

平成 22 年度国土政策関係研究支援事業 研究成果報告書

大阪地域を対象とした
都市環境気候地図の作成方法に関する研究

神戸大学大学院、工学研究科建築学専攻、准教授

竹林 英樹

目 次

I. 研究目的・意義	1
II. 研究手法	2
III. 成果内容	3
○ 要旨	3
○ キーワード	5
○ 本編	6
1. はじめに	6
2. 都市の属性情報と気候解析結果の関係分析	6
2-1. メソ気象モデル WRF の概要	6
2-2. メソ気象モデル WRF の計算条件	7
2-3. 計算値と観測値の比較	10
2-4. 観測値による気象条件の分析	11
2-5. 数値計算による気温、風分布の考察	12
2-6. 気候に関する地域的要因と気温形成の分析	15
2-7. 海風の時刻変化と気温形成の分析	18
3. 気候分析地図と計画指針地図の作成	21
3-1. 広域スケールにおける気候分析地図の作成	21
3-2. 広域スケールにおける計画指針地図の作成	24
3-3. 潜在自然植生との比較による対策効果の予測	26
4. 環境配慮型都市に向けた提案	29
4-1. 市域スケールにおける都市環境気候地図	29
4-2. 大阪市を中心とする都市環境気候地図	30
4-3. 大阪平野北東部の都市環境気候地図	32
4-4. 大阪平野東部の都市環境気候地図	34
5. まとめ	35

I. 研究目的・意義

日本の大都市ではヒートアイランド現象と呼ばれる熱環境悪化の問題が課題として残されている。対策の具体的な方法に関しては、高反射率塗料などの材料開発や、ヒートポンプなどの省エネ技術の開発など様々に進められている。本研究は、ヒートアイランド現象に代表される都市熱環境の課題を克服するとともに、今後の環境配慮型都市の構築を目指すにあたって、現状の気候情報に基づき、それぞれの地域の実情に応じて適材適所に対策方法が選択できるシステムの構築を目指すものである。

具体的に構築される都市環境気候地図のイメージとしては、海岸付近の地域は海風を活用した風の道による対策、山や丘陵に面する地域は斜面冷気流を有効に活用する対策、都心部では再開発の際に一定規模の緑地を整備するとともに屋上緑化や高反射率塗料を導入する対策、など地図上に地域に応じたきめ細かな情報が提示されるものを想定している。この情報は気候シミュレーションや実測調査結果から作成される都市熱環境の評価結果と土地利用や建物形状などの都市の属性情報を統合することで抽出できると考えている。都市熱環境の評価結果は、著者らが従来から実施している熱環境シミュレーションと気象庁、自治体及び著者らが実施している気象観測データを統合して作成する。

本研究の主な目的は、都市熱環境評価結果に関する情報と地理情報システムとして整備されている都市の属性情報を統合し、適切な対策方法を抽出する方法について検討することであり、より有益な都市環境気候地図の作成方法の検討を行うものである。

本研究では大阪地域を対象として検討を進めるが、同様のアプローチは他の都市を対象としても適用可能であり、アウトプットとして得られる都市環境気候地図にはよりローカルな情報が反映される点が一つの重要な特徴であるが、作成方法の検討は普遍的な内容であり、他の都市に対しても応用可能である。この地域を対象として作成されたプロトタイプは、他の日本の都市におけるそれぞれの都市の特性に応じた都市環境気候地図の作成にも寄与するものである。日本の主要都市において地域の気候特性に応じた都市環境気候地図が整備されることは、今後の我が国の国土政策において、環境配慮型都市の構築を目指す際に、それぞれの地域の実情に応じた施策の選択を適切に誘導するものであると考えられる。

II. 研究手法

都市熱環境に関する数値シミュレーションと観測結果から都市熱環境の実態を考察する。都市熱環境に影響を及ぼす要因は、土地利用、地形、気象条件などであるが、例えば海岸に近い地域は海風の影響を受け、山に近い地域は山風の影響を受けるなど、地域によってその影響の度合いが異なる。本研究はこの点に注目して検討を行うものである。都市熱環境に関する数値シミュレーションと観測結果と地理情報システムとして整理された都市の属性情報などを利用して以下の解析を実施する。

1) 都市の属性情報と気候解析結果の関係分析

都市の属性情報としては、海岸からの距離、標高、土地利用、都市・建物の形状に関する情報が想定される。各地域の気候特性に対して、どの属性情報が主要な要因として寄与しているかという点に注目し、統計的な手法により分析を行う。この際、昼夜、晴天・曇天・雨天、強風・弱風、などの条件により気候特性に及ぼす主要な都市の属性情報も変化することが想定される。従って、種々の条件を分類して解析を進め、同様の傾向になるグループを集約することで、最終的な評価へと繋げる。

上記の分析結果に基づいて検討対象地域を分類し、それぞれの地域に応じた適材適所のヒートアイランド対策技術の抽出方法について検討を行う。ヒートアイランド対策技術としては、①建築物、都市構造物の被覆の改善、②建築物や都市インフラ等から排出される人工排熱の削減、③都市空間内に滞留する熱の適切な換気（上空との熱交換の促進）、④ライフスタイルの変更等による適応化、に分類される。ヒートアイランドの実態が顕著な場所で対策技術の導入優先順位が高くなることが想定される。

2) 気候分析地図と計画指針地図の作成と対策効果の予測

属性情報と気候解析結果の関係分析に基づき気候分析地図が整理され、それぞれの地域に応じた適材適所のヒートアイランド対策技術の検討結果に基づき計画指針地図が整理される。ここで提示された計画指針が導入された場合の効果に関しては、例えば屋上緑化や高反射率塗料の導入効果など個別の検討が必要である。本研究では、これらの個別の効果については著者らが実施してきた従来の研究成果を参考にするものとし、全ての土地利用が自然地域に戻った場合を想定した潜在自然気候との比較を行い最大限の効果を把握することで、ヒートアイランド対策手法の導入効果の位置づけを明らかにする。

3) 環境配慮型都市に向けた提案

個別の対策技術の導入に関しては、市域スケールにクローズアップして都市環境気候図を作成し、より具体的な対策の指針を示すことで、各地域の気候特性に応じた適材適所のヒートアイランド対策技術を推奨する計画指針図の作成を行う。なお、市域、地区レベルでの対策効果に関しては、著者らが実施してきた風通しや放射環境の制御に関する従来の研究成果を参考にして考察を行う。

Ⅲ. 成果内容

○要旨

本研究は、ヒートアイランド現象に代表される都市熱環境の課題を克服するとともに、今後の環境配慮型都市の構築を目指すにあたって、現状の気候情報に基づき、それぞれの地域の実情に応じて適材適所に対策方法が選択できるシステムの構築を目指したものである。本研究の主な目的は、都市熱環境評価結果に関する情報と地理情報システムとして整備されている都市の属性情報を統合し、適切な対策方法を抽出する方法について検討することであり、より有益な都市環境気候地図の作成方法について検討を行った。

本研究では、数値計算に用いたメソ気象モデル WRF の概要及び計算条件を整理した後、計算結果と観測結果の比較により計算精度を確認し、数値計算結果の気温、風分布の全体的な特徴を考察した。その後、都市環境気候地図の作成に向けて、主に以下の3項目について検討を行った。

1) 都市の属性情報と気候解析結果の関係分析

地域の気候を特徴づける要因として、標高、土地利用 (NVI)、海岸からの距離を想定した。計算領域全体において標高と気温との間に負の相関が確認されたが、本研究で主な対象とする大阪平野の都市部は標高 0~50m の範囲に位置するため、この領域に限定して従属変数に気温、説明変数に NVI と海岸からの距離を設定して重回帰分析を行った。海風日に海岸からの距離は気温のプラスへ大きく寄与し、NVI は気温のマイナスへ寄与した。北、東風が卓越する時は海岸からの距離は気温のマイナスへ寄与した。海岸からの距離と気温との単回帰分析を行ったところ、海風日の 15 時において、海風の進入範囲で海岸からの距離が短いほど気温が低いことが顕著であった。20 時では海風の主風向が淀川方向となると、海岸からの距離が同じでも大阪平野北部の淀川周辺では気温が特に低下していた。

海風前線の推定及び海風域と海風未到達域の分類を行い、海風と気温形成の関係を分析した。海風域の風速が未到達域の風速より大きいことを利用して、あるメッシュとその周りのメッシュの風速の差をとり、風速差が大きいラインを風ベクトル分布と併せて考察し、海風前線を推定した。2006 年 8 月 3, 4, 5, 6 日では 15 時での海風域の範囲に違いがみられたが、20 時には分析対象領域のほぼ全域が海風域となった。

海風域と海風未到達域のそれぞれで、気温と海岸からの距離、NVI との重回帰分析を行った。海風域では海岸からの距離は気温のプラスへの寄与が大きくなり、NVI はマイナスへの寄与が大きくなった。海風域で NVI が高く気温の低い大阪平野南部と NVI が低く気温の高い大阪市市街地等の差を説明していると考察された。海風未到達域では海岸からの距離及び NVI では説明し難い気温形成となった。

2) 気候分析地図と計画指針地図の作成と対策効果の予測

気候分析の主な対象範囲とした大阪平野の標高 0～50m の都市部を広域スケールにおける都市環境気候地図の対象範囲とした。夏季の長期的分析として 2006 年 8 月 1 ヶ月間の分析による都市環境気候地図と、大阪地域の特徴である海風に着目した都市環境気候地図を作成した。海風に着目した都市環境気候地図は、特に海風の影響が大きいエリアで海風利用の計画指針が特色となることを想定して作成した。

気候分析地図には平均風速分布と風配図、デグリーアワー分布を表現した。デグリーアワー分布は、分析対象領域内で標準偏差をとり、全体の平均値より大きい値のエリアを抽出した。海風に着目した気候分析地図には、それらに加え、15 時における海風域とその頻度、20 時において海岸からの距離が同程度の他の地域と比較して気温の低いエリアを表現した。

計画指針地図は、気候分析地図における平均風速の大きさを風利用期待度の高さとし、風配図により頻度の高い風向を表現して風を利用する際に考慮すべき方向を示した。デグリーアワーで標準偏差がプラスに大きいエリアは、相対的に熱環境対策が必要であり、風利用期待度が低いエリアでは特に土地利用の改善や日射遮蔽対策が必要であるとした。海風に着目した計画指針地図では、日最高気温となる 15 時までに海風の利用期待度が高いエリアと海風の影響を受けて低温となるエリアを表し、該当エリアでは海風を利用した建築、都市計画を推進し、海風の進入を阻害しない配慮が必要であると指摘した。

全ての土地利用が自然地域に戻った場合を想定した潜在自然気候との比較を行い最大限の効果を把握することで、ヒートアイランド対策手法の導入効果の位置づけを明らかにした。潜在自然植生とは、一切の人為的作用が停止された時、その土地が支え得る植生のことで、現在の都市がなかった場合に成立するであろう植生のことである。

気温差は、日中よりも夜間の方が大きく、10 時頃から上昇し、19～5 時頃に最大となった。夕方から夜間にかけての現存土地利用下での気温低下が、建物や道路における蓄熱の影響で小さいためである。海風の影響を受けた日は、海風の到達の早い沿岸部で気温上昇が抑えられるため、大阪府北東部や京都府南部の内陸部で気温差が大きくなった。北風の影響を受けた日は、風上側の内陸部で気温上昇が抑えられるため、大阪府中央部から南部で気温差が大きくなった。台風の影響で強風の日は、日中の気温上昇が抑えられるため、1 日を通して気温差が小さく、都市の広い範囲で気温差が生じていた。

風速差は、夜間よりも日中の方が大きく、一日を通して全体的にマイナスになった。これは、潜在自然植生下の方が現存土地利用下より地表面の抵抗が小さいためである。台風の影響で強風の日は、風速が大きいため、一日を通して風速差が大きい。海風の影響を受けた日は、海風の到達域において現存土地利用下での風速が潜在自然植生下より大きく、また、海風が夜遅くまで吹き続けるため、風速差はマイナスとなった。

ヒートアイランド対策手法を導入した場合の効果として、全面的に緑地になった場

合を想定してそのポテンシャルを評価したところ、台風の影響で強風の日を除いては、午前中の効果は 0～0.5℃程度、午後は 0.5～2℃程度、夕方から夜間にかけては 2～2.5℃程度と考察された。ただし、風向によって気温差の生じる地域が異なり、ヒートアイランド対策効果も風上、風下地域に応じて若干変化すると考察された。

3) 環境配慮型都市に向けた提案

市域スケールにクローズアップして、都市環境気候地図を作成した。大阪湾沿岸に位置する大阪市と尼崎市、内陸に位置する大阪平野北東部の枚方市、大阪平野東部の東大阪市と八尾市を対象とした。広域スケールの都市環境気候地図と同様の方法で作成し、風配図は、広域スケールでは示されなかった地点を追加した。その際、観測値と計算値の風向の比較も行った。

大阪市については、淀川周辺と大阪湾沿岸部で風利用期待度が高く、西南西から西、北東の風を取り込むことが有効である。淀川周辺は市内でも海風による気温低下の効果が大きく、海風の誘導促進と海風進入を阻害しない配慮が必要である。市東部は沿岸部より風利用期待度が低く、その他の熱環境対策として、土地利用の改善や日射遮蔽対策、蓄熱抑制対策などが必要である。

尼崎市は、大阪平野の都市部の中で最も風利用期待度が高く、南西や西南西の風を誘導することが有効であり、海風による 15 時までの気温上昇抑制、夕方から夜間の気温低下の効果が大きい。

枚方市は、風利用は淀川周辺で有効であるが、大阪平野の都市部で相対的に風利用期待度が低く、土地利用の改善や日射遮蔽対策、蓄熱抑制対策なども必要である。

東大阪市や八尾市は、風利用期待度が大阪平野の都市部の中で相対的に低く、デグリーアワーも日中、夜間ともに大きいため、土地利用の改善や日射遮蔽対策、蓄熱抑制対策などの熱環境対策が必要である。

本研究では大阪地域を対象として検討を進めたが、同様のアプローチは他の都市を対象としても適用可能であり、アウトプットとして得られた都市環境気候地図にはよりローカルな情報が反映される点の一つの重要な特徴であるが、作成方法の検討は普遍的な内容であり、他の都市に対しても応用可能である。この地域を対象として作成されたプロトタイプは、他の日本の都市におけるそれぞれの都市の特性に応じた都市環境気候地図の作成にも寄与するものである。日本の主要都市において地域の気候特性に応じた都市環境気候地図が整備されることは、今後の我が国の国土政策において、環境配慮型都市の構築を目指す際に、それぞれの地域の実情に応じた施策の選択を適切に誘導するものであると考えられる。

○キーワード

都市環境気候地図、ヒートアイランド、メソ気象モデル、気候分析地図、計画指針地図、大阪、海風

○本編

1. はじめに

日本の大都市ではヒートアイランド現象と呼ばれる熱環境悪化の問題が課題として残されている。対策の具体的な方法に関しては、高反射率塗料などの材料開発や、ヒートポンプなどの省エネ技術の開発など様々に進められている^{1),2)}。本研究は、ヒートアイランド現象に代表される都市熱環境の課題を克服するとともに、今後の環境配慮型都市の構築を目指すにあたって、現状の気候情報に基づき、それぞれの地域の実情に応じて適材適所に対策方法が選択できるシステムの構築を目指すものである。

