸線からの距離が5~28kmに相当する。

黒線上に沿った地域について、海岸線から内陸への距離が10kmの位置に相模湾からの海風前線が到達した時刻の気温分布を並べ、その平均気温を海岸線からの距離に対して求めた。

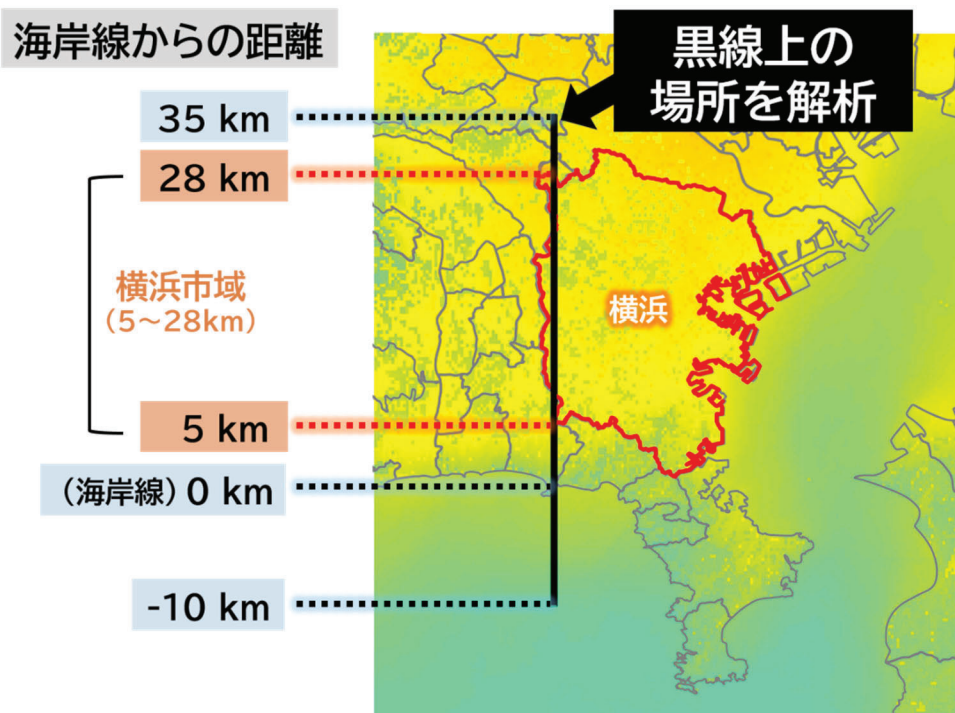


図5-5-7 解析対象地域

(イ) 解析結果について

現在と将来の気温について、海風が到達している地域と到達していない地域を比較した結果を図5-5-8に示す。

海風が到達している地域(海岸線からの距離が10kmよりも沿岸側)は、海風が到達していない

地域（海岸線からの距離が10 kmよりも内陸側）よりも気温が低くなっている。この現象は現在と将来で共通しており、海風には日中の気温上昇を抑制する効果があり暑さを和らげていることが確認できる。

