

大阪市域における熱環境改善策導入効果の数値実験

Numerical Experiment for Evaluation of Thermal Environmental Countermeasures
in Osaka City and Its Suburbs

田村英寿* 水鳥雅文* 丸山康樹* 大西正記** 榎元慶子*** 岩坪哲四郎****
Hidetoshi TAMURA* Masafumi MIZUTORI* Kohki MARUYAMA*
Masanori OHNISHI** Keiko MASUMOTO*** Tetsusirou IWATSUBO****

ABSTRACT ; An 'urban heat island' phenomenon is feared for raising a peak of energy demand in summer daytime. Some reports indicate that heat island phenomenon is observed around Osaka city. Thus, it is desired to decrease temperature in Osaka area by introducing some countermeasures. The purpose of this study is to evaluate the effect of some countermeasures for improving thermal environment in Osaka area. To estimate these effects, we adopt the three dimensional numerical model developed by authors to Osaka city and its suburbs on a specific summer day. In this model, air temperature and wind velocity are simulated. We apply this model to estimate the effect of 'urban afforestation' and 'decreasing artificial heat exhausts'. The effect of each countermeasure is evaluated from the simulated results with and without each countermeasure.

KEYWORDS ; heat island, numerical simulation, afforestation, artificial heat, Osaka city

1 はじめに

ヒートアイランド現象による都市の気温上昇は、夏場における快適性を低下させると同時に、エアコンによる電力消費量を増大させる側面をもっている¹⁾。一般に、人口の多い大都市ほど郊外と較べて気温が高くなりやすいことが指摘されているが²⁾、このことはヒートアイランド現象が大都市における夏場の最大電力需要を押し上げ、エネルギーの無駄遣いや発電設備等の稼働率（負荷率）の低下をもたらしている可能性があることを示唆している。

人口約250万人を擁する大阪市を中心とした関西圏においても、他の大都市圏と同様にヒートアイランド現象が顕在化していることが、現地実測や気象データ解析等から示唆されている^{3),4)}。このため、同地域に様々な熱環境改善策を導入することによって、夏場における省エネルギーや日中の最大電力需要の低減に寄与できるものと期待される。

こうした背景から、本研究では、晴天で弱風の真夏日における大阪市域を対象として、「省エネ等による人工排熱の削減」や「都市緑化の推進」などといった具体的な熱環境改善策を導入した場合を想定し、三次元数値シミュレーションによって、気温低下効果の現れ方を予測することを目的とする。

* (財)電力中央研究所 環境科学部 Environmental Science Department., Central Research Institute of Electric Power Industry

** 関西電力(株) 能力開発センター Human Development Center, The Kansai Electric Power Company, inc.

*** (財)地球環境センター 事業部 Project Department, Global Environment Centre Foundation

**** (財)電力中央研究所 プラント熱工学部 Thermal Engineering Department., Central Research Institute of Electric Power Industry

2. 数値モデルおよび計算条件の概要

2. 1 数値モデルの概要

本研究で使用した数値モデルは、数10～数100km四方形程度の水平領域を対象として、大気中の風速・気温・比湿（水蒸気量）や地表・地中の温度の分布を非定常的に予測できるものであり、以下の3つのサブモデルから構成されている。なお、方程式や地表パラメータ等の詳細については、既報⁶⁾を参照されたい。

(1) 地表・海表サブモデル

市街地・緑地・水面などといった土地被覆毎の熱特性パラメータ（粗度長・蒸発効率・熱容量・熱伝導率等）に応じて、大気への運動量・熱・比湿のフラックス、地中・海中への熱伝導量を計算する。また、日射・長波放射・人工排熱等を考慮した地表面熱収支式から地表面温度を計算する。

(2) 大気サブモデル

地表・海表からのフラックスを受け、運動方程式、連続式、温度・比湿の輸送方程式により、大気中の風速・気温・比湿を三次元的に計算する。なお、方程式には静力学近似とブジネスク近似が用いられている。また、本モデルでは、地表・海表と大気の水分解能が同一でなくても、大気へのフラックスを計算することができる。例えば、大気中は水分解能1km、地表面熱収支は500mで計算され、地表の4つ（2×2）のメッシュからのフラックスを足しあわせたものが大気に受け渡される。この方法では、大気分解能以下の小スケールの熱循環等までは考慮されない⁷⁾が、計算時間を大幅に増大させることなく、地表付近の温度を高分解能で予測することが可能である。