具体的に構築される都市環境気候地図^{3~9)}のイメージとしては、海岸付近の地域は海風を活用した風の道による対策、山や丘陵に面する地域は斜面冷気流を有効に活用する対策、都心部では再開発の際に一定規模の緑地を整備するとともに屋上緑化や高反射率塗料を導入する対策、など地図上に地域に応じたきめ細かな情報が提示されるものを想定している。この情報は気候シミュレーションや実測調査結果から作成される都市熱環境の評価結果と土地利用や建物形状などの都市の属性情報を統合することで抽出できると考えている。都市熱環境の評価結果は、著者らが従来から実施している熱環境シミュレーションと気象庁、自治体及び著者らが実施している気象観測データを統合して作成する。

本研究の主な目的は、都市熱環境評価結果に関する情報と地理情報システムとして整備されている都市の属性情報を統合し、適切な対策方法を抽出する方法について検討することであり、より有益な都市環境気候地図の作成方法の検討を行うものである。

本研究では大阪地域を対象として検討を進めるが、同様のアプローチは他の都市を対象としても適用可能であり、アウトプットとして得られる都市環境気候地図にはよりローカルな情報が反映される点の一つの重要な特徴であるが、作成方法の検討は普遍的な内容であり、他の都市に対しても応用可能である。この地域を対象として作成されたプロトタイプは、他の日本の都市におけるそれぞれの都市の特性に応じた都市環境気候地図の作成にも寄与するものである。日本の主要都市において地域の気候特性に応じた都市環境気候地図が整備されることは、今後の我が国の国土政策において、環境配慮型都市の構築を目指す際に、それぞれの地域の実情に応じた施策の選択を適切に誘導するものであると考えられる。

2. 都市の属性情報と気候解析結果の関係分析

2-1. メソ気象モデル WRF の概要

本研究では、大阪湾と大阪平野及びその周辺山系を含む大阪地域を対象地域とし、ヒートアイランド現象への対策を主な課題として、暑熱化の影響が著しい夏季を気候分析の対象期間とした。気象データには、気象台やアメダスが地上で観測しているデ

ータと神戸大学、大阪市立大学が鉄塔で観測しているデータを用いた。これらは、大阪地域に分布する地上付近と上空の観測データとして、気候分析や数値計算の精度検証に用いるために選定した。

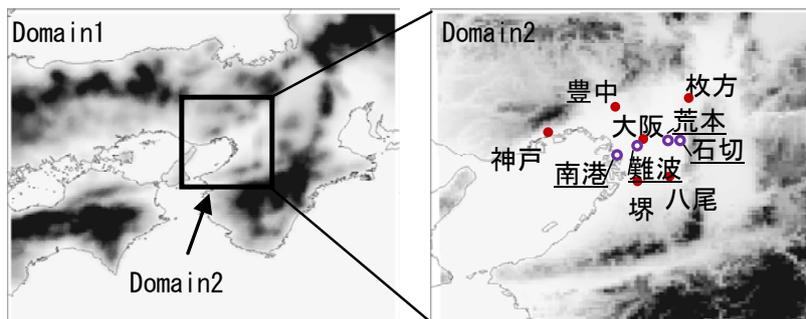
数値計算には、世界中で汎用的に用いられているメソ気象モデル WRF (Weather Research & Forecasting) を用いた¹⁰⁾。メソスケールは、数キロメートル～数千キロメートルのスケールである。WRF は近年都市環境の研究で用いられるようになっており、大阪地域全体の気象の分布を計算することができる^{11~13)}。WRF は米国大気研究センター (NCAR) などの研究機関により開発された。静力学平衡や非圧縮性近似を用いない完全圧縮の非静力学モデルで、支配方程式は、運動方程式、連続の式、ジオポテンシャル式、温位保存式、スカラー保存式などで構成され、乾燥大気の静水圧地形準拠座標 (η 座標) 系によって記述される。WRF には主に研究用の ARW と現業用の NMM の 2 種類がある。物理過程に関しては、雲物理過程、積雲過程、地表面過程、大気境界層過程、放射過程を扱い、それぞれが互いに影響し合う。雲物理過程は、雲・降水の予測を行い、この過程で解像不可能な降水については積雲過程で計算される。放射過程は、放射伝達式により、短波放射・長波放射の透過・吸収・散乱等が計算される。地表面付近の現象は、地表面過程と大気境界層過程によって解かれ、下端境界条件が設定される。さらに都市域には、都市形状を表現するストリートキャニオンのパラメタリゼーション、建物による影と建物間の相互放射、キャノピー層内の指数ウインドプロファイル、屋根面、壁面、道路面からの多層伝熱方程式を特徴とする都市キャノピーモデル (UCM) を組み込むことで、建物によって形成される地表面の凹凸の影響を考慮することが可能となる。

2-2. メソ気象モデル WRF の計算条件

本研究では、WRF version3.0.1.1 - ARW を用いた。計算条件を図表 1 に示す。計算対象領域は、ネスティング手法を用い、Domain1, 2 を設定した。考察対象領域は Domain2 である。図表 2 に計算対象領域、及び、以降の計算値と観測値の比較に用いる観測地点を示す。

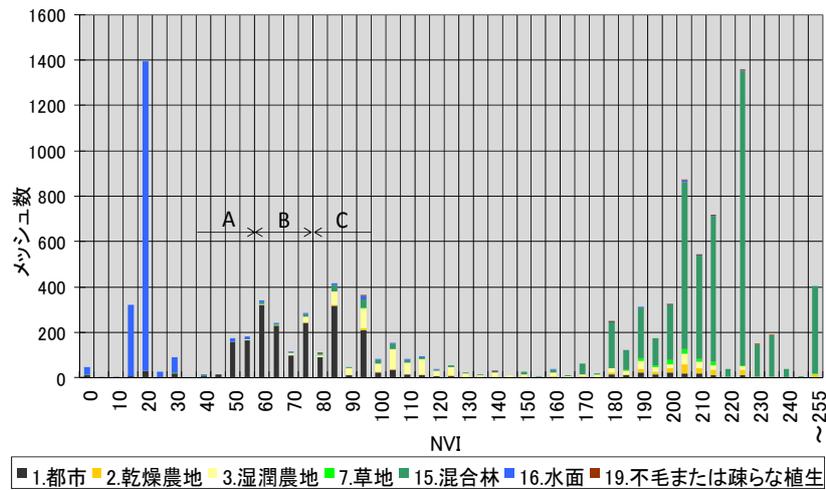
図表 1 メソ気象モデル WRF の計算条件

計算期間	2006年8月1日9時~31日9時	
鉛直格子	28層(地表~100hPa)	
水平格子	Domain1: 3km(120×120格子) Domain2: 1km(103×103km)	
気象データ	気象庁メソ客観解析値(3時間間隔, 10km格子, 20層) NCEP再解析全球客観解析データ(6時間間隔, 1° 格子, 17層)	
土地データ	標高データ	数値地図(解像度約50m)
	土地利用データ	国土数値情報(解像度約100m) NVI(LANDSAT7 ETM+衛星画像, 2001年10月5日取得)
雲微物理過程	Purdue Lin et al. scheme	
放射過程	長波	RRTM Longwave scheme
	短波	Dudhia Shortwave scheme
大気境界層過程	Mellor-Yamada-Janjic PBL scheme	
地表面過程	都市域	UCM(Urban Canopy Model)
	非都市域	Noah LSM
積雲パラメタリゼーション	なし	
4次元同化	なし	

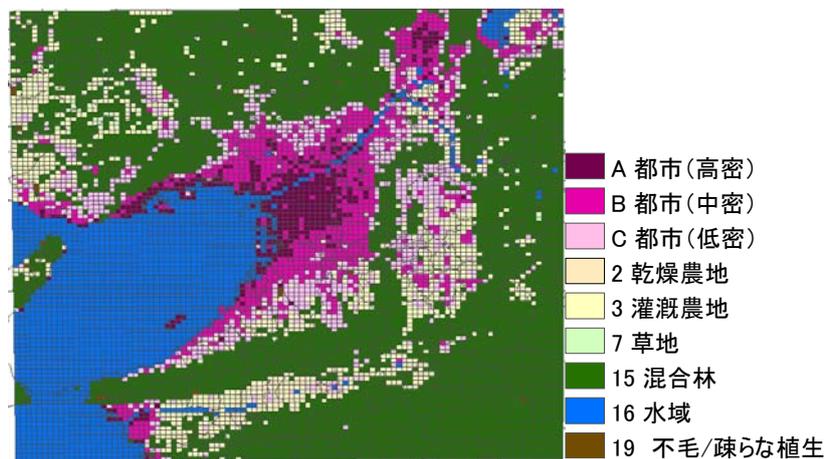


図表 2 メソ気象モデル WRF の計算対象領域及び比較検証に用いる観測地点

地表面過程において、都市域の計算に都市キャノピーモデル (UCM) を用いた。UCM を用いると、土地利用の設定で、都市を3分類まで設定することができる。そこで、国土数値情報において単一に都市と分類されたメッシュについて、正規化植生指標 (NVI : Normalized Vegetation Index) との照合により、都市化の度合に応じて3つに分類した。NVI 値の小さい方から順に、都市化の度合の大きい都市域 A, 中程度の都市域 B, 小さい都市域 C とした。NVI の算出には、LANDSAT7 号の ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) の衛星画像 (2001年10月5日取得) を用いた。NVI 頻度分布を図表 3, 土地利用設定を図表 4 に示す。また、土地利用分類別の物性値を図表 5, 特に都市域について図表 6, 7 に示す。



図表 3 都市域 A, B, C の分類に用いた NIV (正規化植生指標) の頻度分布



図表 4 土地利用設定

図表 5 土地利用分類別の物性値

USGS	アルベド	蒸発効率	放射率	粗度長	熱慣性
土地利用分類	[%]	[%]	[%]	[cm]	[kJ/m ² ・K・s ^{0.5}]
1 都市	15	10	88	80	1.26
2 乾燥農地	17	30	98.5	15	1.68
3 灌漑農地	18	50	98.5	15	1.68
7 草地	19	15	96	12	1.26
15 混合林	13	30	97	50	1.68
16 水域	8	100	98	0.01	2.52
19 不毛/疎らな植生	25	2	90	1	0.84

図表 6 都市域 3 分類別の物性値

都市 カテゴリー	建物高さ [m]	キャニオン上の 運動量の粗度長[m]	キャニオン上の 熱の粗度長[m]	0面変位 高さ[m]	天空率 (初期値) [%]	建蔽率 [%]
A	10	1	1	2	48	44
B	7.5	0.75	0.75	1.5	56	38
C	5	0.5	0.5	1	62	29

都市 カテゴリー	無次元建物 高さ[-]	建物抵抗 係数[-]	建物容積 パラメータ[m ⁻¹]	人工排熱 [W/m ²]	屋根面蒸発 効率[%]	壁面蒸発 効率[%]	地表面蒸発 効率[%]
A	0.5	0.1	0.4	90	0	0	7
B	0.4	0.1	0.3	50	0	0	11
C	0.3	0.1	0.2	20	0	0	18

図表 7 都市域での屋根面，壁面，地表面の物性値

	熱容量 [MJ/m ³ ·K]	熱伝導率 [W/m·K]	アルベド [%]	放射率 [%]	運動量についての 粗度長[m]	熱についての 粗度長[m]	層数	各層の厚さ[cm]				表面温度の 最低条件[K]
								1層	2層	3層	4層	
屋根面	2.1	1.7	10	97	0.1	0.1	4	5	5	5	5	300.15
壁面								5	5	5	5	
地表面								5	25	50	75	

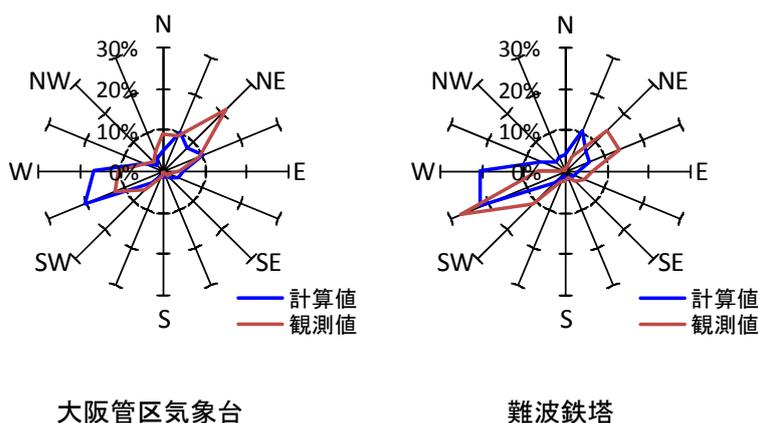
2-3. 計算値と観測値の比較

Domain2 (1km×1km メッシュ) 内にあるアメダス 6 地点と鉄塔 4 地点 (図表 2 参照) の観測値と計算値の比較を行った. 各地点における気温と風速の Bias, RMSE (Root Mean Square Error), Correlation を図表 8, 大阪管区气象台と難波鉄塔での風配図を図表 9 に示す. 図表 8 に観測値の測定高さと計算値の高さを併記する. 気温より風速の精度が若干劣っている. 風配図では, 他の地点でもこの 2 地点と同様に, 計算値と観測値の風向の傾向は概ね一致していた. これらの精度検証の結果を踏まえて以降の分析を行うこととした.

図表 8 計算結果と観測結果の比較（気温と風速の Bias, RMSE, Correlation）

気温		観測値[m]	計算値[m]	Bias[°C]	RMSE[°C]	Correlation
アメダス	大阪	1.5	2	0.04	1.29	0.89
	神戸			-0.02	1.09	0.90
	豊中			0.46	1.40	0.91
	枚方			0.42	1.43	0.91
	堺			-0.11	1.42	0.91
	八尾			0.20	1.32	0.89
鉄塔	南港	57.0	41	-1.32	1.74	0.84
	難波	57.0		-1.11	1.59	0.87
	荒本	45.0		-0.65	1.41	0.86
	石切	42.5		-0.58	1.39	0.86

風速		観測値[m]	計算値[m]	Bias[m/s]	RMSE[m/s]	Correlation
アメダス	大阪	22.9	10	-0.36	1.17	0.73
	神戸	16.0		-0.66	1.45	0.69
	豊中	10.0		-0.64	1.47	0.66
	枚方	10.0		0.72	1.35	0.62
	堺	10.1		0.59	1.28	0.65
	八尾	7.5		-0.95	1.52	0.75
鉄塔	南港	57.0	41	0.12	1.51	0.69
	難波	84.0	84	0.73	1.69	0.71
	荒本	45.0	41	0.43	1.54	0.59
	石切	42.5	41	0.56	1.67	0.70

