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

A STUDY ON MAKING METHOD OF CLIMATE ATLAS IN OSAKA REGION

北尾菜々子 — * 1 森山正和 — * 2
竹林英樹 — * 3 田中貴宏 — * 4

Nanako KITAO — * 1 Masakazu MORIYAMA — * 2
Hideki TAKEBAYASHI — * 3 Takahiro TANAKA — * 4

キーワード：
都市環境気候地図, WRF モデル, 気候解析, 大阪地域

Keywords:
Climate atlas, Weather research and forecasting model, Climate analysis, Osaka region

The purpose of this study is to make regional climate atlas in Osaka region for suggesting the pro-environmental urban planning. Three points were concerned; long-term analysis of urban climate, use of observed data and meso-scale numerical calculation and making method of regional climate atlas. For first point, the observed data was used and the calculation period was set for a month, August 2006 using WRF model. To represent the result of long-term analysis, the distribution of degree-hour and averaged wind speed and the wind rose were made. Consequently, the climate atlas represents the difference of the characteristic of urban climate.

1. はじめに

地域の気候に配慮した建築, 都市づくりを支援するための都市環境気候地図(クリマアトラス)は, ドイツにおいて作成されていたものを参考に日本でも研究, 作成されるようになった¹⁾. 最近では香港においても地元の研究者により作成されており²⁾, 世界的にもその重要性が認識されつつある. それらは概ね地形図, 土地利用図, 表面温度分布などの気候分析の基礎地図とそれらを統合した気候分析地図, 計画指針地図により構成される³⁾. 例えば大阪地域においては大阪市や堺市のスケールにおいて特定の再開発エリアや土地利用計画等に対する指針を示すとの観点から作成されたものがある⁴⁾.

それに対し, ドイツでは, シュツットガルト市と周辺5つの郡で構成されるシュツットガルト地域(面積 3654k m²)を対象として KlimaAtlas が作成されており, 都市全体の視点から計画の指針を導くことも重要であると指摘されている⁵⁾. ただし作成方法は, 従来と同様に土地利用と風の分析に基づくものであり, 広域に適用するにあたって特別な解析は追加されていないようである. 日本においても東京都や大阪府などの自治体が熱環境マップを作成し, 分類された地域に応じた適切な対策技術の選定が推奨されている^{6,7)}. しかし, これらの熱環境マップでは主に地表面被覆に応じた顕熱流及び建築物等からの排熱の状況に応じて地域が分類されており, ドイツや香港の事例においても注目され, 日本でも風の道として理解が浸透しつつある海陸風, 山谷風, 緑地からのにじみ出しなどの風の有効利用の概念が十分に反映されているとはいえない.

そこで, 本研究では土地利用や人工排熱の影響とともに風の影響も考慮した, より総合的な広域スケールの都市環境気候地図の作成方法について, 大阪湾と大阪平野周辺地域を対象として検討を行う.

併せて, 従来の検討では十分に解析出来ていなかった, より長い期間の様々な気象条件のデータを対象とし, 気候分析地図に統合する方法についても検討を行う.

2. 気候分析の概要

2.1 観測データの概要

暑熱化の人体等への影響が著しい夏季を気候分析の対象とし, 対象期間として典型的な夏の気象条件であった2006年8月1~31日を選定した. 気象官署, 地域気象観測システム(アメダス), 神戸大学と大阪市立大学が上空気象データ把握のために測定機を設置している鉄塔での観測データを用いた. これらのデータは気候分析のための気象条件の整理及び計算値と観測値の比較に用いた.

2.2 数値計算(メソ気象モデルWRF)の概要

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. WRFは近年都市環境の研究でも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.

