

東京のヒートアイランドに関する研究(その1)

—数値モデルの作成と現況再現シミュレーション—

三上 岳彦* 若林 明子 宇田川 満** 伊藤 政志**
(*非常勤研究員 **元主任研究員)

要 旨

都市中心部が高温化することで知られるヒートアイランド現象は、東京のような大都市では規模が大きくなりつつあると推定される。東京都環境科学研究所では、都内に100箇所の臨時気象観測点を設置して、ヒートアイランドの時空間構造を詳細に解明する努力を行ってきた。著者らはまた、大規模緑地が周辺市街地に及ぼす冷却効果についても、観測と数値シミュレーションの両面から、関連する研究をおこなってきた。

本稿では、現況を再現する目的で新たに開発された数値モデルについて詳しく説明されている。その結果、地上風系と気温分布の両者とも、数値モデルを使用することによって良好に再現されることが明らかになった。

キーワード：東京、ヒートアイランド、数値モデル、シミュレーション、人工排熱、

Urban Heat Island Phenomena in Tokyo : Part 1 - Reproducibility Simulation of Present Conditions by Numerical Model -

Takehiko Mikami*, Meiko Wakabayashi, Mitsuru Udagawa** and Masashi Ito**

*Associate Researcher **Ex Chief Researcher

Summary

Urban heat island phenomena, which are known as high temperature occurrences in the central part of a city, are estimated to become much greater in a big city as Tokyo. The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection has made an effort to clarify the detailed temporal and spatial structure of the urban heat island based on 100 temporary meteorological stations in Tokyo. We have also made related research to elucidate the cooling effect of large scale green tracts for surrounding built-up area in terms of both observations and numerical simulations.

In this report, a newly developed numerical model which was aimed at applying for reproducing present climatic conditions is explained in detail. The results show that both surface wind system and temperature distribution could be well reproduced by using this numerical model.

Keywords: Tokyo, urban heat island, numerical model, simulation, anthropogenic heat emission.

1 はじめに

都市化の進展にともなう、都市中心部の気温が周辺郊外よりも高温に保たれるヒートアイランド現象が顕著になっている。特に、東京の気温は近年上昇の度合いが著しく、冬季の日最低気温は過去100年間で4℃も上昇している¹⁾。都市の高温化をもたらす原因としては、都市化の進展にともなう工場・住宅や自動車からの人工排熱量の増加、建築物の高層化・高密度化や道路のアスファルト化等による日射エネルギーの吸収・蓄熱と夜間の放熱に加えて、緑地の減少による蒸発散量の低下などをあげることができる。

東京都環境科学研究所では、平成4年度から都内100箇所に臨時の気温観測点を設置してヒートアイランドに関する詳細な調査研究を行ってきた²⁾。また、ヒートアイランドを緩和する働きをしている都市内緑地の熱環境についても、実測調査と予測モデル開発の両面から研究を行ってきた^{3,4)}。今回、これらの研究成果を土台として、東京を中心とするヒートアイランド現象を広域的に再現できる数値モデルとヒートアイランド改善対策を実施した場合の緩和効果を定量的に把握できる気候変化予測モデルを開発した。本稿では、数値モデルの作成と現況再現シミュレーションについて報告する。

2 数値モデルの概要

東京都全域の気候状態を再現し、ヒートアイランド対策を実施した場合の気候緩和効果を予測することを目的とし、大気の流れ、および地表における熱収支に関する物理方程式に基づく数値モデルを作成し、3次元非定常の気温、湿度、気流の分布を求めた。

本稿で対象としている数百kmまでのスケールの気象モデルは数多くはないが、日本では藤野ほか⁵⁾による数値実験や、気象庁気象研究所、国立環境研究所等で開発中のモデルがあり、本研究ではこれらの知見をベースとして気候変化モデルを作成した。

モデルの適用可能範囲はグリッド間隔数km以上で、数100kmまでの複雑地形上の空間であり、具体的には、関東・中部地域をカバーするメソスケール場から、東京湾地域程度の比較的狭域の場までを対象とすることができる。モデルには、地表面熱収支を含み、また長波・短波の大気放射過程も含まれている。表1に数値モデルの概要を示す。