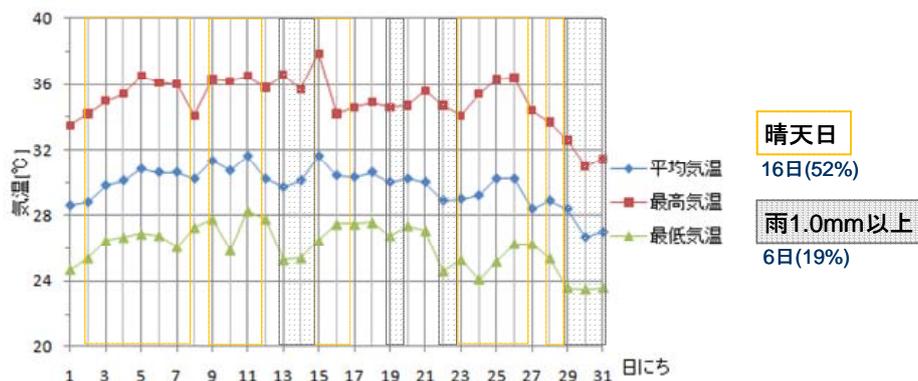


図表 9 計算結果と観測結果の大阪管区气象台と難波鉄塔での風配図

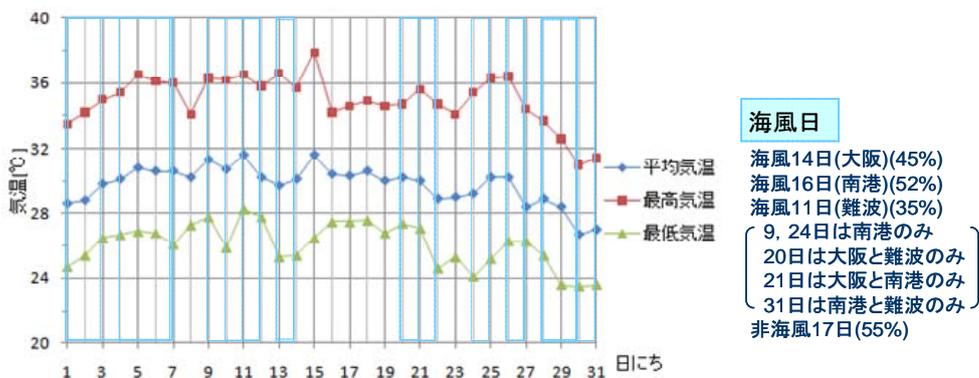
2-4. 観測値による気象条件の分析

気圧配置の分析と併せて、アメダスや鉄塔データを用いた晴天日及び海風日の分類方法について検討を行った。検討の結果、晴天日の定義を、「天気が快晴または晴（平均雲量 8.4 以下）、日照時間：7.0 時間以上、全天日射量：19MJ/m²以上、降水量：0.5mm

未満の条件全てを満たす日」とし、海風日の定義を、「毎日 12～23 時（正時）の 12 時間中において、風速 2m/s 以上かつ風向が西か西南西である時間数が 6 時間（50%）以上である日」とした。大阪管区气象台において晴天日は 2006 年 8 月で 16 日間、海風日は 14 日間と分類された。晴天日及び雨天日、海風日の分類結果を図表 10、11 に示す。



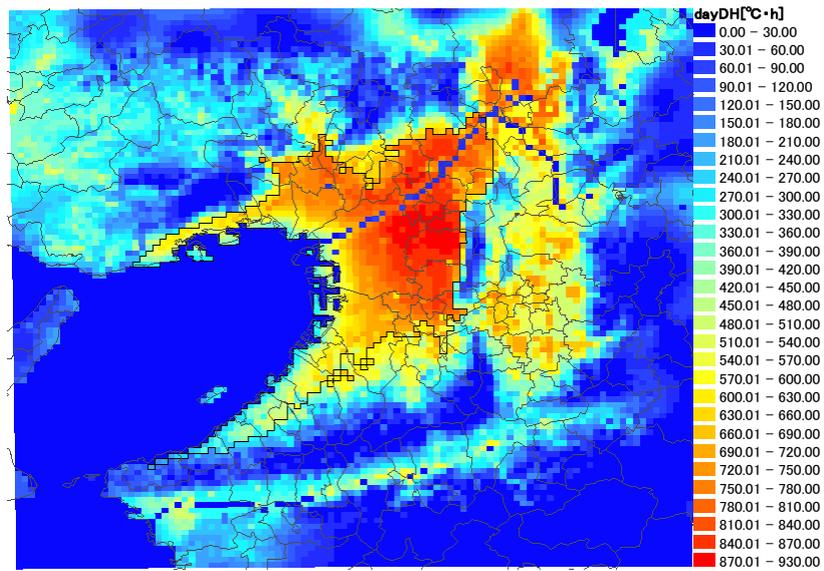
図表 10 晴天日及び雨天日の分類結果（2006 年 8 月の大阪管区气象台）



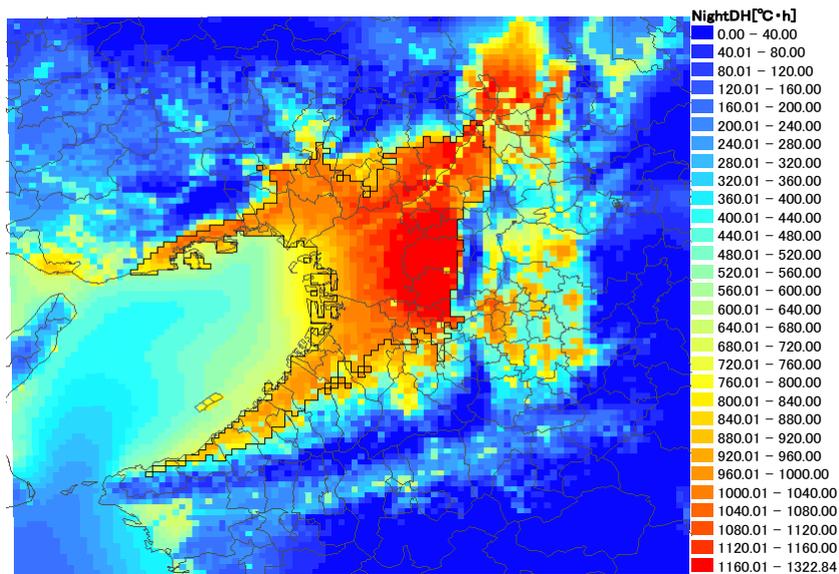
図表 11 海風日の分類結果（2006 年 8 月の大阪管区气象台及び鉄塔データより）

2-5. 数値計算による気温、風分布の考察

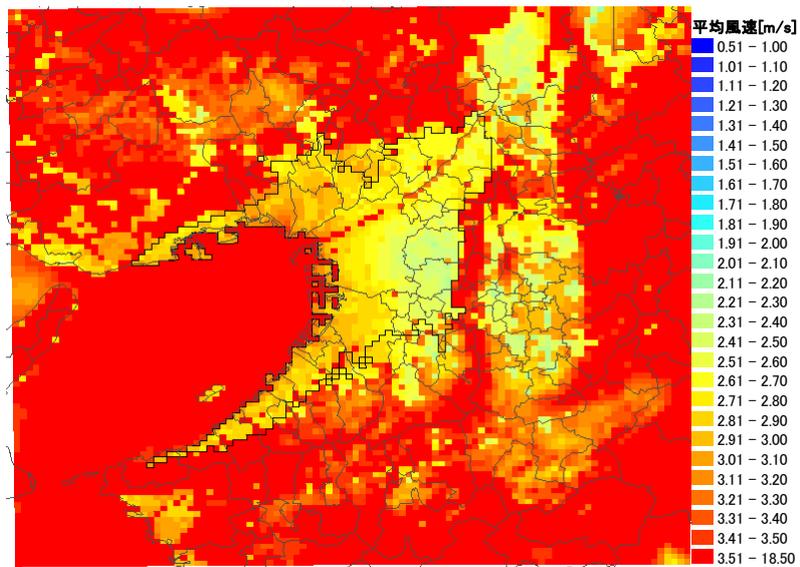
数値計算結果から、1 時間毎の気温、風ベクトル分布を作成した。気温を積算してデGREEアワー分布を作成した。日中（7～18 時）は真夏日とされる 30℃以上、夜間（19～翌 6 時）は熱帯夜とされる 25℃以上の気温を積算した。2006 年 8 月 1～30 日の 30 日間の日中と夜間のデGREEアワー分布を図表 12、13 に示す。日中デGREEアワーは大阪平野内陸部、夜間デGREEアワーは大阪平野内陸部の特に大阪平野東部で大きかった。2006 年 8 月 1～30 日の 30 日間の日中と夜間の平均風速分布を図表 14、15 に、風配図を図表 16、17 に示す。淀川周辺や大阪湾沿岸部で平均風速は大きかった。



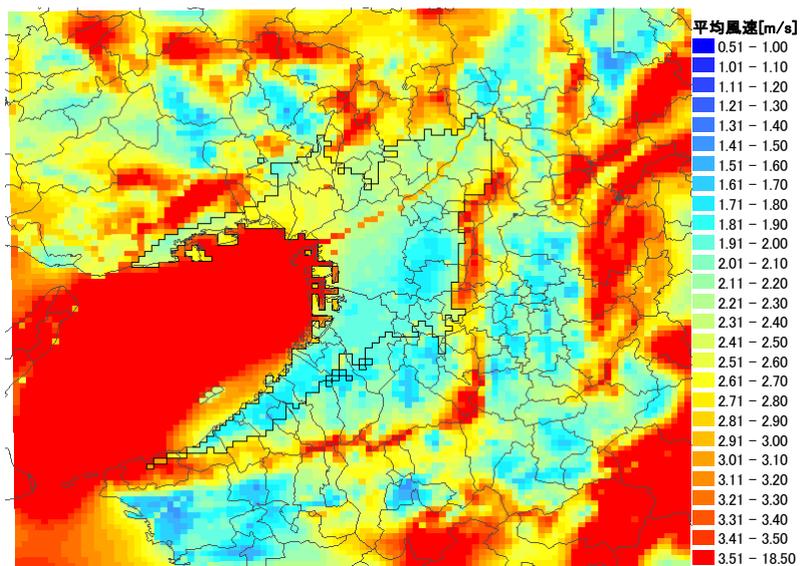
図表 12 日中のデGREEアワー分布 (30°C以上, 2006年8月1~30日の7~18時)



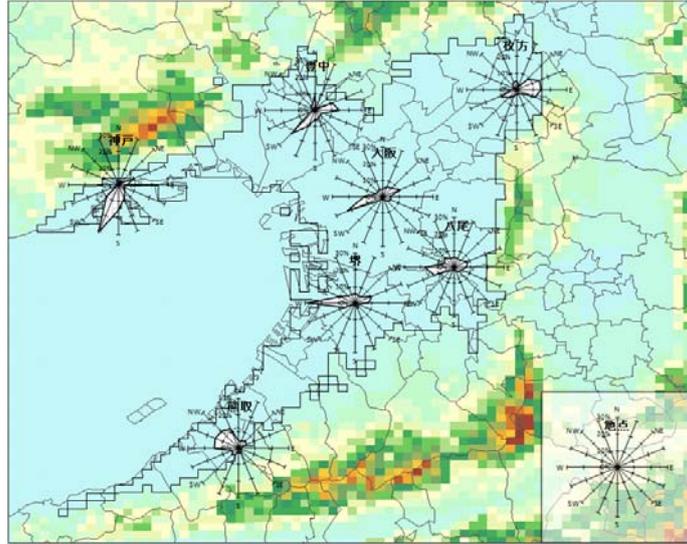
図表 13 夜間のデGREEアワー分布 (25°C以上, 2006年8月1~30日の19~6時)



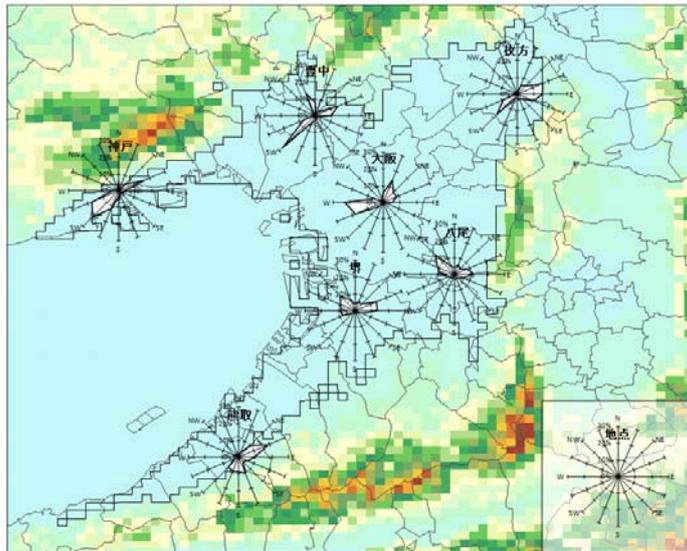
図表 14 昼間の平均風速分布 (2006年8月1~30日の7~18時)



図表 15 夜間の平均風速分布 (2006年8月1~30日の19~6時)



図表 16 昼間の風配図 (2006年8月1~30日の19~6時)



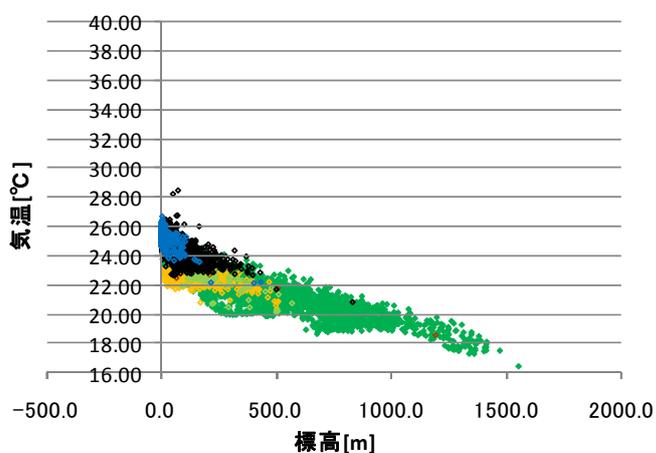
図表 17 夜間の風配図 (2006年8月1~30日の19~6時)

2-6. 気候に関する地域的要因と気温形成の分析

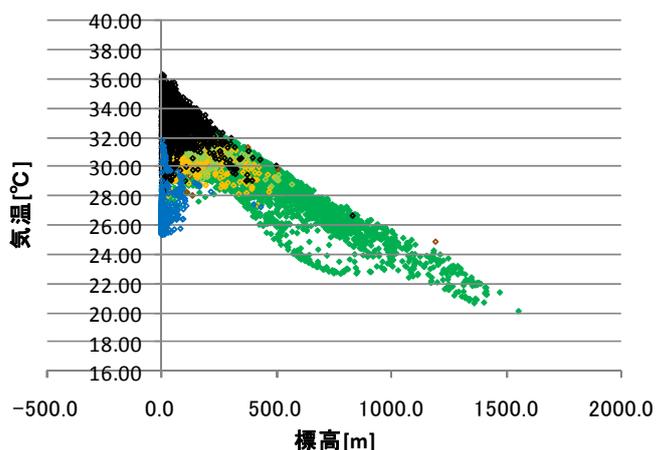
地域の気候を特徴づける要因として、標高、土地利用 (NVI)、海岸からの距離を想定した。例として2006年8月3日5時と15時の気温と標高の単相関を図表18, 19に示す。Domain2の範囲において、標高と気温は負の相関がみられた。ただし、本研究で主な対象とする大阪平野の都市部は標高0~50mの範囲に位置するため、この領域に限定し、従属変数を気温、説明変数をNVIと海岸からの距離として重回帰分析を行った。標高0~50mの範囲の大阪平野の連続する都市域におけるパラメーター分布を図表20に示す。晴天海風日の例として2006年8月3日、晴天非海風日の例として2006

年8月15日の重回帰式の標準化係数，決定係数，定数の時刻変化を図表21，22に示す。海風日に海岸からの距離は気温のプラスへ大きく寄与し，NVIは気温のマイナスへ寄与した。北，東風が卓越する時は海岸からの距離は気温のマイナスへ寄与した。