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. 物理過程として, 雲物理過程, 積雲過程, 地表面過程, 大気境界層過程, 放射過程が考慮され相互に影響する. 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る. 都市域には, 建物間の相互放射やキャノピー層内の風プロファイルを考慮して屋根面, 壁面, 道路面からの多層伝熱方程式が解かれる都市キ

¹⁾ 大阪府庁 技師・修士(工学)
(〒559-8555 大阪市住之江区南港北1-14-16)

²⁾ 摂南大学理工学部住環境デザイン学科 教授・工博

³⁾ 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

⁴⁾ 広島大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

¹⁾ Engineer, Osaka Prefectural Government, M. Eng.

²⁾ Prof., Dept. of Living and Environmental Design, Faculty of Science and Engineering, Setsunan Univ., Dr. Eng.

³⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Dr. Eng.

⁴⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Hiroshima Univ., Dr. Eng.

ャノピーモデル (UCM) が組み込まれている。

2.3 計算条件

計算条件を表1にまとめる。ネスティング手法を用い、計算対象領域として Domain1, 2 を設定した。Domain1 は 360km 四方, Domain2 は 120km 四方で、考察対象は Domain2 である。計算対象領域及び計算値と観測値の比較を行う観測地点を図1に示す。都市キャノピーモデル (UCM) を用いると、都市の土地利用を3分類まで設定することができるため、国土数値情報を基にした土地利用分類で都市と判定されたメッシュについて、LANDSAT7 号の ETM+の衛星画像 (2001 年 10 月 5 日取得) を用いて算出した正規化植生指標 (NVI) を利用し、都市化の度合に応じて3つに分類した。都市化の度合の大きい都市 A, 中程度の都市 B, 小さい都市 C とした。土地利用の設定を図2に示す。パラメータの設定としては、建蔽率を都市 A: 44%, 都市 B: 38%, 都市 C: 29%, 地表面蒸発効率を都市 A: 7%, 都市 B: 11%, 都市 C: 18% とした。他は全てデフォルト値を用いた⁸⁾。

2.4 計算値と観測値の比較

Domain2 (1km×1km メッシュ) 内のアメダス6地点と鉄塔4地点で計算値と観測値の比較を行った。各地点における気温と風速のバイアス, RMSE (Root Mean Square Error), 相関係数を表2に、大阪管区気象台と難波鉄塔での風配図を図3に示す。表2に観測値の測定高さで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た。風配図は、他の地点でもこの2地点と同様の傾向にあり、風向の傾向は概ね一致していた。

3. 広域スケールにおける都市環境気候地図の検討

3.1 観測値による気象条件の分析

気圧配置に基づいて気象条件の違いを考察するとともに、気象官署、アメダス、鉄塔のデータを用いて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、晴天日の定義は、「天気は快晴または晴 (平均雲量 8.4 以下), 日照時間 7.0 時間以上, 日積算全日射量 19MJ/m² 以上, 降水量 0.5mm 未満の条件を満たす日」とした。また、海風日の定義は、「12~23 時の 12 時間中に風速 2m/s 以上かつ風向が西か西南西である時間が 6 時間 (50%) 以上である日」とした。大阪管区気象台のデータでは、2006 年 8 月に晴天日は 16 日間と分類され、海風日は 14 日間と分類された。

3.2 数値計算による気温と風の分布の考察

数値計算結果より 1 時間毎の気温と風の分布図を作成し考察した。

表1 WRF の計算条件

Case	現存土地利用(UCM使用, 人工排熱考慮)
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	気象庁メソ観測解析値(3時間間隔, 10km格子, 20層) NCEP再解析全球観測解析データ(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
積雲パラメライゼーション	なし
4次元同化	なし

これらの時系列データを統合して地図に示す方法として、気温及び風速を積算した気温のデグリーアワー分布及び平均風速分布に風配図を重ねた図を作成した。気温のデグリーアワーは、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。日中のデグリーアワーは大阪平野内陸部, 夜間のデグリーアワーは大阪平野内陸部の特に東部で大きくなった。平均風速分布は淀川上や大阪湾沿岸部で大きくなった。