(3) 地中・海中サブモデル

地表・海表からの熱伝導量を受け、鉛直方向のみの熱伝導方程式によって地中・海中の温度を計算する。

2. 2 計算対象領域の概要

解析対象とした水平・鉛直計算領域を図-1に示す。水平方向には可変メッシュが用いられ、図中の領域中央部58km×50km内での分解能は、大気中で1km、地表以下で500mである。大気中の鉛直方向には、Kimura et al.(1991)⁸⁾を参考に地表に沿った座標系が用いられ、最上層を標高4800m、最下層を地上約10mとして下層ほど細かく15層を設定する。地中・海中は、それぞれ表面から深さ0.5m、2.0mまで等間隔に5層を設定する。

2. 3 計算条件の概略

(1) 気象・海象条件

大気中の計算初期条件は、大阪管区気象台における地上気温・湿度・日射量、輪島・潮岬・米子の高層気象観測による気温・湿度の鉛直分布をもとに設定した。また、海陸風の現れ方に大きく影響を及ぼすと考え

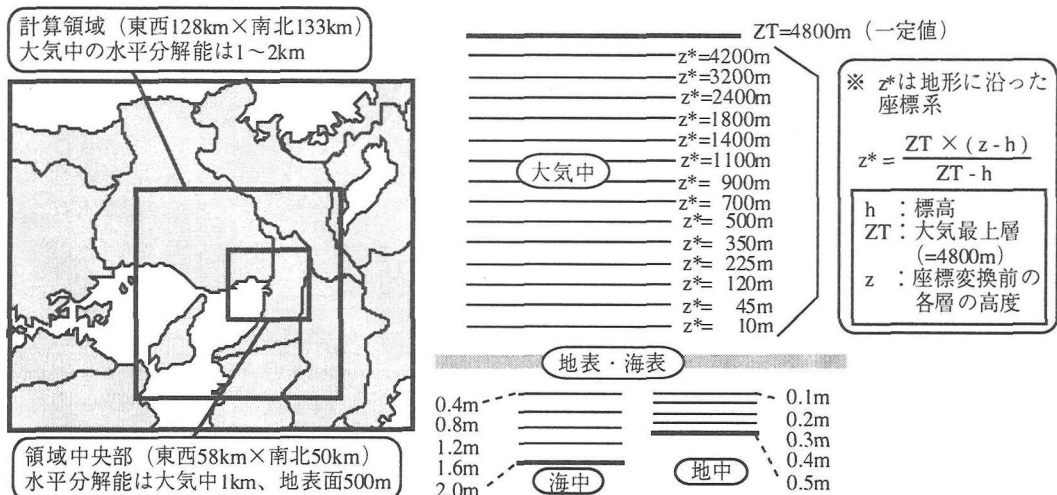


図-1 水平および鉛直方向の計算対象領域

られる海水温については、大阪湾湾奥の表層水温が湾口よりも約4℃高いという夏場の測定結果⁹⁾を参考に、面的な分布を考慮して初期値を設定した。なお、計算境界条件は、側方では一回微分ゼロとし、地中・海中の最下層と大気の上層では初期値のまま一定とした。

(2) 地表における地形・土地被覆・排熱の条件

地形（標高）および土地被覆の分布については、それぞれ国土数値情報の分解能約1kmの標高メッシュデータ、分解能約100mの土地利用区分メッシュデータをもとに設定した。また、エ

ネルギー消費に伴う排熱については、大阪市内は分解能250mの用途別床面積分布メッシュデータ、および分解能500mの自動車燃料メッシュデータ（いずれも大阪市の行政データ）にノ瀬(1994)¹⁰⁾によるエネルギー消費原単位を乗じる方法（原単位法）で設定し、市外は土地利用区分メッシュデータをもとに設定した。大阪市内における、建物・道路用地占有率、および14時の排熱密度分布を図-2に示す。大阪市内の海岸部以外的大部分で建物・道路用地が80%以上を占めることや、日中の市内中心部（梅田付近）で排熱密度がきわだって高いこと（約700W/m²）がわかる。