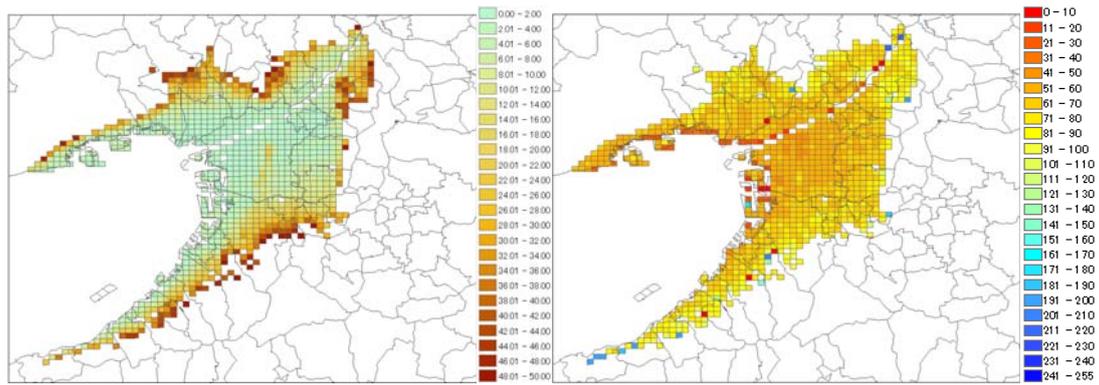
海岸からの距離と気温との単回帰分析を行った。例として晴天海風日である2006年8月3日の気温と海岸からの距離の関係を図表23に示す。海風日の15時において，海風の進入範囲で海岸からの距離が短いほど気温が低いことが顕著であった。20時では海風の主風向が淀川方向となると，海岸からの距離が同じでも大阪平野北部の淀川周辺では気温が特に低下していた。



図表18 気温と標高の単相関（2006年8月3日5時）

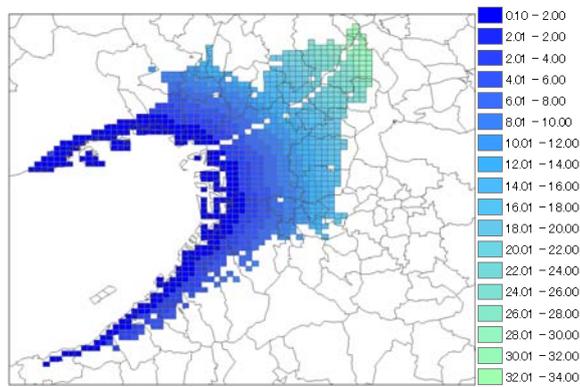


図表19 気温と標高の単相関（2006年8月3日15時）



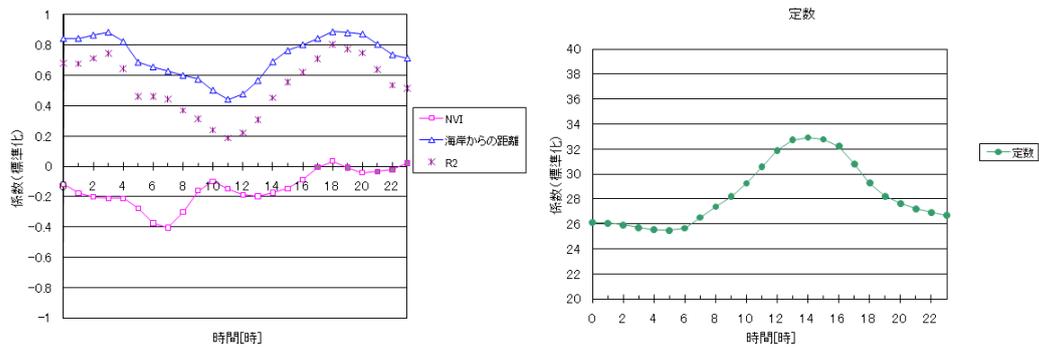
標高 (m)

NVI (正規化植生指標, 単位はなく
値が大きいほど植生が多い)

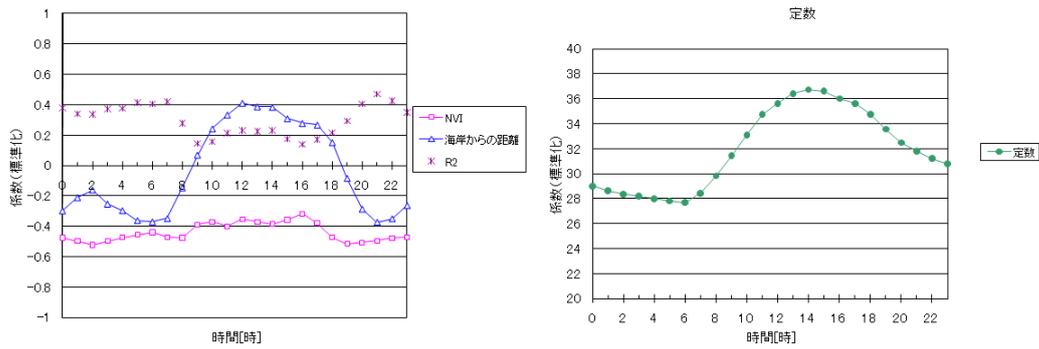


海岸からの距離 (km)

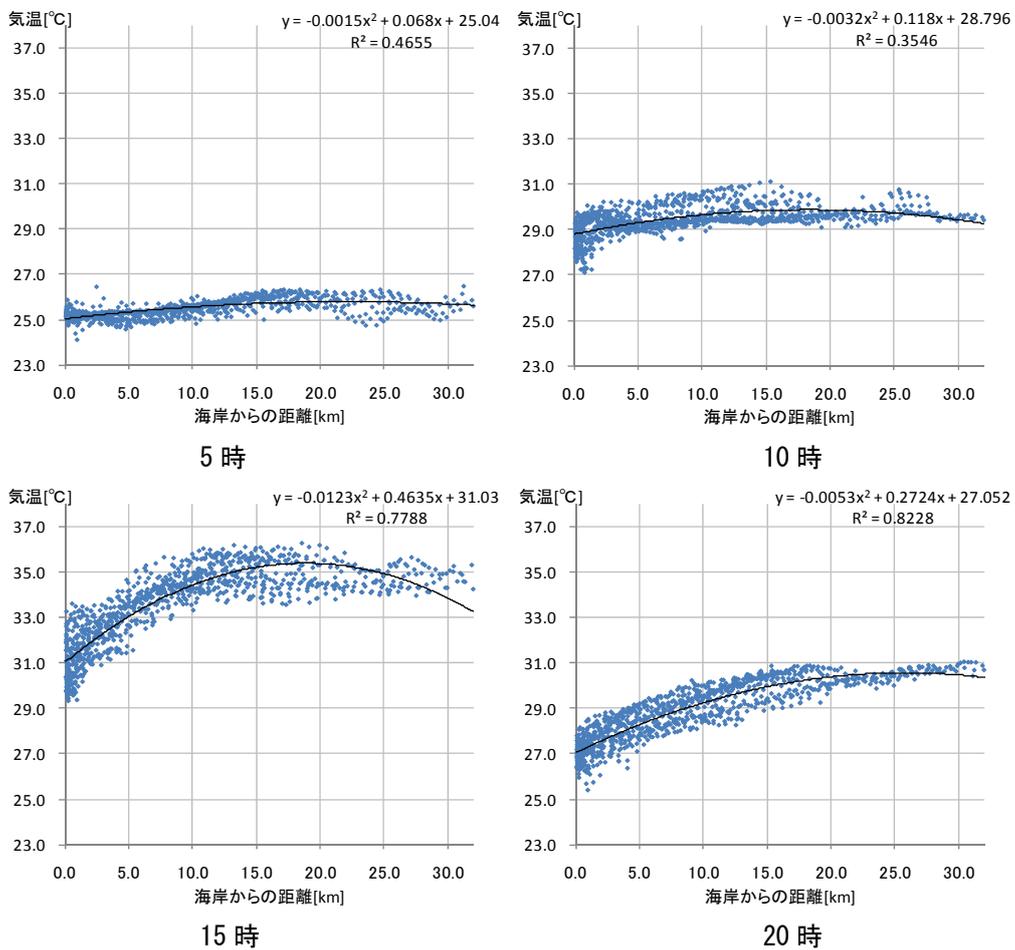
図表 20 標高 0~50m の範囲の大阪平野の連続する都市域におけるパラメーター分布



図表 21 重回帰式の標準化係数, 決定係数, 定数の時刻変化 (2006年8月3日, 晴天海風日)



図表 22 重回帰式の標準化係数，決定係数，定数時刻変化（2006年8月15日，晴天非海風日）



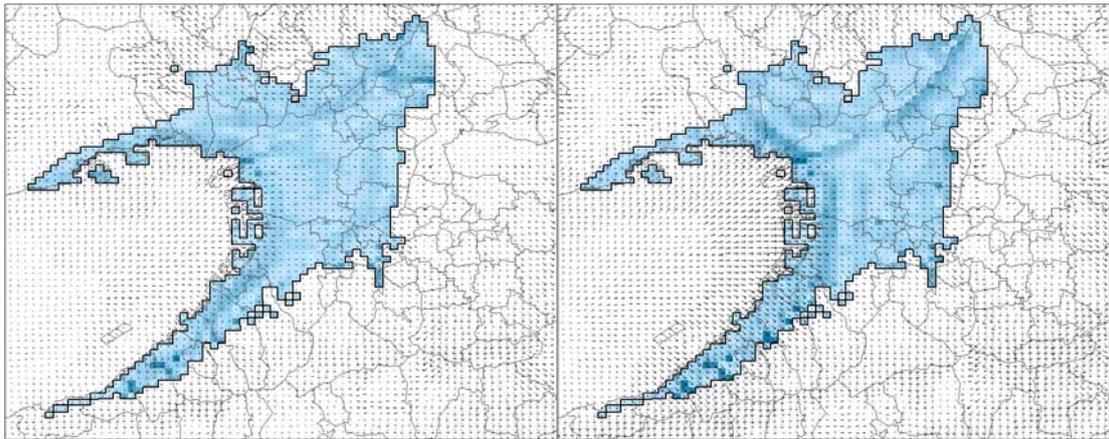
図表 23 気温と海岸からの距離の関係（2006年8月3日，晴天海風日）

2-7. 海風の時刻変化と気温形成の分析

海風前線の推定及び海風域と海風未到達域の分類を行い，海風と気温形成の関係を分析した。海風域の風速が未到達域の風速より大きいことを利用して，あるメッシュとその周りのメッシュの風速の差をとり，風速差が大きいラインを風ベクトル分布と

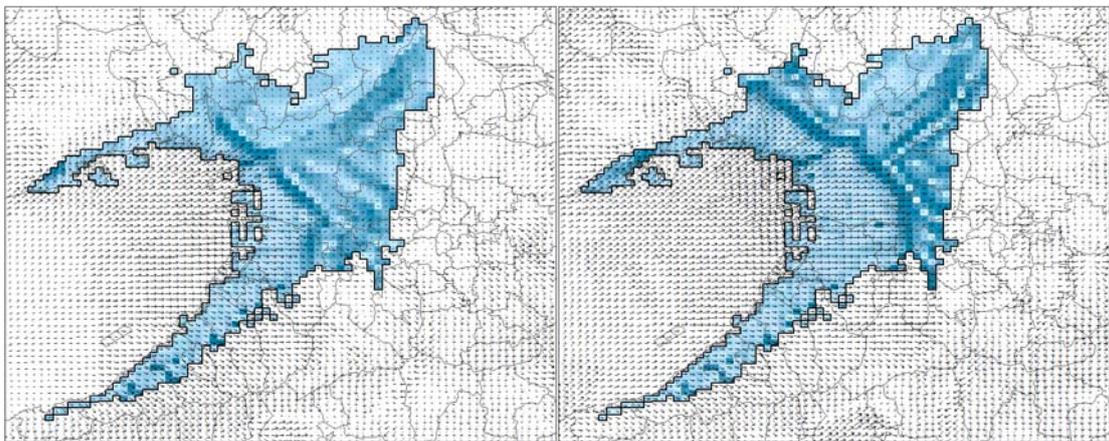
併せて考察し、海風前線を推定した。例として2006年8月3日の9時～19時の2時間毎の風速差分布を図表24に示す。2006年8月3, 4, 5, 6日では15時での海風域の範囲に違いがみられたが、20時には分析対象領域のほぼ全域が海風域となった。

海風域と海風未到達域のそれぞれで、気温と海岸からの距離、NVIとの重回帰分析を行った。例として2006年8月3日の海風域と海風未到達域の重回帰式の標準化係数、決定係数、定数の時刻変化を図表25, 26に示す。海風域では海岸からの距離は気温のプラスへの寄与が大きくなり、NVIはマイナスへの寄与が大きくなった。海風域でNVIが高く気温の低い大阪平野南部とNVIが低く気温の高い大阪市市街地等の差を説明していると考察された。海風未到達域では海岸からの距離及びNVIでは説明し難い気温形成となった。



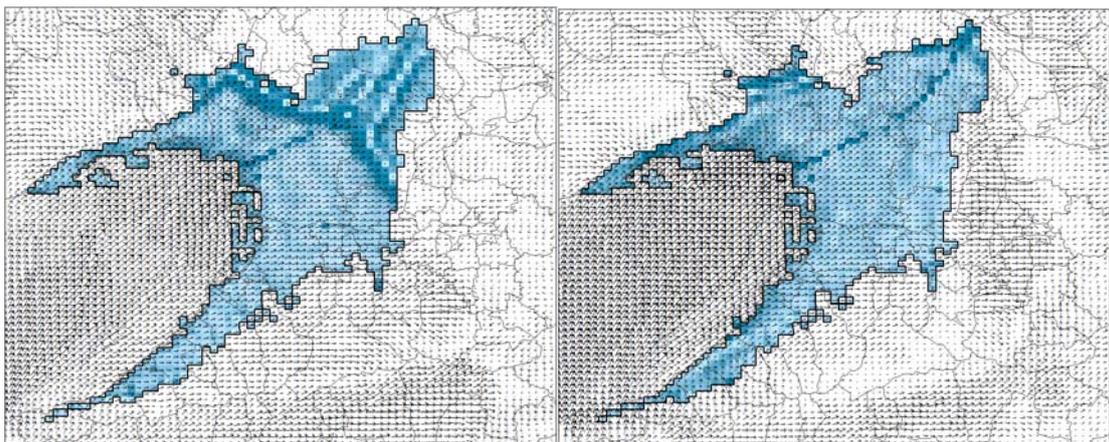
9時

11時



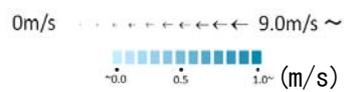
13時

15時

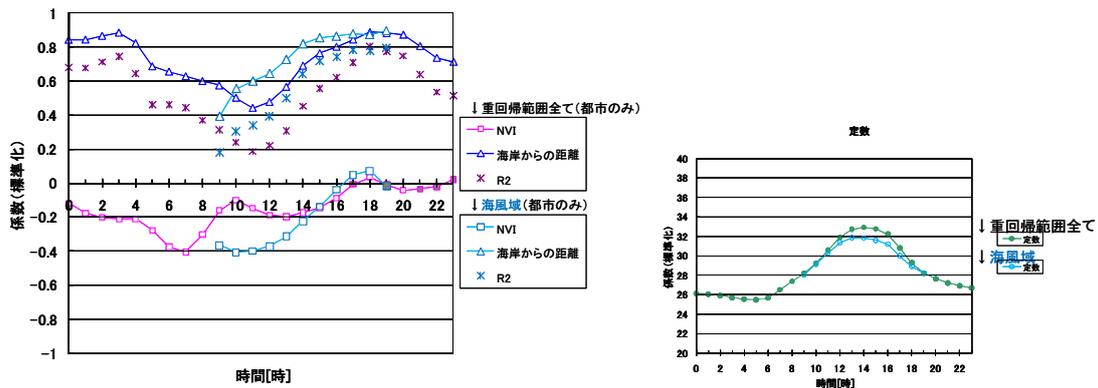


17時

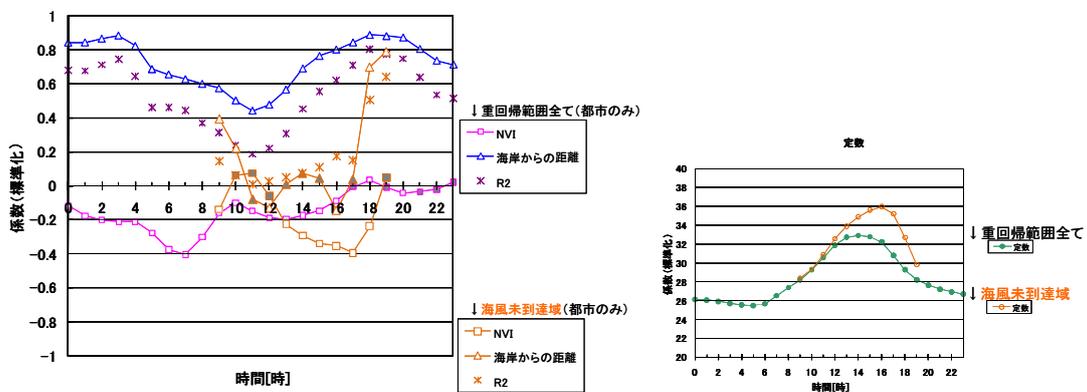
19時



図表 24 風ベクトルと風速差分布 (2006年8月3日9~19日の2時間毎, 晴天海風日)