気候分析地図には、気温のデグリーアワー分布について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て表すこととした。図4には、連続して海風日となった 2006 年 8 月 3, 4, 5, 6 日の4日間における気温のデグリーアワー分布を標準偏差で表したものを示す。計算結果の毎日の気温, 風分布を検討したところ、海風日の他に北風や台風の影響を受けた日, 雨天日などで分布傾向が異なり、それらのデータを対象期間全体で平均すると空間分布の特徴が平準化される傾向が見られた。そこで本研究では、

図1 計算対象領域及び計算値と観測値の比較を行う観測地点
● アメダス地点, ● 鉄塔地点

図2 土地利用の設定 (Domain2) () 内数字はメッシュ数

表2 計算値と観測値の気温と風速のバイアス, RMSE, 相関係数

気温	観測値[m]	計算値[m]	Bias[°C]	RMSE[°C]	Correlation
アメダス	大阪	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	41	-1.32	1.74	0.84
	難波		-1.11	1.59	0.87
	荒本		-0.65	1.41	0.86
	石切		-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	10	-0.36	1.17	0.73
	神戸		-0.66	1.45	0.69
	豊中		-0.64	1.47	0.66
	枚方		0.72	1.35	0.62
	堺		0.59	1.28	0.65
	八尾		-0.95	1.52	0.75
鉄塔	南港	41	0.12	1.51	0.69
	難波		0.73	1.69	0.71
	荒本		0.43	1.54	0.59
	石切		0.56	1.67	0.70

特徴的な期間を抜き出した典型的な空間分布と、夏季を通した平均的な空間分布を表現することの両方を目的として整備することとした。典型的な空間分布の作成には、分布の特徴が表現されるように、よく似た気象条件の日を試行錯誤により選択した。

3.3 気温分布の形成要因の分析

気温分布を形成する要因として、標高や土地利用（NVI）、海岸からの距離を想定し、Domain2の範囲においてその関係进行分析した。標高と気温には負の相関が確認された。次に、検討の対象を大阪平野の標高0～50mの都市部に限定し、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。海風日に海岸か

図3 大阪管区気象台（左）と難波鉄塔（右）での風配図

図4 日中（左）と夜間（右）のデグリーアワー分布（標準偏差）

図5 海岸からの距離が同程度の他地域より20時の気温が低い範囲

図6 15時における海風域とその頻度

図7 8月1ヵ月間の分析による都市環境気候地図（上）と海風に着目した都市環境気候地図（下）

気候分析地図の凡例

□ 分析対象範囲
(標高0～50mの都市中心)

平均風速[m/s]

風配図

日中デグリーアワー(30℃以上)

標準偏差0.5以上

— 0.50 - 1.3 Std. Dev.

夜間デグリーアワー(25℃以上)

標準偏差0.5以上

||| 0.50 - 1.5 Std. Dev.

||||| 1.5 - 1.8 Std. Dev.

15時海風域

20時海風主風向により

気温が低いエリア

(海岸からの距離≤20km)

20時T≤2次式

計画指針地図の凡例

□ 分析対象範囲
(標高0～50mの都市中心)

風利用期待度《相対評価》

風配図

その他対策の必要性《相対評価》

□ 土地利用改善

□ 日射遮蔽 等

||| 日中の必要性大きい

||||| 夜間の必要性大きい

||||| さらに大きい

15時海風域

20時海風主風向による

気温低下がより期待できるエリア

(海岸からの距離≤20km)

さらに海風利用促進

らの距離が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。北及び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。更に、海岸からの距離と気温との単回帰分析を行った。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の場合に、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特に気温が低下していた。海風に着目した気候分析地図に表現した、海岸からの距離が同程度である他の地域と比較して20時の気温が低い範囲を図5に示す。図5では、この現象がみられた2006年8月3、4、6日での該当地域とその日数を表している。