表1 数値予測モデルの概要

項目	内 容
方程式系	運動方程式 静力学の式 熱エネルギーの保存式 (人工排熱の入力項, 大気放射項を含む) 水蒸気の保存式 連続の式 地表面熱収支式 地中熱伝導式
計算方法	対象領域を3次元の格子点に分割し、各微分方程式を連立させて時間積分を行う。 格子点数 水平方向 44(x)×51(y) 鉛直方向 大気 23, 地中 11 (不等間隔グリッドで構成し、狭域(東京都を含む領域の中心部)は2倍の密度でグリッドを配置)

(1) 方程式系の構築

方程式系は、SAIMM (System Application International Mesoscale Model) Version 2.0をベースとして、修正・改良されたNIES (国立環境研究所) 版のシステム⁶⁾に基づく。

ア. 基礎方程式

基礎方程式は、浮力に関係する項以外では密度を一定とするブジネスク近似をもとに非圧縮を仮定しており、 Z_* 系で以下のように記述される。ここで、 Z_* は、

$$z_* = \bar{s} \frac{z - z_G}{S - z_G} \quad z: \text{標高} \quad z_G: \text{地面標高}$$

で定義される。また、 \bar{s} はモデルの最頂部高度である。

運動方程式:

$$\frac{du}{dt} = -\theta \frac{\partial \pi}{\partial x} + g \left(\frac{z_* - \bar{s}}{s} \right) \frac{\partial z_G}{\partial x} + f(v - v_t) + \left(\frac{\bar{s}}{s - z_G} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z_*} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z_*} \right)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\theta \frac{\partial \pi}{\partial y} + g \left(\frac{z_* - \bar{s}}{s} \right) \frac{\partial z_G}{\partial y} + f(u - u_t) + \left(\frac{\bar{s}}{s - z_G} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z_*} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z_*} \right)$$

静力学平衡の式:

$$\frac{\partial \pi}{\partial z_*} = - \left(\frac{\bar{s} - z_G}{s} \right) \frac{g}{\theta}$$

ここで、 π はExner functionで、

$$\pi = c_p \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{R_d}{c_p}}$$

熱力学の式：

$$\frac{d\theta}{dt} = \left(\frac{\bar{s}}{s - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z_*} \left(K_h \frac{\partial \theta}{\partial z_*} \right) + S_\theta$$

ここで、 S_θ は大気放射などによるソース項（イで述べる）である。

水蒸気の保存式：

$$\frac{dq}{dt} = \left(\frac{\bar{s}}{s - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z_*} \left(K_h \frac{\partial q}{\partial z_*} \right) + S_q$$

ここで、 S_q はソース項である。

連続の式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z_*} - \frac{1}{s - z_g} \left(u \frac{\partial z_g}{\partial x} + v \frac{\partial z_g}{\partial y} \right) = 0$$

以上において、

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z_*}$$

である。

なお、これらの方程式のほかに、乱流エネルギーEの予報式を解くが、これに関する記述は省略する。

イ. 大気放射過程

大気放射過程は、短波放射と長波放射による気層の加熱率について、Sasamoriの isothermal approximation が比較的簡単な方法でパラメタライズし、組み込まれている。これらについての詳細な記述は、他書にゆずりたい^{7,8)}。

ウ. 接地層

モデルでは接地層の計算を水面と陸上について独立に計算し、それぞれの面積による重み付き平均で各メッシュの値を得ている。

接地層での境界条件は、以下の関係式、

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u_*}{kz} \phi_m \left(\frac{z}{L} \right)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\theta_*}{kz} \phi_h \left(\frac{z}{L} \right)$$

を満足するように計算している。ここで、Uはスカラー風速であり、LはMonin-Obukhov Lengthで、

$$L = - \frac{u_*^3}{k \frac{g}{\theta} \overline{w' \theta'}} = \frac{u_*^2}{k \frac{g}{\theta} \theta_*}$$