図表 25 海風域の重回帰式の標準化係数，決定係数，定数の時刻変化（2006年8月3日）



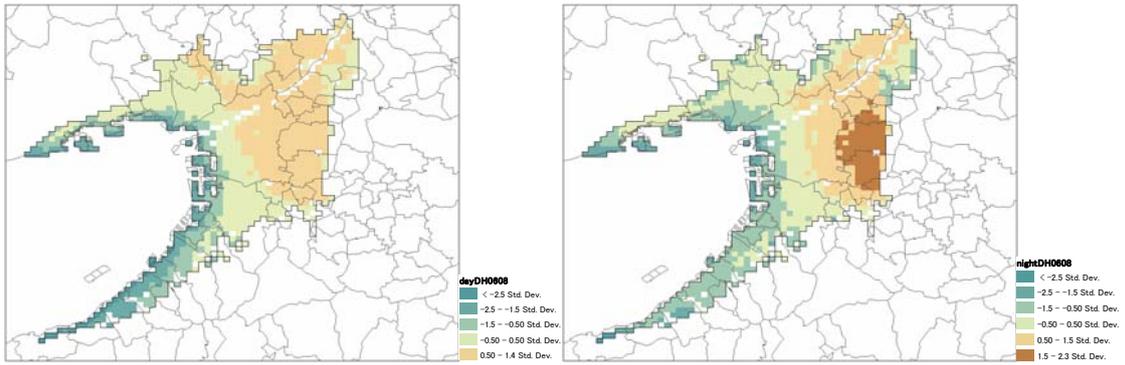
図表 26 海風未到達域の重回帰式の標準化係数，決定係数，定数時刻変化（2006年8月3日）

3. 気候分析地図と計画指針地図の作成

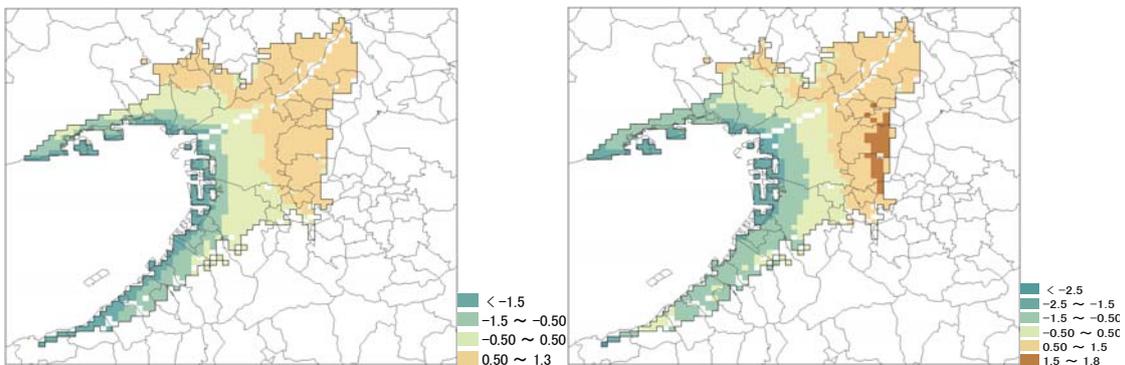
3-1. 広域スケールにおける気候分析地図の作成

気候分析の主な対象範囲とした大阪平野の標高 0～50m の都市部を広域スケールにおける都市環境気候地図の対象範囲とした。夏季の長期的分析として 2006 年 8 月 1 ヶ月間の分析による都市環境気候地図と、大阪地域の特徴である海風に着目した都市環境気候地図を作成した。海風に着目した都市環境気候地図は、特に海風の影響が大きいエリアで海風利用の計画指針が特色となることを想定して作成した。

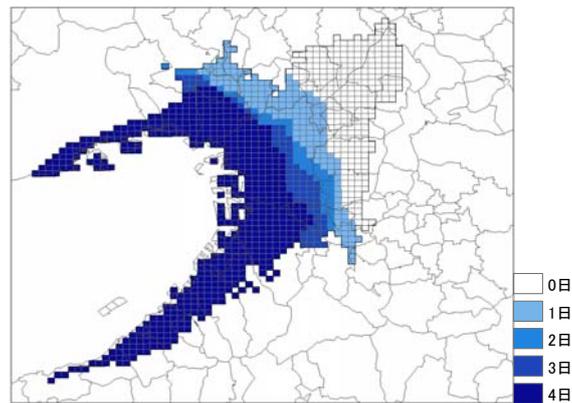
気候分析地図には平均風速分布と風配図，デグリーアワー分布を表現した。デグリーアワー分布は、分析対象領域内で標準偏差をとり、全体の平均値より大きい値のエリアを抽出した（図表 27，28）。海風に着目した気候分析地図には、それらに加え、15 時における海風域とその頻度（図表 29），20 時において海岸からの距離が同程度の他の地域と比較して気温の低いエリア（図表 30）を表現した。以上の要素より構成した 2006 年 8 月 1 ヶ月間，及び、海風に着目し 8 月 3, 4, 5, 6 日を対象とした広域スケールにおける気候分析地図を図表 31，32 に示す。



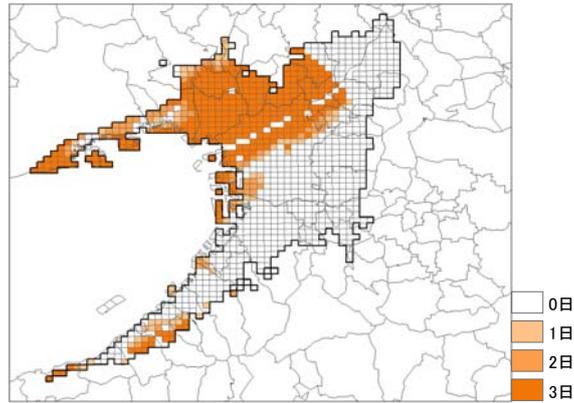
図表 27 デGREEアワー分布の標準偏差 (2006年8月1ヵ月間)



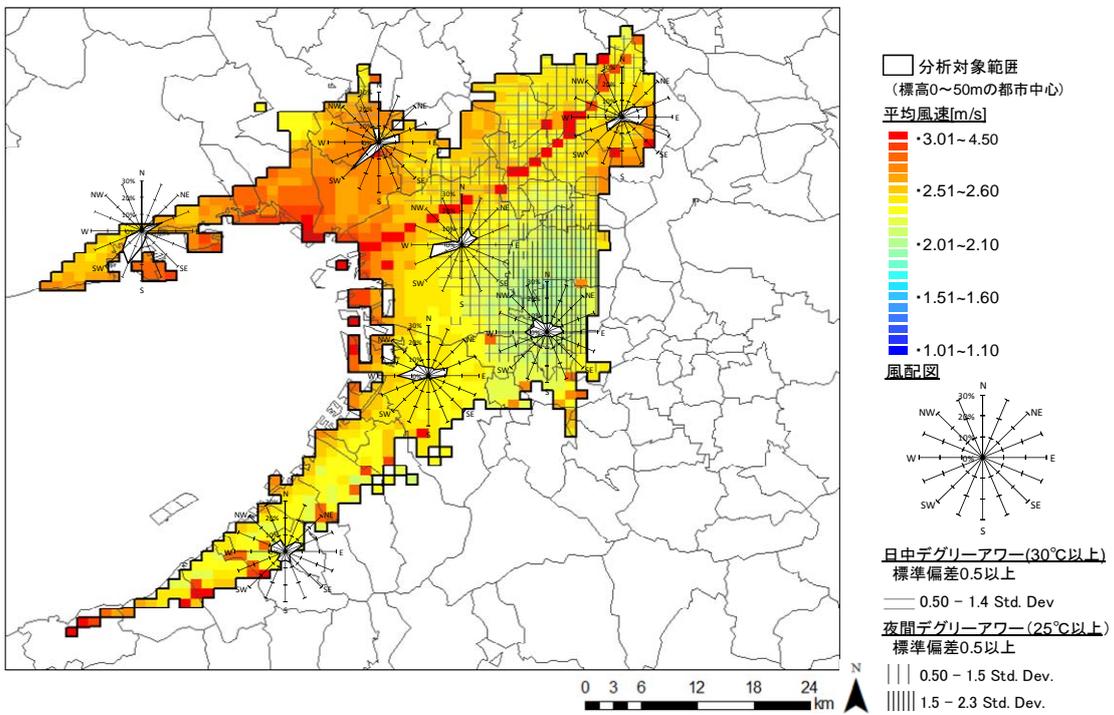
図表 28 デGREEアワー分布の標準偏差 (2006年8月3, 4, 5, 6日)



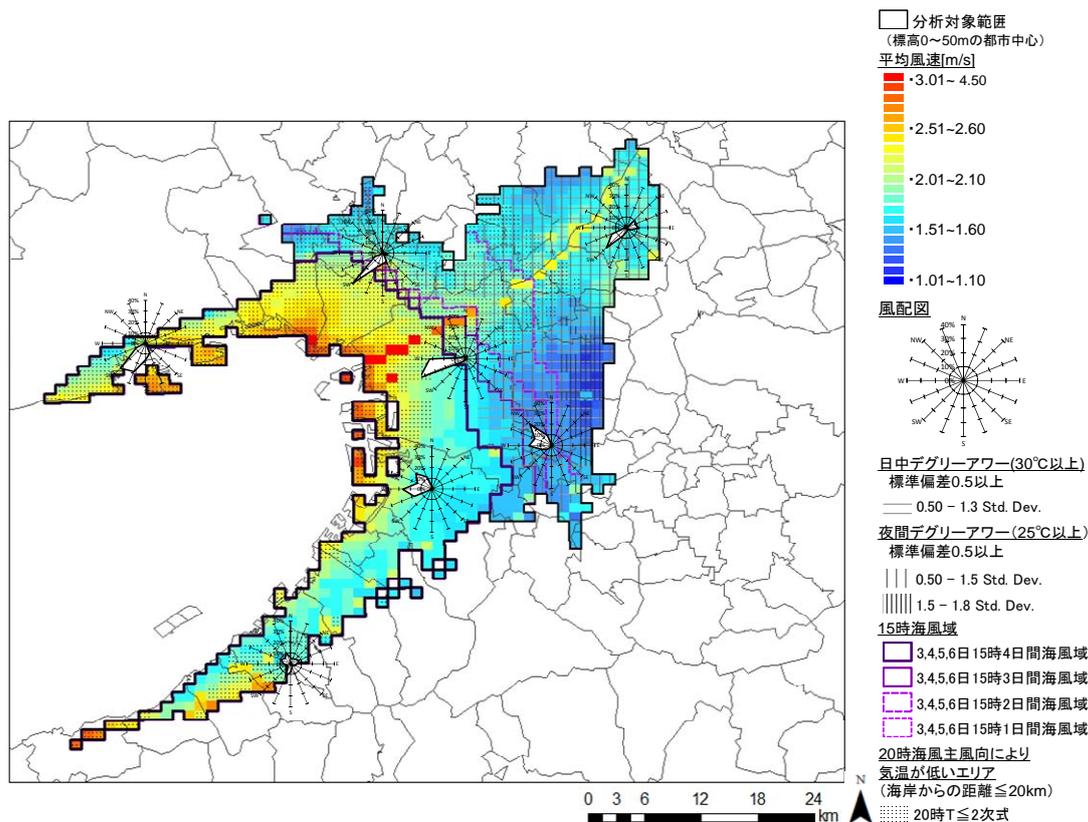
図表 29 15時における海風域該当日数 (2006年8月3, 4, 5, 6日)



図表 30 20時における気温が低いエリア (2006年8月3, 4, 5, 6日)



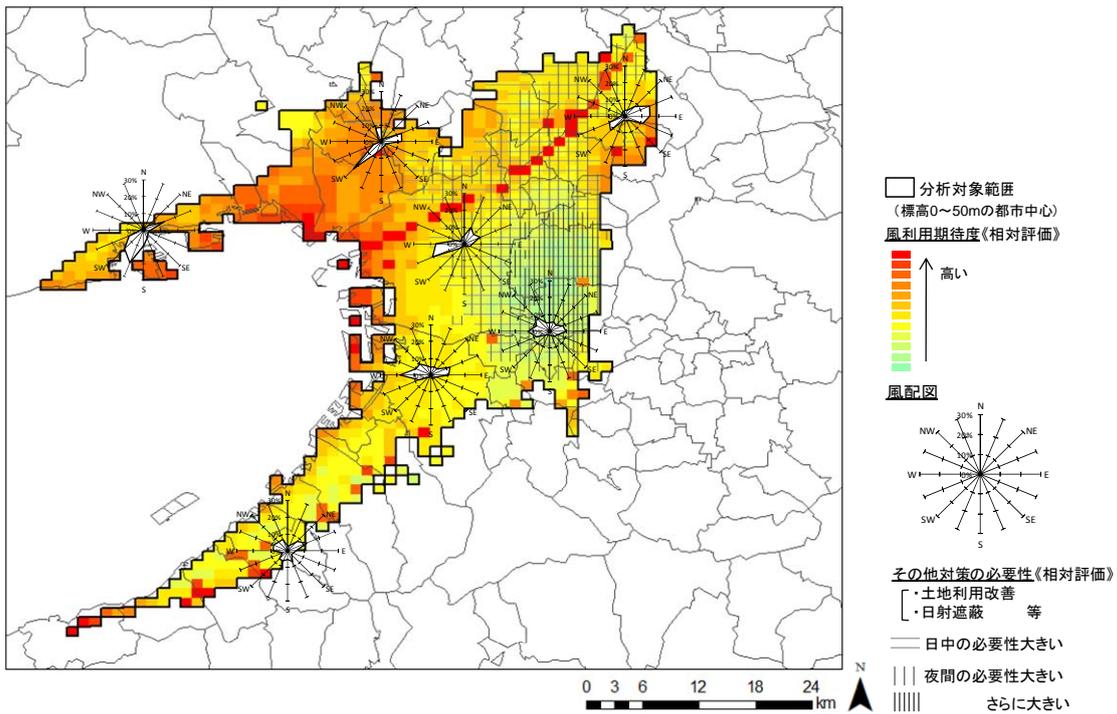
図表 31 広域スケールにおける気候分析地図 (2006年8月1ヶ月間を対象)