3.4 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との風速の差をとり、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。海風日である2006年8月3、4、5、6日では15時での海風域の範囲に若干の違いが確認されたが、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ところ、海風域では海岸からの距離が気温のプラスへ寄与する割合が大きく、NVI はマイナスへの寄与が大きくなった。海風域内においてNVI が大きく気温の低い大阪平野南部とNVI が小さく気温の高い大阪市市街地等との差を説明していると考察された。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。海風に着目した気候分析地図に表現した、2006年8月3、4、5、6日の15時における海風域とその頻度を図6に示す。

3.5 広域スケールの都市環境気候地図

気候分析を行った大阪平野の標高0～50mの地域を対象に作成した都市環境気候地図を図7に示す。気候分析結果に基づいて計画指針を検討したところ、気候分析の分類結果に対応した計画指針が導かれた。そこで、地図上での表現は一つの図に統合し、気候分析図及び計画指針図の凡例をそれぞれ添付し、都市環境気候地図とした。夏季を通した分析結果として2006年8月1ヵ月間を対象にした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、対象地域全体が海風を受け、連続して海風日となった2006年8月3、4、5、6日の分析から作成した。

計画指針地図では、気候分析地図における平均風速が大きい場合に風利用期待度が高いと表現し、風配図により頻度の多い風向を表現することで、風を利用する際に考慮すべき風向を示した。デグリーアワーで標準偏差がプラスに大きいエリアは、地図対象領域内で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現し、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。

4. まとめ

大阪地域を対象として、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、メソスケールモデルの計算結果を用いて気温、風分布の特性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。特に注目して検討した事項は以下の3点である。

- ・夏季を通した気象状況を考察し、夏季全体だけでなくこの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することとした。
- ・1時間毎の気温と風の分布を考察し、気温のデグリーアワー分布及び平均風速分布に風配図を重ねた地図を作成することで、これらの時系列データを統合した。
- ・気温分布の形成要因として海岸からの距離が卓越する様子を考察し、特に気温が低くなる地域を表現するとともに、海風前線を推定することで海風の利用期待度が高いエリアを表現した。

従来から整備されてきたドイツのクリマアトラスや各自自治体の熱環境マップでは主に地表面熱収支に基づいたクリマトープ⁹⁾に相当するものがベースに示されているが、本研究では風の有効利用の概念を計画指針に反映させる点に注目して検討を行った。ただし、対象領域が広域であるため、斜面冷気流や緑地からの冷気のにじみ出しなどは表現されていない。今後はスケールを絞りこれらの風利用を表現するような都市環境気候地図についても検討を進める予定である。

謝辞 本研究を進めるに当たり、摂南大学の榊愛先生、大阪大学の近藤明先生、神戸大学の大澤輝夫先生より貴重な助言を頂いた。本研究は平成22年度科学研究費補助金基盤研究B(課題番号20360261、代表森山正和)、平成22年度国土政策関係研究支援事業(代表竹林英樹)による支援を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会、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
- 2) Ng, E., Ren, C., Katzschner, L., Urban Climatic Mapping in Hong Kong, Proceedings of 2nd International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands, 14pages, 2009
- 3) ドイツ工業協会、環境気象学—都市・地域計画のための気候環境地図—、環境情報科学センター、2004
- 4) 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、D-1、969-970、2008.9
- 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) 東京都、ヒートアイランド対策ガイドライン、2005, <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/attachement/heatguideline.pdf>, 2011.3.9 参照
- 7) 大阪府、ヒートアイランド対策ガイドライン、2007, <http://www.pref.osaka.jp/chikyukankyo/jigyotoppage/guideline.html>, 2011.3.9 参照
- 8) Tewari, M., Chen, F., Kusaka H., Miao S., Coupled WRF/Unified Noah/Urban-Canopy Modeling System, <http://www.rap.ucar.edu/research/land/technology/urban/WRF-LSM-Urban.pdf>, 2010.4.1 参照
- 9) 森山正和、竹林英樹、正規化植生指標(NVI)と一次元熱収支モデルに基づいたクリマトープ図の作成手法に関する研究、日本建築学会計画系論文集、518、61-65、1999.4

[2011年3月28日原稿受理 2011年9月6日採用決定]