であり、

$$u_* = \sqrt{-u'w' - v'w'}$$

$$\theta_* = -\overline{w' \theta'} / u_*$$

また、 ϕ_m と ϕ_h の関数形はBusinger et al. (1971)⁹⁾を用い、カルマン定数 $k=0.35$ を用いる。

(2) 地表面熱収支モデル

地表面温度 T_g は以下の方法で予報される。

まず、地表面での熱収支式を評価する。熱収支式は、

$$Q_g = SR_g + IR_g + \rho c_p u_* \theta_* + \rho L v_* q_* - \sigma T_g^4 - \rho_s c_s k_s \frac{\partial T_s}{\partial z}$$

ここで、 Q_g の式の右辺は順に、日射による短波放射、大気からの長波放射による加熱、顕熱輸送、潜熱輸送、地表面からの長波放射による冷却項、地中への伝熱項を示す。

SR_g は地表面の傾きの補正項 $\cos i$ ^{7,10)}と Rayleigh 散乱による減衰率 RAYSCST および水蒸気の吸収による減衰率 a_w を用いて、

$$SR_g = S_0 \cos i (RAYSCST - a_w) (1 - \alpha - A_z)$$

と書かれる。ここで、

$$RAYSCST = 0.485 + 0.515 \left[1.041 - 0.16 \left(\frac{0.000949 P_g + 0.051}{\cos Z} \right)^{1/2} \right]$$

であり（これは、 O_2 、 O_3 、 CO_2 のガスの効果をパラメタライズした式¹¹⁾、 A_z は太陽天頂角Zによるアルベードの補正項⁷⁾で、

$$A_z = \frac{\exp(0.003286Z^{1.5}) - 1}{100}$$

である。

一方、 IR_g はイで述べた方法で下向きの長波放射による加熱率が計算されているのでそれを利用する。

地表面温位 Θ_g は、地表面での熱収支から以下の式で予報する¹²⁾(この方法はPielkeのオリジナルとは異なっている)。

$$\frac{\partial \Theta_g}{\partial t} = \frac{Q_g}{\Delta z_s \rho_s c_s}$$

ここで、 Δz_s は、地中第1層の土壌層の厚さ、 ρ_s 、 c_s はそれぞれ土壌の密度、比熱である。また、地中温位は通常の熱伝導の方程式

$$\frac{\partial \Theta_s}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 \Theta_s}{\partial z^2}$$

を解くことで得られる(多層モデルが用いられている)。

(3) 初期条件・境界条件の設定

すべての変数の側面境界条件は、zero-gradient lateral condition を用いている。

surface の条件は、non-slip condition ($u=v=w^*=0$) である。上面境界条件は、 $u=Ug$, $v=Vg$, $\Theta=\Theta_{init}$, $q=q_{init}$ である。

さらに、モデルの上部には、次の3通りの条件が設定できる。

- 1) model top rigid + absorbing layer
- 2) model top rigid + no absorbing layer
- 3) material surface + no absorbing layer

complex terrain の計算の場合には、model top に4~8層(1,000~1,500m)の厚さのabsorbing layerを置くことが推奨されており、absorbing layer内では通常の方程式の項の他に、

$$\frac{d\phi}{dt} = -\alpha(\phi - \phi_0) + (other\ terms)$$

の計算がされる(ここで、 $\phi=u, v, E, \Delta\Theta, \Delta q$ である)。ここで、

$$\alpha(z_s) = \sigma_0 \left[\frac{1 - \cos(\pi z)}{2} \right] \quad z < 0.5$$

$$= \sigma_0 \left[\frac{1 - (z - 0.5)\pi}{2} \right] \quad z \geq 0.5$$

であり、

$$z = \frac{z_s - z_{a^*}}{s - z_{a^*}}$$

z_{a^*} はabsorbing layerの底面高度で、 $\sigma_0=0.01$ を用いている。

flat-terrain sea breeze simulation の場合には、material surface option の利用が推奨されている。

(4) 計算プログラムの作成

数値計算におけるグリッドシステムはPielke(1974)¹³⁾を用いた。時間差分は、鉛直拡散項を除き、すべての計算は前進差分を用いる。

水平差分は、きわめて精度の良いといわれる3次のスプライン関数を用いた風上補間のquasi-Lagrangian scheme^{7,14)}を利用する。ただし、圧力勾配と連続式の水平収束項の計算には中心差分を利用する。