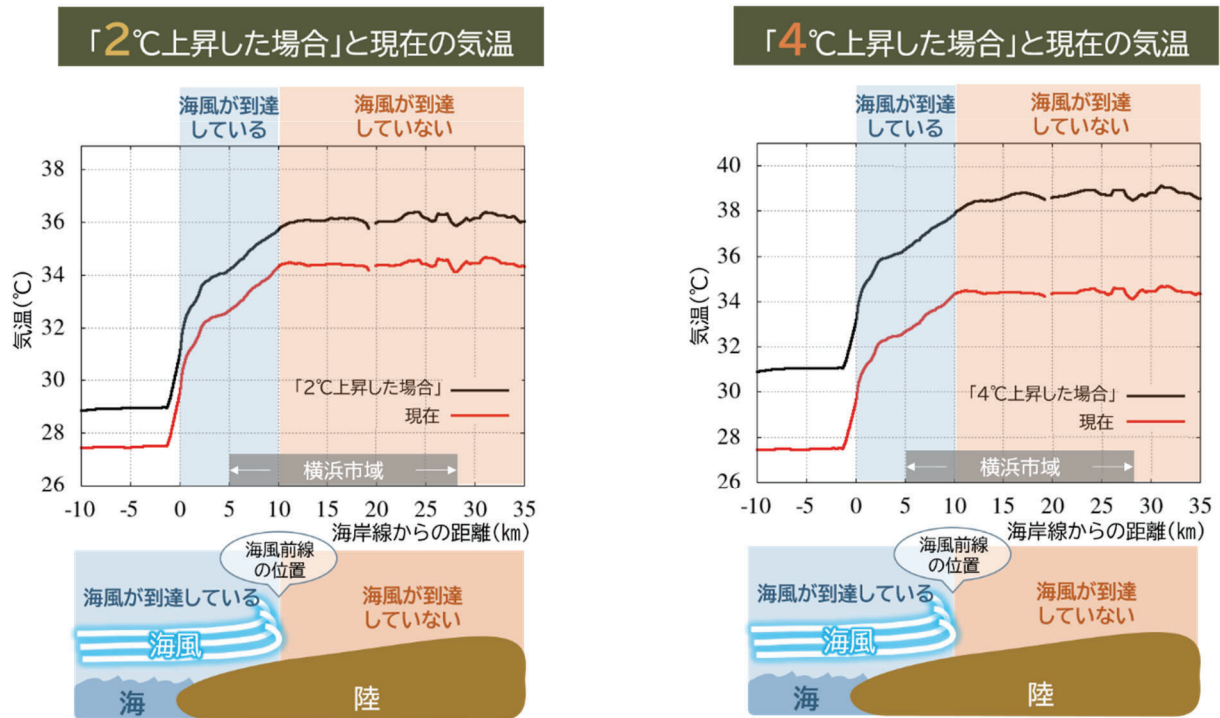


図5-5-8 日中の気温上昇抑制効果における海風が到達している地域と到達していない地域との比較

次に、現在から将来への気温上昇量について、海風が到達している地域と到達していない地域の平均値を比較した結果を図5-5-9に示す。海風が到達している地域（海岸線からの距離が1～9km）は、海風が到達していない地域（海岸線からの距離が15～23 km）よりも現在から将来への気温上昇量は小さく、この傾向は「2°C上昇した場合」と「4°C上昇した場合」で共通している。

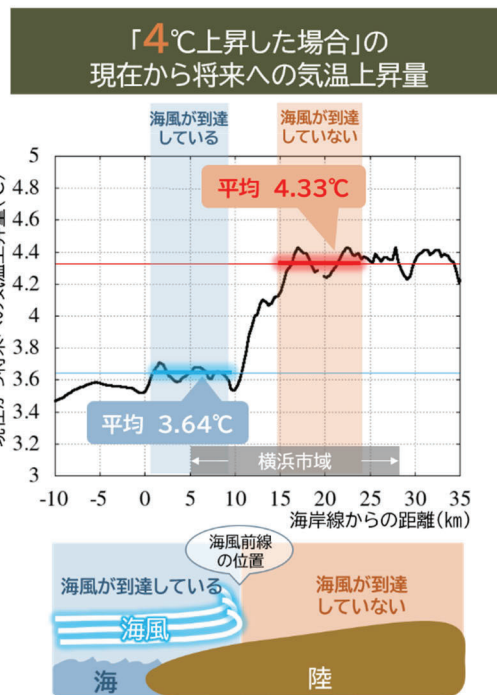
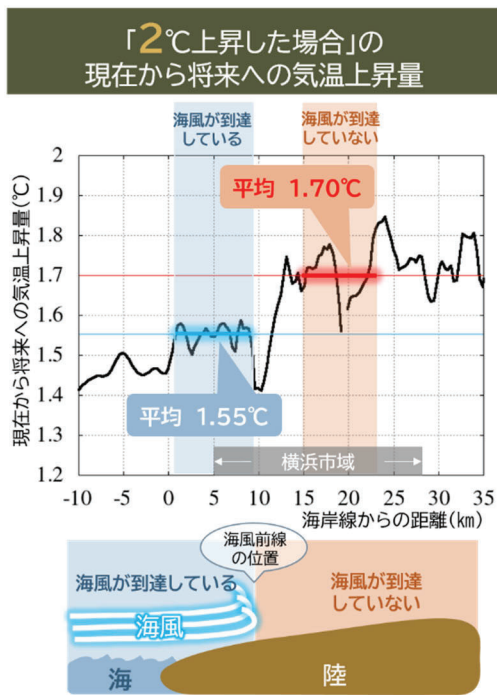