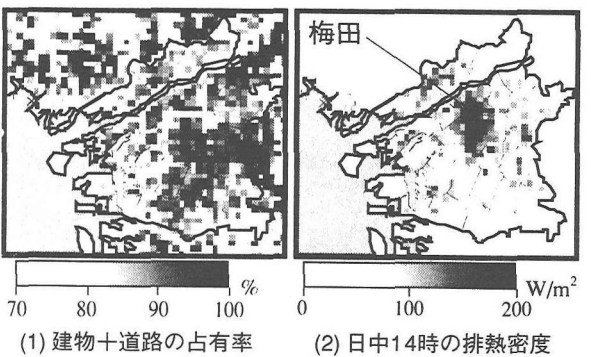


図-2 大阪市域における地表パラメータの分布

3. 真夏日の再現計算結果

晴天で弱風の真夏日であった1995年8月4日を対象として、上記の計算条件を設定した上で再現計算を実施した。計算は、午前8時を計算開始時刻として40時間分の非定常計算を実施し、最後の24時間分を考察対象とした。得られた計算結果を大阪市内における地上付近の気温や風速の実測データと比較検討した結果、実測データに見られる特徴が計算によって概ね正しく再現されることが確認された¹¹⁾。大阪市域における早朝5時と日中14時の地上気温・風速分布の計算結果を図-3に示す。これより、以下の特徴が示唆される。

1) 早朝5時には、大阪市内の東半分に高温域が見られる。早朝は風が弱く移流の効果が小さいため、建物・道路用地の占有率が高い地域（前出の図-2(1)参照）において気温が高くなったものと考えられる。

2) 日中14時には、大阪市内の東端を中心に高温域が形成され、大阪市内では大阪湾に近い西側ほど低温になっている。これは、日中に卓越する西よりの海風によって風下側に熱が移流されたためと考えられる。また、市内の中心部の梅田付近において局所的に気温が高くなっているが、これは排熱密度が局所的に高くなっている影響と推察される（前出の図-2(2)を参照）。

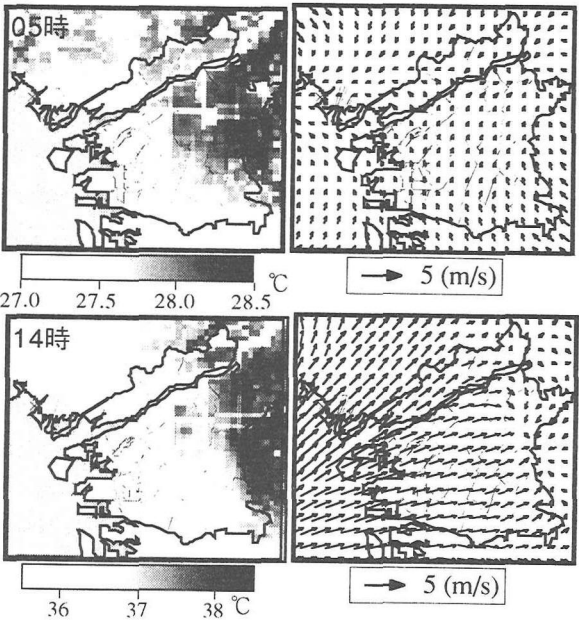


図-3 地上の気温・風速分布の計算結果

4. 熱環境改善策の導入効果予測

4. 1 改善策の概要

大阪市域に具体的な熱環境改善策を導入したときの気温低下量を予測した。今回は、以下の3つの方策を対象に、それぞれ現状の技術レベルで可能な最大量を想定して導入案を検討した(表-1)。

1) 省エネ技術導入
(CASE-1)：各種節電機器を導入¹²⁾して、

一般電力消費量のうち業務用を20%、家庭用を15%削減するとともに、空調機器の効率改善¹²⁾によって冷房電力消費量のうち業務用10%、家庭用の50%を削減する。これにより、大阪市内の日平均で17%排熱が削減される。