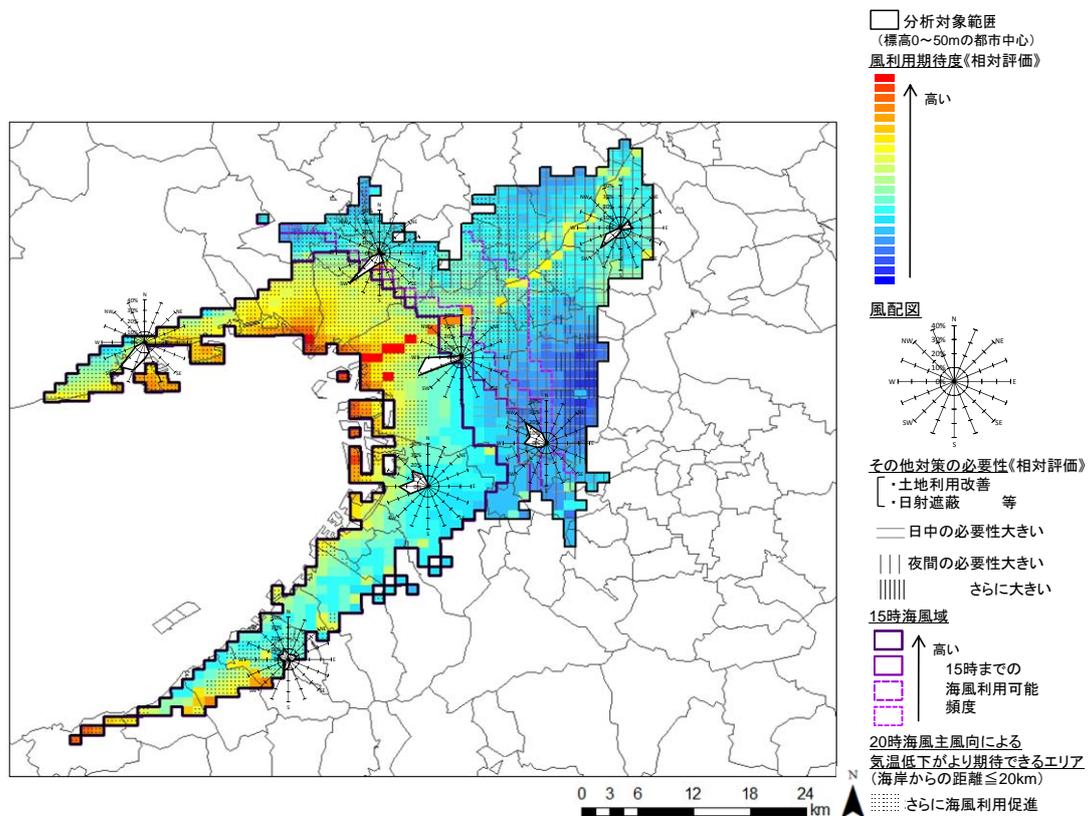
図表 32 広域スケールにおける海風に着目した気候分析地図 (2006年8月3, 4, 5, 6日を対象)

3-2. 広域スケールにおける計画指針地図の作成

2006年8月1ヶ月間、及び、海風に着目し8月3, 4, 5, 6日を対象とした広域スケールにおける計画指針地図を図表 33, 34 に示す。計画指針地図は、気候分析地図における平均風速の大きさを風利用期待度の高さとし、風配図により頻度の高い風向を表現して風を利用する際に考慮すべき方向を示した。デGREEアワーで標準偏差がプラスに大きいエリアは、相対的に熱環境対策が必要であり、風利用期待度が低いエリアでは特に土地利用の改善や日射遮蔽対策が必要であるとした。海風に着目した計画指針地図では、日最高気温となる15時までに海風の利用期待度が高いエリアと海風の影響を受けて低温となるエリアを表し、該当エリアでは海風を利用した建築、都市計画を推進し、海風の進入を阻害しない配慮が必要であると指摘した。



図表 33 広域スケールにおける計画指針地図 (2006年8月1ヶ月間を対象)



図表 34 広域スケールにおける海風に着目した計画指針地図 (2006年8月3, 4, 5, 6日を対象)

3-3. 潜在自然植生との比較による対策効果の予測

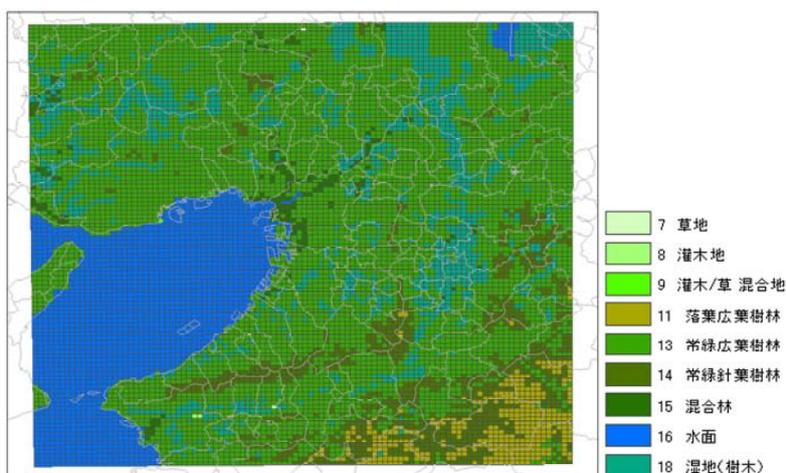
全ての土地利用が自然地域に戻った場合を想定した潜在自然気候との比較を行い最大限の効果を把握することで、ヒートアイランド対策手法の導入効果の位置づけを明らかにする。潜在自然植生の土地利用設定を図表 35 に示す。潜在自然植生とは、一切の人為的作用が停止された時、その土地が支え得る植生のことで、現在の都市がなかった場合に成立するであろう植生のことである^{14~17}。

2006 年 8 月 1 日～31 日の計算結果とアメダス等の観測結果を比較したところ、計算結果は降水などの急激な気象の変化を表現出来ていないことが考察された。そこで、計算結果及び観測結果に降水の確認された日を対象外として、気温、風の水平分布の特性を考察することとした。考察の結果、海風の影響を受けた日、北風の影響を受けた日、台風の影響で強風の日に傾向が分類された。これらの分類毎に、現存土地利用下から潜在自然土地利用下の計算結果を引いた気温差、風速差を用いて比較考察を行った。

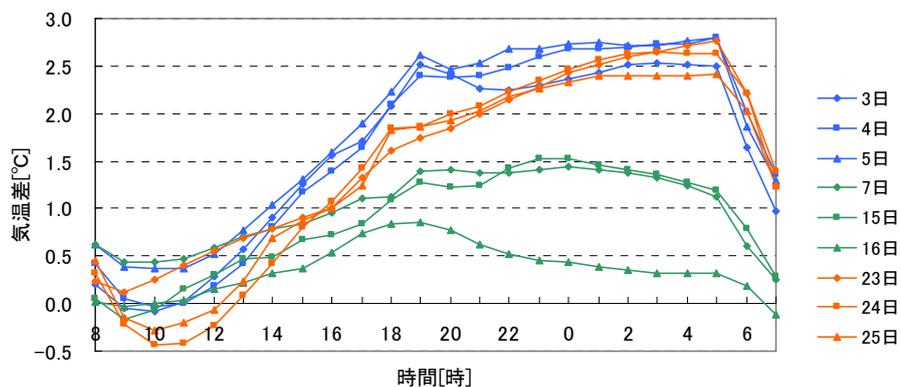
都市域全体で平均した気温差、風速差の時間変化を図表 36 に示す。気温差は、日中よりも夜間の方が大きく、10 時頃から上昇し、19～5 時頃に最大となった。夕方から夜間にかけての現存土地利用下での気温低下が、建物や道路における蓄熱の影響で小さいためである。海風の影響を受けた日、北風の影響を受けた日、台風の影響で強風の日の中から、それぞれの代表日の 20 時の気温差分布を図 37 に示す。海風の影響を受けた日は、海風の到達の早い沿岸部で気温上昇が抑えられるため、大阪府北東部や京都府南部の内陸部で気温差が大きくなった。北風の影響を受けた日は、風上側の内陸部で気温上昇が抑えられるため、大阪府中央部から南部で気温差が大きくなった。台風の影響で強風の日は、日中の気温上昇が抑えられるため、1 日を通して気温差が小さく、都市の広い範囲で気温差が生じていた。

都市域全体で平均した風速差の時間変化を図表 38 に示す。風速差は、夜間よりも日中の方が大きく、一日を通して全体的にマイナスになった。これは、潜在自然植生下の方が現存土地利用下より地表面の抵抗が小さいためである。台風の影響で強風の日は、風速が大きいため、一日を通して風速差が大きい。海風の影響を受けた日、北風の影響を受けた日、台風の影響で強風の日の中から、それぞれの代表日の 18 時の風速差分布を図 39 に示す。海風の影響を受けた日は、海風の到達域において現存土地利用下での風速が潜在自然植生下より大きく、また、海風が夜遅くまで吹き続けるため、風速差はマイナスとなった。

以上より、ヒートアイランド対策手法を導入した場合の効果として、全面的に緑地になった場合を想定してそのポテンシャルを評価したところ、台風の影響で強風の日を除いては、午前中の効果は 0～0.5℃程度、午後は 0.5～2℃程度、夕方から夜間にかけては 2～2.5℃程度と考察された。ただし、風向によって気温差の生じる地域が異なり、ヒートアイランド対策効果も風上、風下地域に応じて若干変化すると考察された。

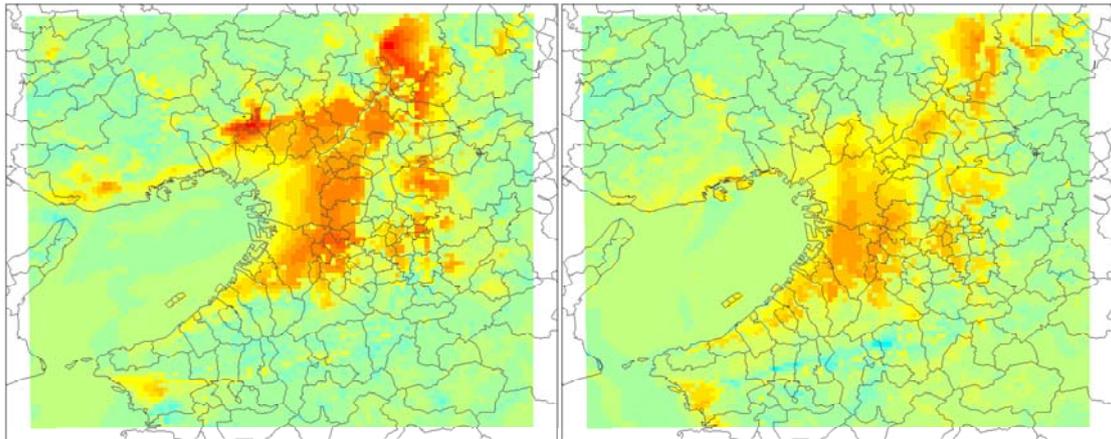


図表 35 潜在自然植生の土地利用設定



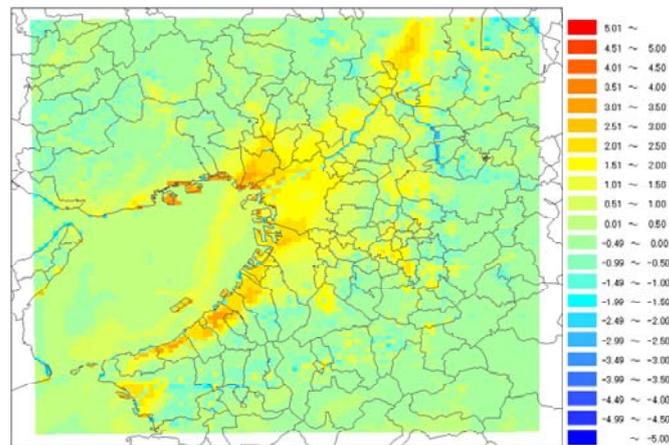
図表 36 都市域全体で平均した気温差の時間変化 (2006 年 8 月)

水色：海風の影響を受けた日，緑色：台風の影響で強風の日，橙色：北風の影響を受けた日



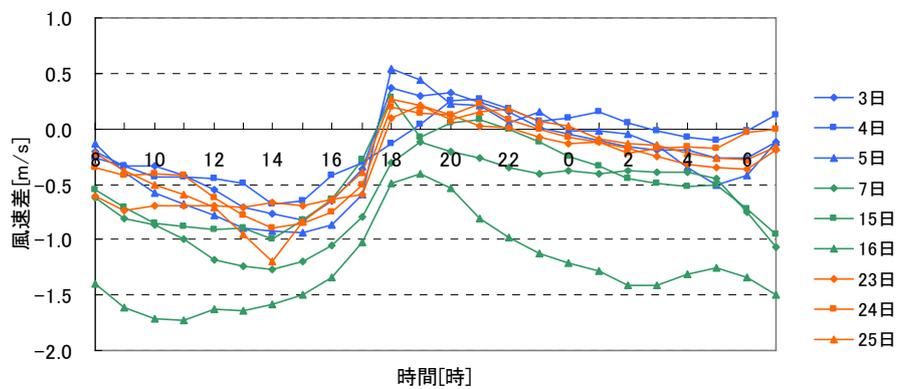
海風の影響を受けた日

北風の影響を受けた日



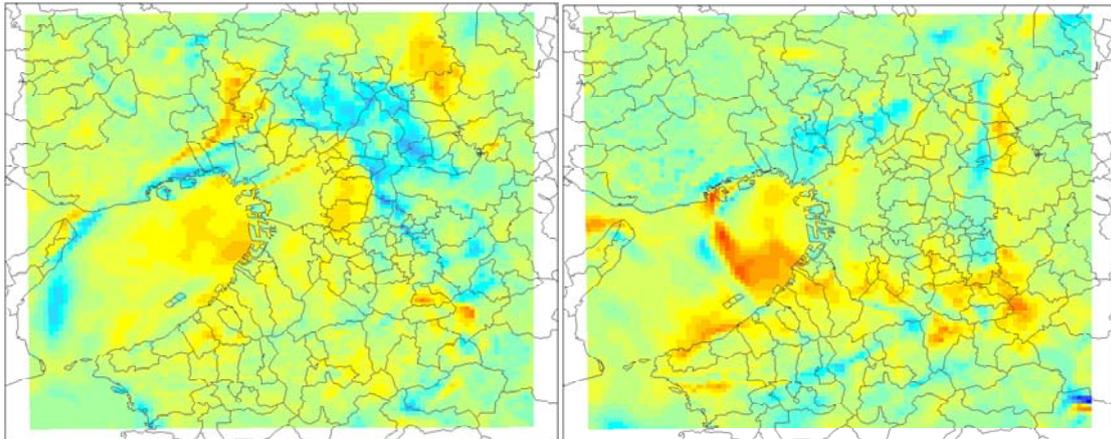
台風の影響で強風の日

図表 37 海風の影響を受けた日，北風の影響を受けた日，台風の影響で強風の日の中のそれぞれ代表日の 20 時の気温差分布（2006 年 8 月 3, 23, 15 日）