図5-5-9 現在から将来への気温上昇量における海風が到達している地域と到達していない地域との比較①

次に、現在から将来への気温上昇量についての発生頻度分布について、海風が到達した地域と到達していない地域との比較結果を図5-5-10に示す。海風が到達している地域（海岸線からの距離1～9 km）と、到達していない地域（海岸線からの距離15～23 km）の気温上昇量分布には、統計的に有意な差（有意水準 $P < 0.05$ ）が確認された。さらに、海風が到達している地域の対象範囲を横浜市域（海岸線からの距離5～9 km）に限定して、到達していない地域（海岸線からの距離15～23 km）と比較した場合にも統計的に有意な差が確認された。以上の傾向は、「2°C上昇した場合」と「4°C上昇した場合」で共通していた。さらに、「4°C上昇した場合」は、頻度分布の最頻階級値の差が広がっていることから、「2°C上昇した場合」と同じ傾向がより顕著に現れていたことが分かった。

したがって、横浜市域では、温暖化した将来では現在以上に、海風が吹くことでもたらされる暑さを和らげる効果が増していたこと（温暖化時の気温上昇抑制効果）が確認できた。

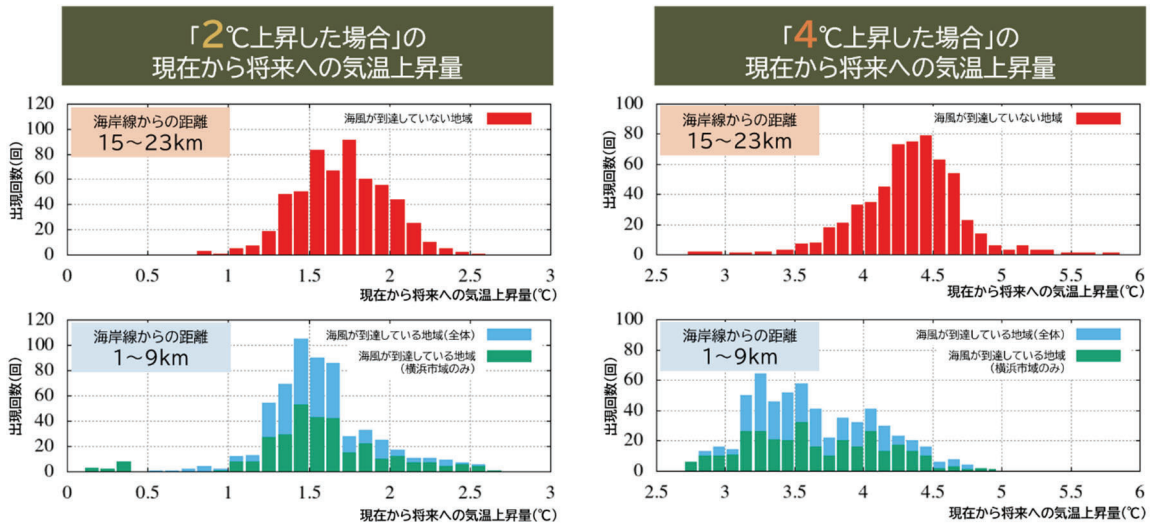


図5-5-10 現在から将来への気温上昇量における海風が到達している地域と到達していない地域との比較②

上記の温暖化時の気温上昇抑制効果が増す結果は、地球温暖化に伴う海面水温 (SST) の上昇量が、大気の気温上昇量より小さいことから生じている。つまり、海上気温は、現在から将来への気温上昇量が陸上気温より小さい(図5-5-11)ため、現在から将来への気温上昇量が小さい海上の大気が海風として入りこみ、陸上の気温に影響することで、海風の影響を強く受ける地域では、現在から将来への気温上昇量も小さくなる結果につながっている。

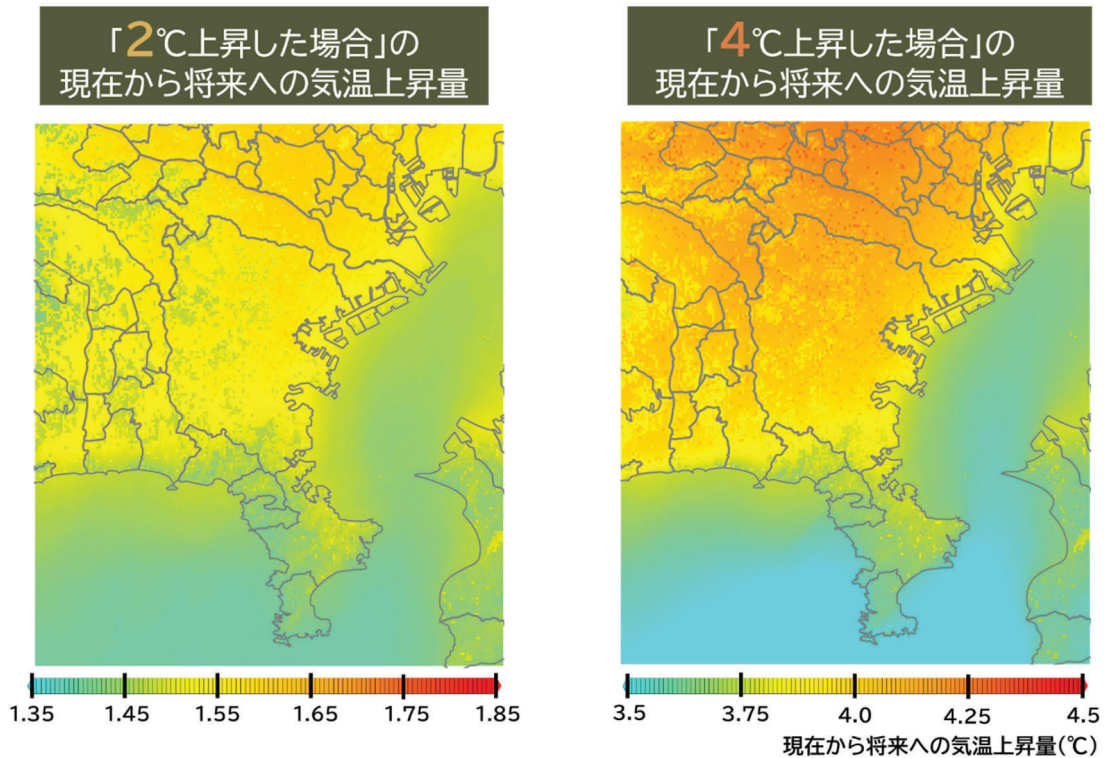


図5-5-11 現在から将来への気温上昇量についての陸上と海上の差

ウ 平均気温の時刻別気温分布と海風と緑地の影響の状況について

この項では、気温は全て「海面高度補正気温」を用いた解析結果を示す。海面高度補正気温とは、地上2m高さ気温を標高の差異による影響を除き、海面高度へ補正した気温である。