表-1 熱環境改善策の導入ケースの一覧

検討ケース	導入方法・導入量の概要(大阪市内)
省エネ技術導入 [CASE-1]	一般電力省エネ[業務20%、住宅15%]、冷房省エネ[業務10%、住宅50%]、空調機器効率改善[20%] → 大阪市内日平均で排熱17%減
省エネ+ヒートポンプ [CASE-2]	CASE-1の省エネ技術の導入に加えて、日中(8~18時)の業務冷房消費の10%を夜間(22~翌8時)に移行
都市緑化の促進 [CASE-3]	平屋根面の屋上緑化[オフィス30%、高層住宅50%]、街路樹の植樹[道路面の5%] → 大阪市内面積の15.1%分の緑被率増
※ 大阪市外については、各改善策とも上記の数値の半分の導入を仮定した。	

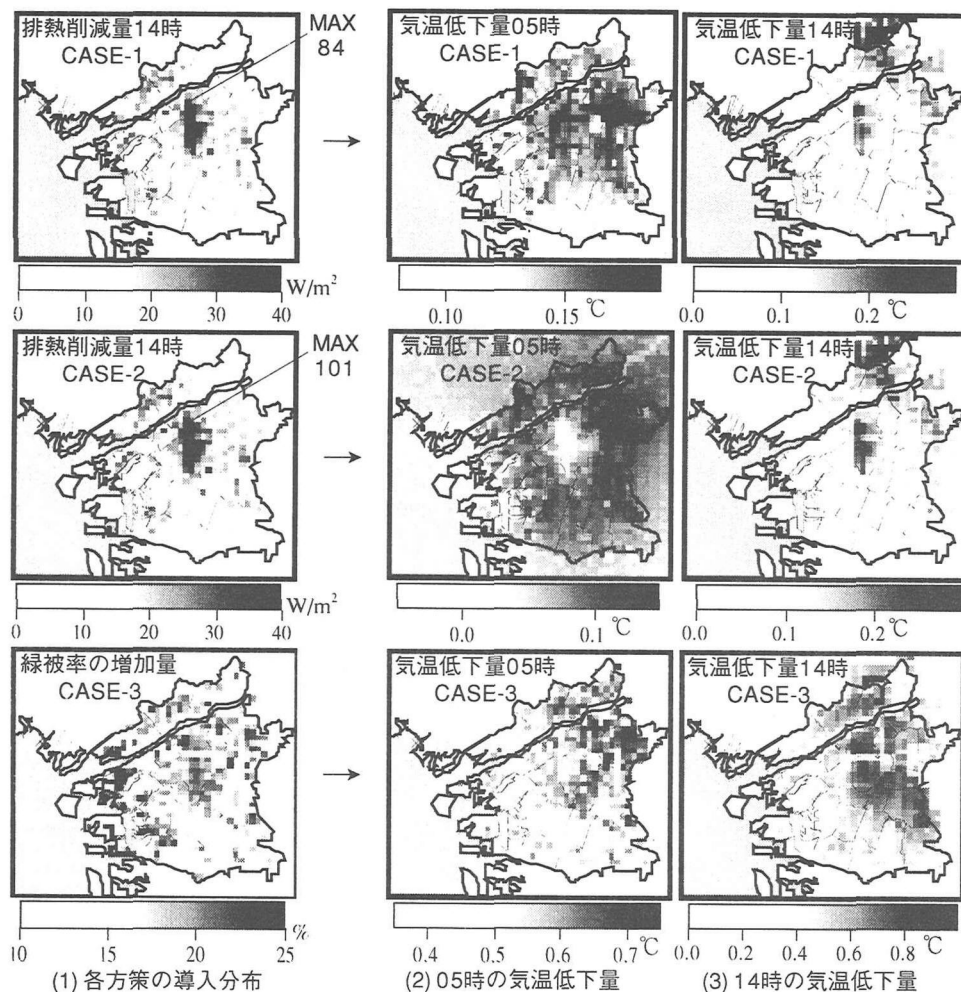


図-4 各方策導入時における気温低下量の計算結果

2) 省エネ+ピークシフト (CASE-2) : CASE-1の省エネ技術の導入に加えて、氷蓄熱などの蓄熱式空調システムによって日中8時~18時の業務用の冷房消費量のうちの10%を夜間の22~翌朝8時に移行させる。