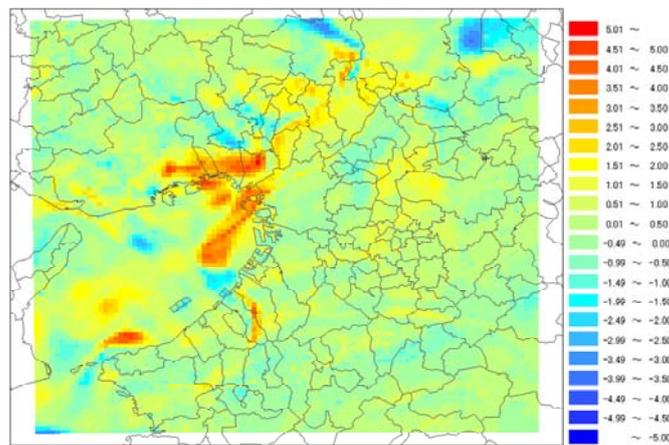
図表 38 都市域全体で平均した風速差の時間変化（2006 年 8 月）

水色：海風の影響を受けた日，緑色：台風の影響で強風の日，橙色：北風の影響を受けた日



海風の影響を受けた日

北風の影響を受けた日



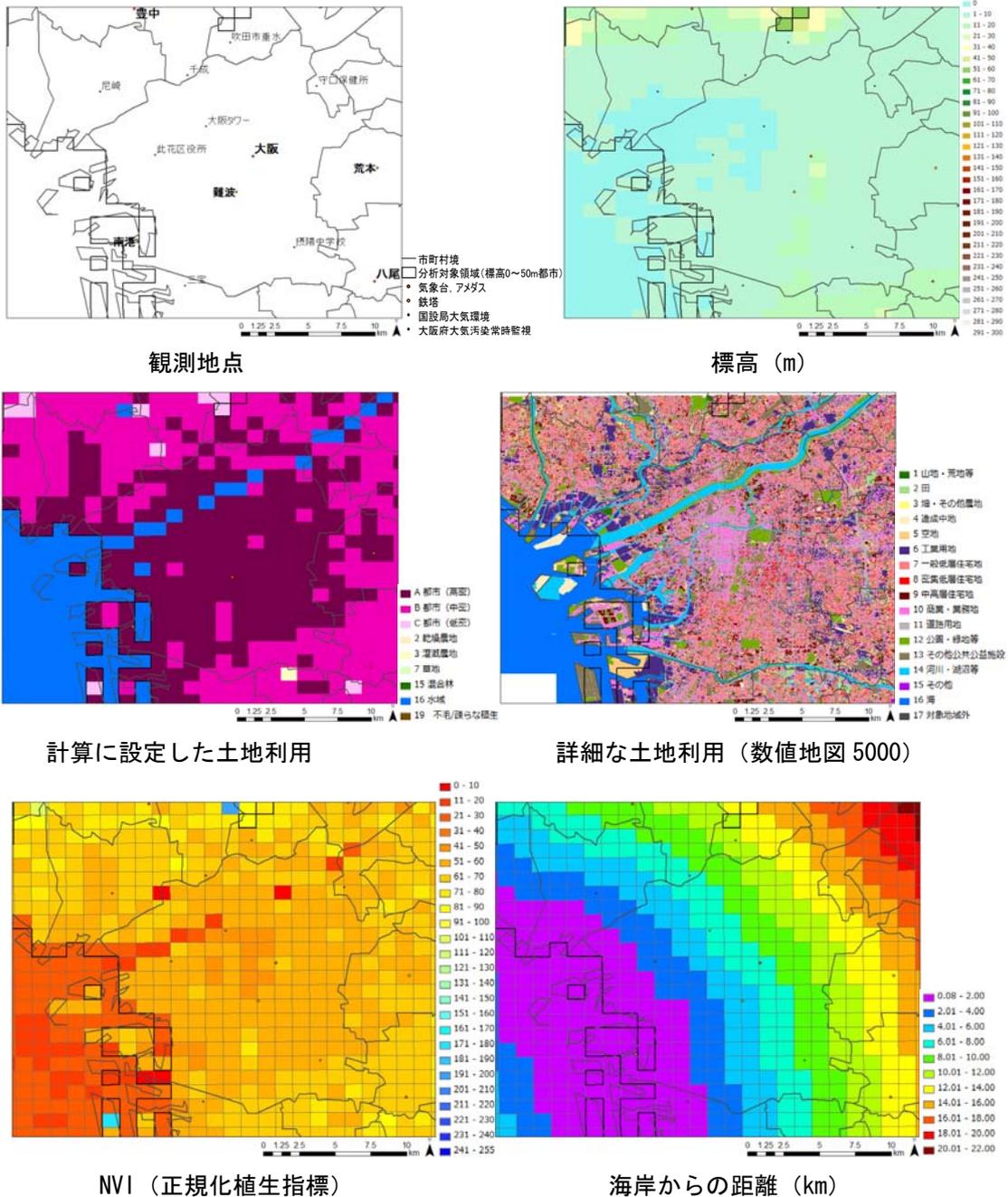
台風の影響で強風の日

図表 39 海風の影響を受けた日，北風の影響を受けた日，台風の影響で強風の日の中のそれぞれ代表日の 18 時の風速差分布（2006 年 8 月 3, 23, 15 日）

4. 環境配慮型都市に向けた提案

4-1. 市域スケールにおける都市環境気候地図

市域スケールにクローズアップして，都市環境気候地図を作成した．大阪湾沿岸に位置する大阪市と尼崎市，内陸に位置する大阪平野北東部の枚方市，大阪平野東部の東大阪市と八尾市を対象とした．広域スケールの都市環境気候地図と同様の方法で作成し，風配図は，広域スケールでは示されなかった地点を追加した．その際，観測値と計算値の風向の比較も行った．例として大阪市を中心とする都市環境気候地図の作成に用いた基礎データを図表 40 に示す．



図表 40 大阪市を中心とする都市環境気候地図の作成に用いた基礎データ

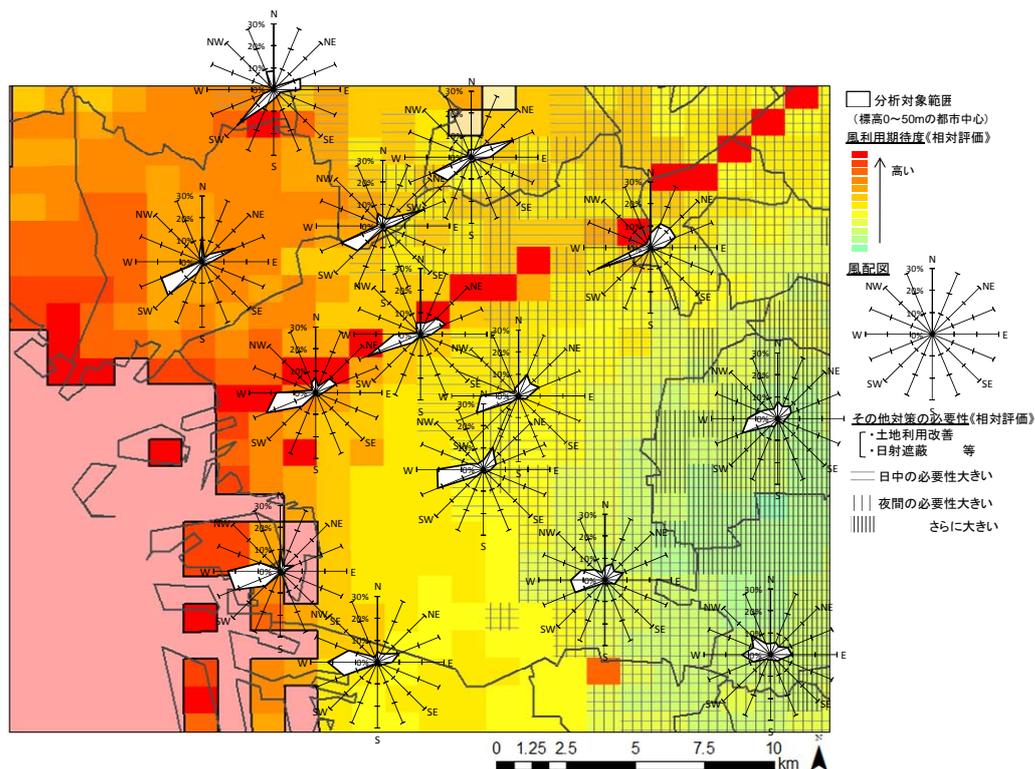
4-2. 大阪市を中心とする都市環境気候地図

2006年8月1ヵ月間、及び、海風に着目した分析による大阪市を中心とする都市環境気候地図を図表41、42に示す。

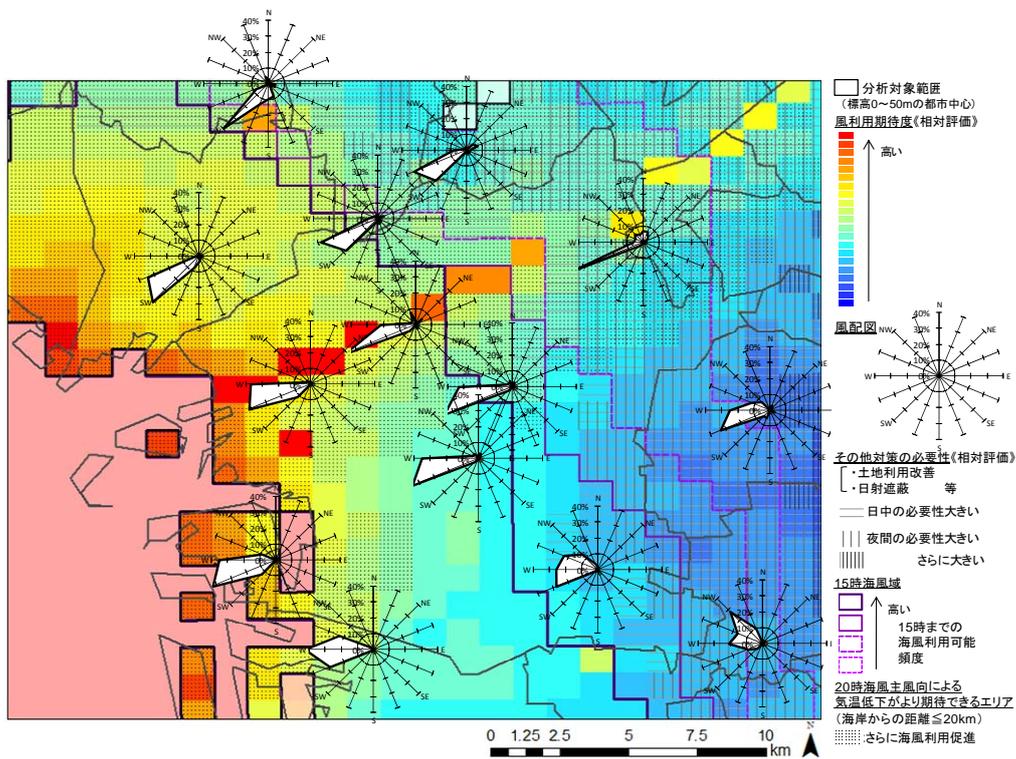
大阪市については、淀川周辺と大阪湾沿岸部で風利用期待度が高く、西南西から西、北東の風を取り込むことが有効である。淀川周辺は市内でも海風による気温低下の効果が大きく、海風の誘導促進と海風進入を阻害しない配慮が必要である。市東部は沿

岸部より風利用期待度が低く、その他の熱環境対策として、土地利用の改善や日射遮蔽対策、蓄熱抑制対策などが必要である。

尼崎市は、大阪平野の都市部の中で最も風利用期待度が高く、南西や西南西の風を誘導することが有効であり、海風による15時までの気温上昇抑制、夕方から夜間の気温低下の効果が大きい。