またこの項は今後の詳細な解析を必要とするため、参考結果である。また、定量的評価ではなく、視覚的評価であることに注意されたい。

現在と将来の8月の無降水日における平均気温において、毎時間の平均気温（例えば、9時の気温は、8時 10分～9時までの10分値の気温を平均したものを）算出し、3時間ごとに並べて示した結果を図5-5-12に示す。図の上段から、現在、「2℃上昇した場合」、「4℃上昇した場合」である。また、評価対象は横浜市域（図5-5-12の各分布図内の太枠部）とした。

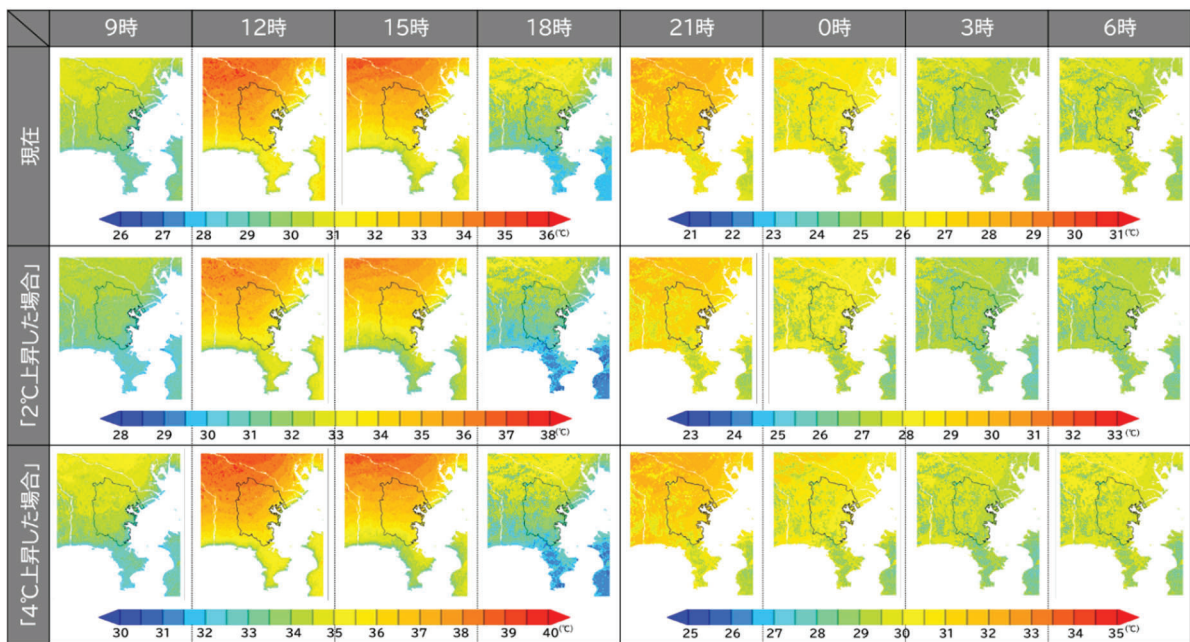


図 5-5-12 時刻別気温分布（1時間平均値）

現在と将来（「2℃上昇した場合」、「4℃上昇した場合」）では、多少の時間のずれはあるが、概ね以下のとおりの共通の傾向があることが確認できた。

深夜0時～朝6時ごろでは、南北の差が弱くなっているが、緑地の部分の気温が下がっている様子が見られる。一方、日中の9時～15時では、相模湾方向からの海風が吹くことで南北の差がはっきりと現れている。日没後しばらくの間（18時～21時）では、両方の特徴が見られている。

この解析は8月の全ての対象日を含むため、(4)イ(1)で解析対象とした「日中に局地的に吹く海風」のような卓越した海風以外にも様々な要因により海方向から陸へ向かって吹く風の影響も含まれているが、卓越した海風が時間の経過にしたがって内陸に進入すると同様の時空間分布（JAMSTEC-BASE⁴⁾の図1とその説明参照）が時刻別気温分布に現れている。