3) 都市緑化の促進 (CASE-3) : オフィスの30%、高層住宅の50%について平屋根面の屋上緑化を行うとともに、道路面の5%を街路樹の植樹等で緑化する。これにより、大阪市内面積の約15%分、緑被率が增加する。なお、緑地の地表パラメーターには草地のものをを用いた。

なお、上記の数値は大阪市内における導入量であり、市外ではこれらの半分の数値とした。上記の各方策の導入による、CASE-1,2の日中14時の排熱削減量、およびCASE-3の緑被率増加量の分布を図-4(1)に示す。緑被率が市内全体で増加しているのに対して、排熱削減は市内中心部に集中していることが特徴である。

4. 2 気温低下量の予測結果

上記のCASE-1~3について、早朝5時と日中14時における地上気温低下量の計算結果を図-4(2),(3)に示す。これより、以下が示唆される。

1) 省エネ技術導入 (CASE-1) により、エネルギー消費密度の高い日中の市内中心部では、0.3℃程度気温が低下するが、市内の中心部以外の地域での気温低下はわずかである。

2) 1)の省エネ技術+ピークシフト策導入 (CASE-2) により、日中の市内中心部の気温はCASE-1よりもさらに低下するが、0.1℃程度である。また、早朝の市内中心部では気温が上昇するが、最大で0.1℃程度である。

3) 都市緑化促進 (CASE-3) により、日中の市内中心部の気温が0.9℃低下する。市内平均でも、日中・早朝ともに0.5℃低下する。

以上のように、省エネやピークシフトによる日中の気温低下量は、都市緑化を促進した場合と較べて、大阪市内平均で1/5程度、局所的に排熱密度の高い大阪市内中心部(梅田)では1/2程度と予測された。

4. 3 大阪市内の海岸部と中央部における効果の相違

最後に、大阪市内の海岸部と中央部における気温低下量の違いを調べた。両地域について、都市緑化促進時における緑被率増加量と気温低下量との関係を示したものが図-5である。これより以下が示唆される。