図表 41 2006年8月1ヵ月間の分析による大阪市を中心とする都市環境気候地図

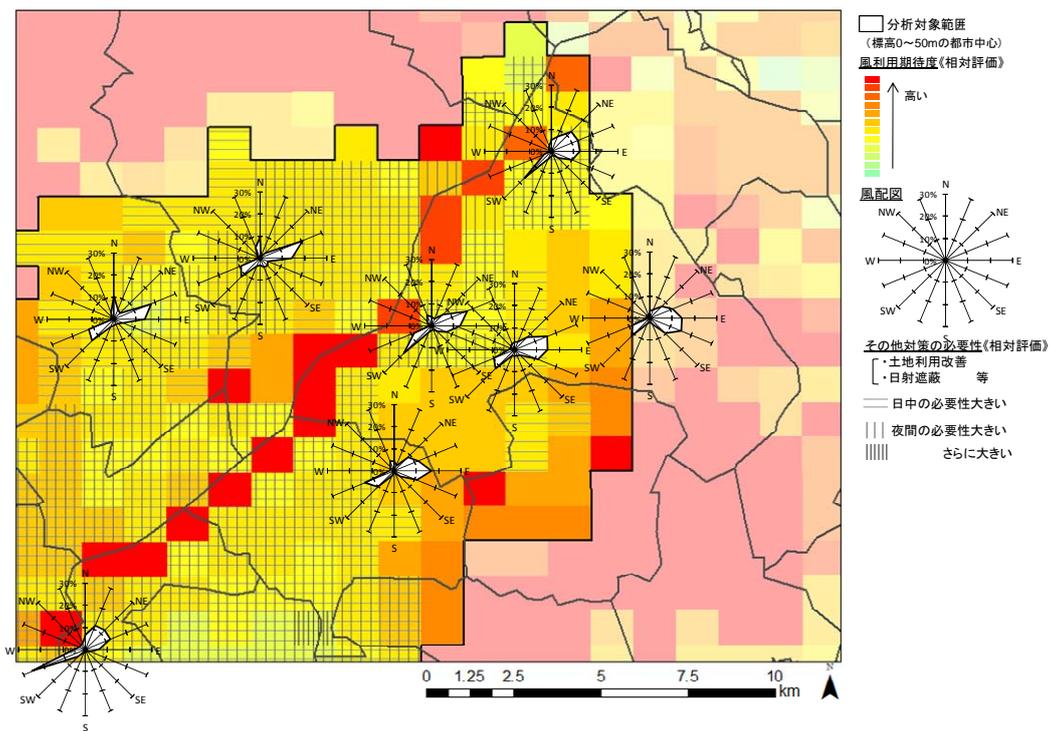


図表 42 海風に着目した分析による大阪市を中心とする都市環境気候地図

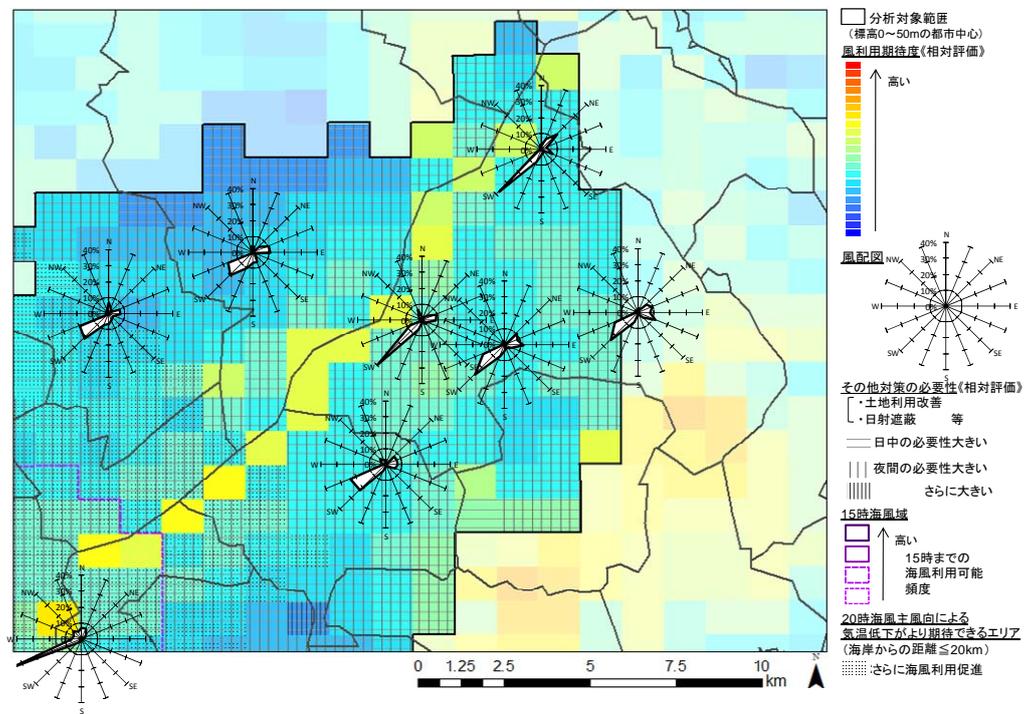
4-3. 大阪平野北東部の都市環境気候地図

2006年8月1ヵ月間、及び、海風に着目した分析による大阪平野北東部の都市環境気候地図を図表43、44に示す。

枚方市は、風利用は淀川周辺で有効であるが、大阪平野の都市部で相対的に風利用期待度が低く、土地利用の改善や日射遮蔽対策、蓄熱抑制対策なども必要である。



図表 43 2006年8月1ヵ月間の分析による大阪平野北東部の都市環境気候地図

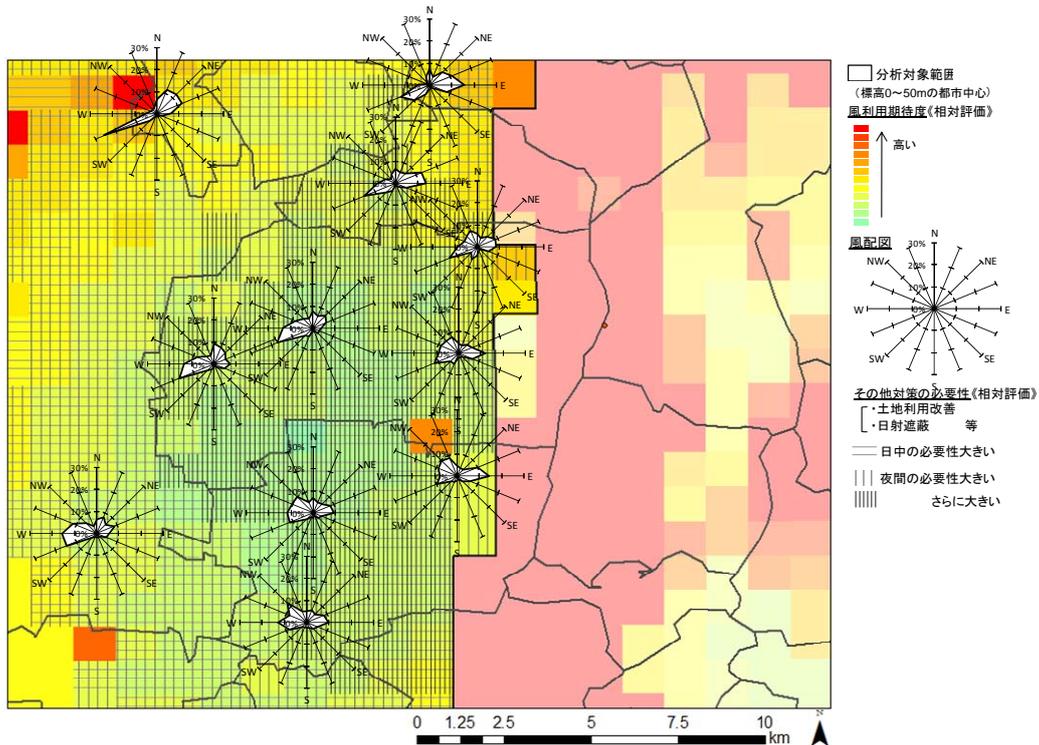


図表 44 海風に着目した分析による大阪平野北東部の都市環境気候地図

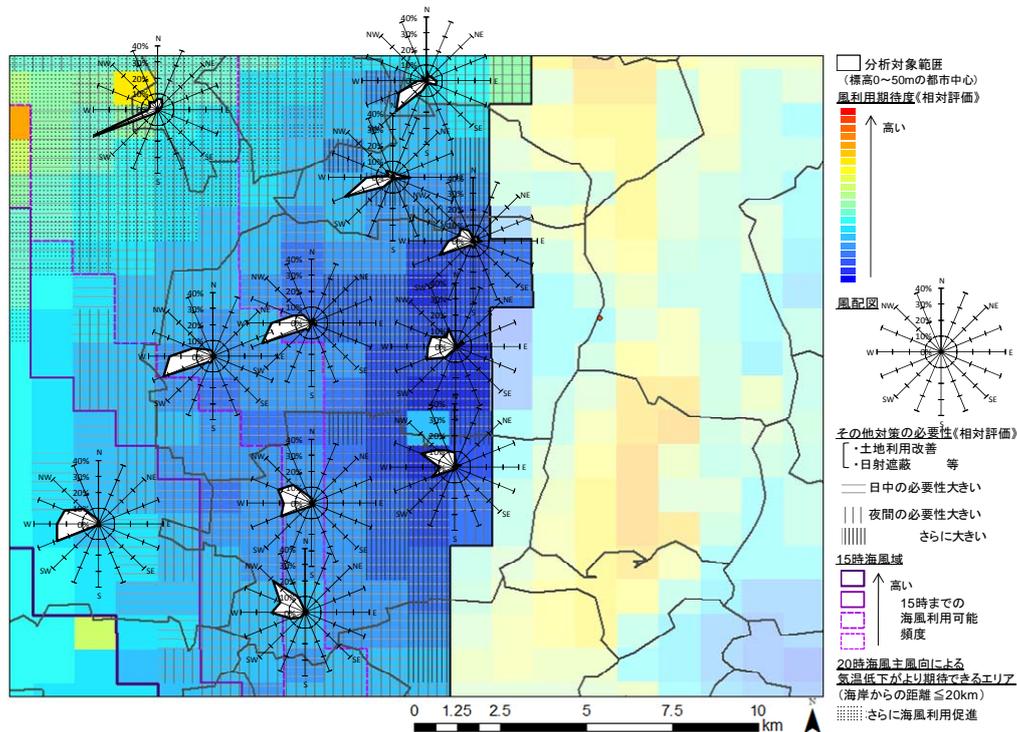
4-4. 大阪平野東部の都市環境気候地図

2006年8月1ヵ月間、及び、海風に着目した分析による大阪平野東部の都市環境気候地図を図表45、46に示す。

東大阪市や八尾市は、風利用期待度が大阪平野の都市部の中で相対的に低く、デグラワーも日中、夜間ともに大きいいため、土地利用の改善や日射遮蔽対策、蓄熱抑制対策などの熱環境対策が必要である。



図表45 2006年8月1ヵ月間の分析による大阪平野東部の都市環境気候地図



図表 46 海風に着目した分析による大阪平野東部の都市環境気候地図

5. まとめ

数値計算に用いたメソ気象モデル WRF の概要及び計算条件を整理した後に、大阪地域を対象として解析を行い、計算結果と観測結果の比較により計算精度を確認し、数値計算結果の気温、風分布の全体的な特徴を考察した。その後、広域スケールでの都市環境気候地図の作成方法について検討を行い、気候分析として風の特徴や気温形成の要因を分析し、建築や都市の計画において指針となるポイントを地図に表現した。特に、広域スケールにおける各地域の気候特性の把握、長期間の分析結果の表現方法などについて検討を行った。

都市の属性情報と気候解析結果の関係分析については、地域の気候を特徴づける要因として、標高、土地利用 (NVI)、海岸からの距離を想定した。海風日に海岸からの距離は気温のプラスへ大きく寄与し、NVI は気温のマイナスへ寄与した。北、東風が卓越する時は海岸からの距離は気温のマイナスへ寄与した。海風日の 15 時において海風の進入範囲で海岸からの距離が短いほど気温が低いことが顕著であった。20 時では海風の主風向が淀川方向となると、海岸からの距離が同じでも大阪平野北部の淀川周辺では気温が特に低下していた。海風域では海岸からの距離は気温のプラスへの寄与が大きくなり、NVI はマイナスへの寄与が大きくなった。海風域で NVI が高く気温の低い大阪平野南部と NVI が低く気温の高い大阪市市街地等の差を説明していると考察された。海風未到達域では海岸からの距離及び NVI では説明し難い気温形成となった。

大阪平野の標高 0～50m の都市部を対象として広域スケールにおける都市環境気候地図の作成方法について検討を行った。夏季の長期的分析として 2006 年 8 月 1 ヶ月間の分析による都市環境気候地図と、大阪地域の特徴である海風に着目した都市環境気候地図を作成した。海風に着目した都市環境気候地図は、特に海風の影響が大きいエリアで海風利用の計画指針が特色となることを想定して作成した。

気候分析地図には平均風速分布と風配図、デグリーアワー分布を表現した。海風に着目した気候分析地図には、それらに加え、15 時における海風域とその頻度、20 時において海岸からの距離が同程度の他の地域と比較して気温の低いエリアを表現した。計画指針地図は、気候分析地図における平均風速の大きさを風利用期待度の高さとし、風配図により頻度の高い風向を表現して風を利用する際に考慮すべき方向を示した。海風に着目した計画指針地図では、日最高気温となる 15 時までに海風の利用期待度が高いエリアと海風の影響を受けて低温となるエリアを表し、該当エリアでは海風を利用した建築、都市計画を推進し海風の進入を阻害しない配慮が必要であると指摘した。

全ての土地利用が自然地域に戻った場合を想定した潜在自然気候との比較を行い最大限の効果を把握することで、ヒートアイランド対策手法の導入効果の位置づけを明らかにした。気温差は、日中よりも夜間の方が大きく、10 時頃から上昇し、19～5 時頃に最大となった。夕方から夜間にかけての現存土地利用下での気温低下が、建物や道路における蓄熱の影響で小さいためである。風速差は、夜間よりも日中の方が大きく、一日を通して全体的にマイナスになった。在自然植生下の方が現存土地利用下より地表面の抵抗が小さいためである。台風の影響で強風の日を除いては、午前中の効果は 0～0.5℃程度、午後は 0.5～2℃程度、夕方から夜間にかけては 2～2.5℃程度と考察された。ただし、風向によって気温差の生じる地域が異なり、ヒートアイランド対策効果も風上、風下地域に応じて若干変化すると考察された。

環境配慮型都市に向けた提案として、市域スケールにクローズアップした都市環境気候地図を作成した。大阪湾沿岸に位置する大阪市と尼崎市、内陸に位置する大阪平野北東部の枚方市、大阪平野東部の東大阪市と八尾市を対象とした。広域スケールの都市環境気候地図と同様の方法で作成し、風配図は、広域スケールでは示されなかった地点を追加した。その際、観測値と計算値の風向の比較も行った。

本研究では大阪地域を対象として検討を進めたが、同様のアプローチは他の都市を対象としても適用可能であり、アウトプットとして得られた都市環境気候地図にはよりローカルな情報が反映される点が一つの重要な特徴であるが、作成方法の検討は普遍的な内容であり、他の都市に対しても応用可能である。日本の主要都市において地域の気候特性に応じた都市環境気候地図が整備されることは、今後の我が国の国土政策において、環境配慮型都市の構築を目指す際に、それぞれの地域の実情に応じた施策の選択を適切に誘導するものであると考えられる。

謝辞

本研究は、神戸大学大学院工学研究科竹林研究室の大学院2年生北尾菜々子さんの修士論文、及び、学部4年生乾友紀子さんの卒業論文の一環として実施された。摂南大学理工学部住環境デザイン学科の森山正和教授、榊愛講師、広島大学大学院工学研究科建築学専攻の田中貴宏准教授には適宜貴重な助言を頂いた。ドイツのシュツットガルト大学ユルゲン・バウミュラー教授には来日の際に適切なアドバイスを頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 森山正和編, ヒートアイランドの対策と技術, 学芸出版社, 42-58(2004)
- 2) 空気調和・衛生工学会編, ヒートアイランド対策 都市平熱化計画の考え方・進め方, オーム社 (2009)
- 3) 日本建築学会編, 都市環境のクリマアトラス 気候情報を活かした都市づくり, ぎょうせい (2000)
- 4) City of Stuttgart, Office for Environmental Protection, Section of Urban Climatology, http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?climate_in_stuttgart, 2010.4.1 参照
- 5) City of Stuttgart, Office for Environmental Protection, Section of Urban Climatology, Climate Atlas of the Region of Stuttgart, (2008), http://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/klimaatlas/Klimaatlas-Region-Stuttgart-2008.pdf, 2010.4.1 参照
- 6) 田中貴宏, 山崎恵子, 森山正和, 地方自治体の都市計画関連業務を支援するための都市環境気候地図のあり方に関する研究 GIS を活用した大阪府堺市の都市環境気候地図の作成, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), D-1, 969-970(2008)
- 7) 田中貴宏, 山下卓洋, 森山正和, 「都市環境気候図」を利用した多主体参加型まちづくりワークショップに関する研究 神戸市長田区駒ヶ林地区におけるワークショップの実践, 日本建築学会環境系論文集, No. 611, 91-98(2007)
- 8) Hirotooshi Yoda, Climate Atlas In Fukuoka City, B5-4, in Proceedings of The 7th International Conference on Urban Climate, 29 June-3 July 2009, Yokohama, 4pages (2009)
- 9) Ng, E., Ren, C., Katzschner, L., Urban Climatic Mapping in Hong Kong, in Proceedings of 2nd International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands, 21-23 Sept. 2009, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 14pages (2009)
- 10) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers., J. G., A description of Advanced Research

WRF Version3, NCAR/TN-475+STR, (2008)

- 11) 川本陽一, 大岡龍三, 都市キャノピーモデルの組み込みによる建物群の影響の反映 MM5 を用いた都市気候解析モデルの構築 (その 2), 日本建築学会環境系論文集, Vol. 74, No. 642, 1009-1018(2009)
- 12) 飯塚悟, 金原和矢, 日下博幸, 原政之, 秋本祐子, 夏季の名古屋の温熱環境を対象とした現状再現の精度検証と疑似温暖化手法を併用した将来予測の試み 領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション (その 1), 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No. 647, 87-93(2010)
- 13) 北尾菜々子, 森山正和, 田中貴宏, 竹林英樹, メソ気象モデル WRF を用いた大阪地域のヒートアイランド現象に関する研究 潜在自然植生の概念を用いた都市化の影響評価, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No. 651, 465-471(2010)
- 14) Tuexen, R., Die heutige potentielle natuerliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskrtierung, Beriche zur deutschen Landeskunde, 19(2), 200-246(1956)
- 15) 楠本良延, 小池文人, 藤原一繪, 環境要因に基づく潜在自然植生の推定と地図化, ランドスケープ研究, 65(5), 563-568(2002)
- 16) 宮脇昭, 日本植生誌, 至文堂, 1980-1996
- 17) 宮脇昭, 藤原一繪, 鈴木邦雄, 奥田重俊, 近畿圏の潜在自然植生, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 4(1), 113-148(1978)