以上により、日中に局地的に吹く海風以外にも、日中に海方向から吹く風には、海風が到達している地域の日中の気温上昇を抑制する効果があると考えられる。

さらに、先述の(4)アの平均気温分布の項で述べたように、内陸に向かって徐々に気温が高くなる様子から東京湾からの海風についても、相模湾からの海風と同様に日中の気温上昇抑制効果をもたらしている

ことが、図5-5-12で確認できる。

また緑地のある場所では、周囲よりも気温が低くなる現象については、日中よりも夜間のほうが明瞭に見える傾向があることが確認できる。

(5) まとめ

本取組では、現在と将来についての数値シミュレーションを実施し、横浜市内の気温分布を、市域の詳細な地域差が確認できるほどの高解像度で得ることができた。

平均気温分布の結果から、現在及び「2℃上昇した場合」と「4℃上昇した場合」のいずれも、次の傾向が共通していたことが分かった。

- ・市内でも「現在・将来の気温」と「現在から将来への気温上昇量」には地域差が見られ、その地域差には海風や緑地による影響が見られた。
- ・海風や緑地の影響を強く受ける地域では、弱い地域と比べて、現在・将来の気温は高温となりにくく、現在から将来への気温上昇量は小さくなっていった。
- ・緑地については、緑地のある場所では、周囲と比べて、気温が高温となりにくく、現在から将来への気温上昇量が小さくなっていることが視覚的に確認できた。

さらに解析の結果、「2℃上昇した場合」と「4℃上昇した場合」のいずれも、次の傾向が共通していたことが分かった。

- ・海風については、市内へ進入することで日中の気温上昇を抑制する効果があり、将来はその効果がさらに増すことが分かった。
- ・緑地のある場所では、周囲よりも気温が低くなる現象については、日中よりも夜間のほうが明瞭に見える傾向があることが視覚的に確認できた。

これまでの取組⁵⁾のなかで、現在でも「海風は日中の気温上昇を抑える効果があり、緑地は夜間の気温を低減する効果がある」ことが分かっているが、今回の取組において、温暖化した将来でも、海風や緑地が引き続き重要であることが分かった。

※1：パリ協定とは、国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)で合意された気候変動問題に関する国際的な枠組み

※2：「2℃目標」とは、産業革命以前に比べて世界の平均気温上昇を2℃より十分低く保つこと

※3：海風が陸上へ進入する先端部分では、異なる性質の空気が接し、前線が形成される。その前線を海風前線と呼び、気温、湿度、風速、風向などの急激な変化が見られる。

※4：一般の海陸風の海風のことである。海陸風とは、夏の晴れた日に起きやすく、陸上と海上の気圧差によって発生する局地的な風の循環のことである。日中に海から陸へ向かって吹く海風と、夜間に陸から海へ向かって吹く陸風により構成される。

※5：例えば、これまでの取組（「都市環境気候図を活用した暑さをしのぐ環境づくりの手引き」（横浜市環境創造局政策課作成））では、現在の夏の風の吹き方の違いについて市内を5つのゾーンに分けている⁶⁾。

(6) 参考文献

- 1) 気象庁:IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳(文部科学省及び気象庁)より引用,<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html> (2023年3月時点)
- 2) 気象庁:IPCC 第5次評価報告書, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html> (2023年3月時点)
- 3) 文部科学省及び気象庁「日本の気候変動 2020—大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書—」より引用,<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html> (2023年3月時点)
- 4) JAMSTEC:JAMSTECBASE「市町村スケールでの気候変動予測情報創生の試み」,<https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/column-20221226/> (2023年3月時点)
- 5) 横浜市環境創造局政策課:ヒートアイランド対策「都市環境気候図を活用した暑さをしのぐ環境づくりの手引き」,<https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/ondanka/etc/heat.html> (2023年3月時点)