1) 日中において、海岸部よりも中央部の方が緑被率増加量に対する気温低下量は約2倍大きい。これは、海

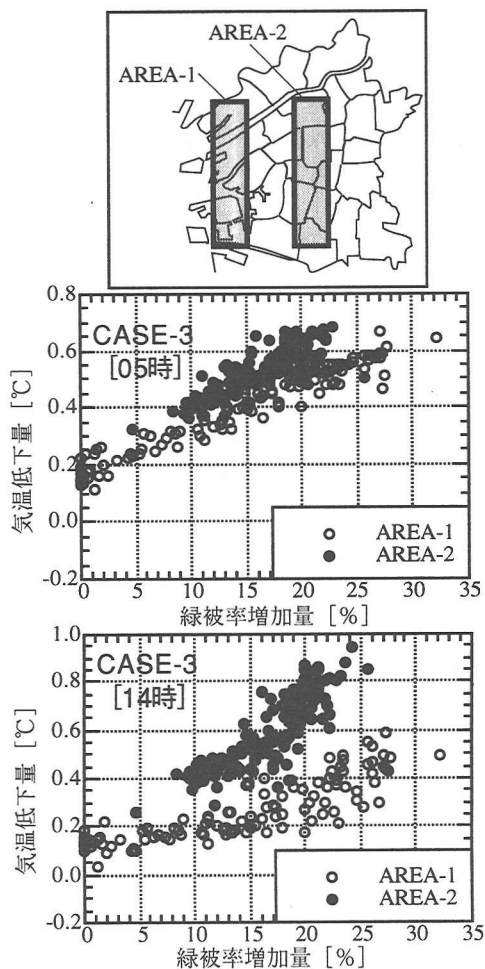


図-5 CASE-3の緑被率増加量と気温低下量の関係

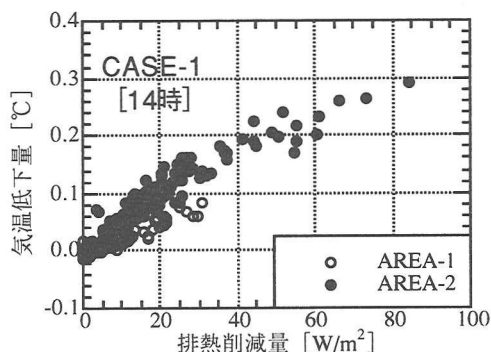


図-6 CASE-1の排熱削減量と気温低下量の関係

風による熱の移流が減少し、風下ほど効果が積算されて大きく現れたためと考えられる。

- 2) 緑被率がほとんど増加していない場所でも、早朝に0.2℃、日中に0.1℃程度の気温低下が見られる。これは、市内全域で広域的に緑化が施されたために、移流や拡散などによって大阪市内で全体的に気温が低下したためと考えられる。比較のため、CASE-1について日中14時の排熱削減量と気温低下量の関係を図-6に示す。排熱削減量がゼロの場所では気温低下量はほぼゼロである。これは排熱が削減された地域が市内中心部に偏在しているため、市内全体が気温低下するに至らなかったものと推察される。

5. おわりに

大阪市域に具体的な熱環境改善策を導入した場合を想定した数値実験を通じて、各改善策の導入時における気温低下量やその時空間的な現れ方の特徴を把握することができた。昨今の電力事業においては、夏場における負荷平準化が重大な関心事の一つであり、本研究で得られた知見は、今後、夏場における効果的な方策の種類や導入方法に反映されるものと期待される。なお、今後は、街区スケールで気温や風速等を考慮できる数値モデル等により、建物配置による風通しなど、よりきめ細かい予測を行うことが課題である。

最後に、本研究を遂行するにあたり、(株)アーク情報システムの鈴木宏氏には、数値シミュレーションの実施に際して多大なご協力をいただいた。ここに記して、心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 水鳥雅文：ヒートアイランド現象とエネルギー問題、電気協会雑誌、9年2月号、pp.32-36、1997
- 2) Oke, T.R. : City Size and the Urban Heat Island, Atmospheric Environment, Pergamon Press 1973, Vol.7, pp.769-779, 1973
- 3) 西田実・河野仁・馬越宏輔・梶野繁・中野博支・尾田晃一・豊田治・梶元慶子：大阪におけるヒートアイランド、クールアイランドの構造と緑化によるヒートアイランド対策の可能性について(2)、大気汚染学会講演要旨集、vol.33、pp.410、1992
- 4) 三島憲明・水野稔・中村安弘：大阪府におけるヒートアイランドの経年変化に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、vol.1993、pp.273-276、1993
- 5) 清田信・伊藤孝美・高浦裕司：都市域（大阪府）の熱環境と緑地の熱環境緩和、第8回環境研究発表会予稿集、社団法人環境情報科学センター、pp.5-6、1994
- 6) 水鳥雅文・田村英寿・丸山康樹：名古屋市とその周辺地域における熱環境シミュレーション、環境システム研究、vol.22、pp.292-299、1994
- 7) 葛葉泰久・早野美智子・岸井徳雄：潜熱・顕熱フラックスの領域平均値とPatch Scaleの関係、水工学論文集、第43巻、pp.1103-1108、1999
- 8) Kimura, F. and Takahashi, S. : The Effects of Land-use and Anthropogenic Heating on the Surface Temperature in the Tokyo Metropolitan Area: A Numerical Experiment, Atmospheric Environment, Vol.25B, No.2, pp.155-164, 1991
- 9) 大阪府水産試験場：大阪湾海洋観測結果、平成7年8月、1995
- 10) 一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩：細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布の構造解析、環境工学研究論文集、31、pp.68-78、1994
- 11) 田村英寿・水鳥雅文・丸山康樹・大西正記：数値シミュレーションによる大阪市域の熱環境予測、エネルギー・資源学会第17回研究発表会講演論文集、pp.311-316、1998
- 12) 岩坪哲四郎・橋本克巳：都市のエネルギー需給分析と省エネ都市の省エネ・負荷平準化効果の評価、電力中央研究所研究報告、W96018、38p、1997