鉛直拡散項の計算は、forward-weighted Crank-Nicolson の陰差分を用いる。水平拡散の計算は、Pielke(1984)⁷⁾による数値フィルターを用いる。数値フィルターは、 $z^* = \text{const.}$ の $u, v, E, \Delta\Theta, \Delta q$ について適用される。

初期条件の数値処理としては、ある1点の鉛直プロファイルを利用して、すべての計算領域が初期化される。初期化は $z = \text{const.}$ 面に対して行われる。

初期プロファイルは、

$$z_i, T_i \text{ (or } \Theta_i), q_i, WD_i, WS_i$$

をreadすることで与える(したがって、鉛直方向分解能は自由に設定でき、任意の鉛直プロファイルを与えることができる)。

また、土壌層についても、

$$zS_i, \Delta\Theta_i$$

をreadすることで与える(ここで、 $\Delta\Theta_i$ は地表面温位からの偏差である)。

(5) 数値モデルの留意点

数値モデルの運用においては、以下の事項に留意する必要がある。

- ① 静力学平衡近似モデルであること。
- ② 側面境界条件の自由度が少ない。現在は zero-gradient の条件のみである。
- ③ 水蒸気の輸送を扱っているが、雲や雨は含まれていない。

④プログラムは、計算の効率化まではあまり考慮されていない。

⑤水平拡散係数が数値フィルターになっており、係数の最適値には試行錯誤が必要である。

3 人工排熱量の状況

予測モデルの開発に当たっては、予測対象地域の人工排熱量がどのくらいあるかを把握しておく必要がある。そのため、1都8県の人工排熱量を、工場・事業所、住宅、自動車、および航空機別に、各々のエネルギー消費原単位から推計した。人工排熱量の推計方法は、表2に示してある。

表2 人工排熱量推計方法概要

発生源	推計方法
ばい煙発生施設 中小事業所	排出量総合調査燃料使用量集計値 建物用途別床面積 ×用途別・エネルギー種別エネルギー消費原単位
住宅	世帯数×用途別・エネルギー種別エネルギー消費原単位
自動車	道路交通センサス、自動車輸送統計×燃料消費原単位
船舶	港湾統計入港船舶総トン数 ×(停泊, 航行, タグボート)燃料消費原単位
航空機	離着陸機数×LTOサイクル燃料消費原単位

東京都における年間人工排熱量は表3のように約16.5万Tcal/年であり、区部はそのうち約11.5万Tcal/年を占める。発生源別にみると、工場・事業所が約44%を占

表3 東京都における人工排熱量推計結果 (Tcal/年, 1992年度)

	区部	市郡部	区部・市郡部
工場・事業所	50,590	24,350	74,940
住宅	30,000	13,800	43,800
自動車	32,750	11,780	44,530
航空機	1,290	—	1,290
計	114,630	49,930	164,560
(東京湾船舶)	—	—	(10,820)
面積 (km ²)	621	1,160	1,781
排熱密度 (Mcal/m ² /年)	185	43	92
〈備考〉東京地域の年間日射量 (Mcal/m ² /年)	990		

注1. 燃料使用量及び電気使用量の推計に基づく。
注2. 発電所は煤炭排熱のみ計上。
注3. 船舶は東京湾内全域の排熱量で、外数である。

め、自動車29%、住宅26%となっている。

年間の人工排熱量を面積あたりに換算すると、区部では約185Mcal/m²/年である。これは、東京地域で年間に受けとる日射量の積算値約990Mcal/m²/年の20%に近い。

図1は、人工排熱量の地理的分布を示している。夏期の日中(左図)と冬季の夜間(右図)ともに、都心部・東京湾臨海部で排熱量がもっとも高く、周辺郊外部に行くにしたがって小さくなっている。日中と夜間を比較すると、夏冬ともに日中の方が排熱量が高く、特に都心部では100Gcal/h以上になるところもある。

排熱量分布図 8月12時



排熱量分布図 1月24時

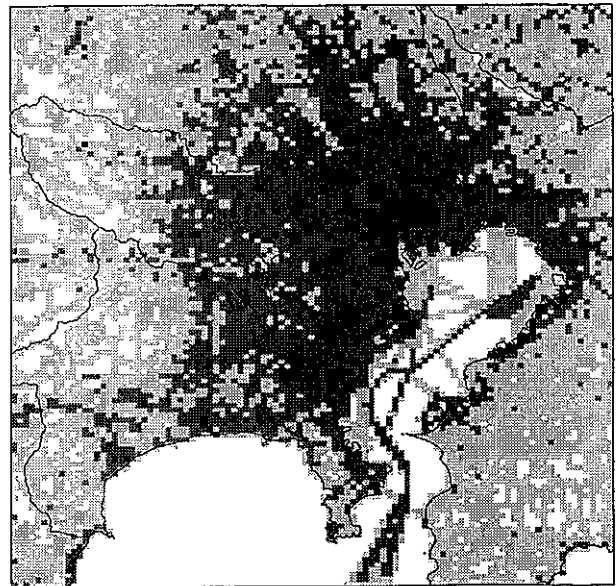


図1 人工排熱量の分布

4 数値モデルによるヒートアイランド現象の再現

数値モデルの性能を確認し、ヒートアイランド現象の構造を推定することを目的として、現況再現シミュレーションを実施した。

(1) シミュレーション領域

東京都地域の気象は、東京湾地域の局地気象要因から中部山岳を含むメソスケール気象要因までの複合的要因により成り立っている。したがって、シミュレーション領域はメソスケール要因を考慮して、関東から中部地方に至る広い範囲を含んでいる。

(2) シミュレーション対象期間の設定

現況シミュレーション期間は、1992年8月～1993年7月に実施された東京都及び周辺の100地点連続気温測定調査（東京都環境科学研究所）の期間より、夏季・冬季・中間季の典型事例日（代表日）を抽出することとした。

調査期間における①都心部日最高・最低気温、②都心と郊外の最高気温・最低気温の差、③日積算日射量、④日平均雲量、⑤日降水量、及び、⑥3、9、15、21時の臨海部の風向・風速に基づいて、代表日を抽出した。

まず、ヒートアイランド強度（日最低気温における都心・郊外差）が5℃以上の日を抽出した。この段階で、シミュレーションモデルで考慮できない降水日はほぼ除かれる。ヒートアイランド強度は、一般的に弱風速ほど強まるため、上記の基準は夜間の風速の上限も制約することになる。但し、そのような日であっても日中に一般風速がかなり強い日はシミュレーション対象としては不適と考えられるため、3、9、15、21時の最大風速が5 m/sを超える日は除外することにした。以上の抽出基準に加え、日平均雲量6以下を基準とした。これは夜間の放射冷却の影響をみるため、および夏季の日中の典型例を抽出することを目的としている。

以上より、①ヒートアイランド強度5℃以上、②非降水日、③最大風速5 m/s以下、④日平均雲量6以下、を抽出基準として選択した結果、50日間が抽出対象となった。これに、風系推移を考慮して以下の期間をシミュレーション対象期間とした。

夏季1992年8月31日～9月1日（弱い海風が継続）

冬季1993年1月30日～31日（30日は弱い陸風、31日は海陸風交代が発生）

中間季1993年5月26日～27日（両日とも海陸風交代が発生）

(3) 対象期間の初期値・境界値の作成

ア. 風速、温位、比湿の初期分布

メソスケールモデルでは、水平方向に一樣な地衡風および温位、比湿を初期値として入力する。

温位、比湿の初期分布は、館野（高層気象台）の観測値より設定した。以上の高度分布は、上方境界の8,000 mまで与えるが、上方境界における初期値は境界条件としてシミュレーションの間固定される。

イ. 土壌温度、海面水温の初期分布

地表面温度の初期値は、最下層気温と等温とし、最深部（1 m）地中温度は、三浦(1993)¹⁵⁾の実測結果を参考として設定した。この初期値は、境界条件として固定される。なお、海面水温は気候値を参考として設定した。

(4) 地表・土壌の特性パラメータ

シミュレーション領域におけるグリッド点の地表・土壌特性パラメータは、土地利用データベース（3次メッシュ）から集計したメッシュ別土地利用タイプ別面積構成を利用し、タイプ別特性値の加重平均値として設定し

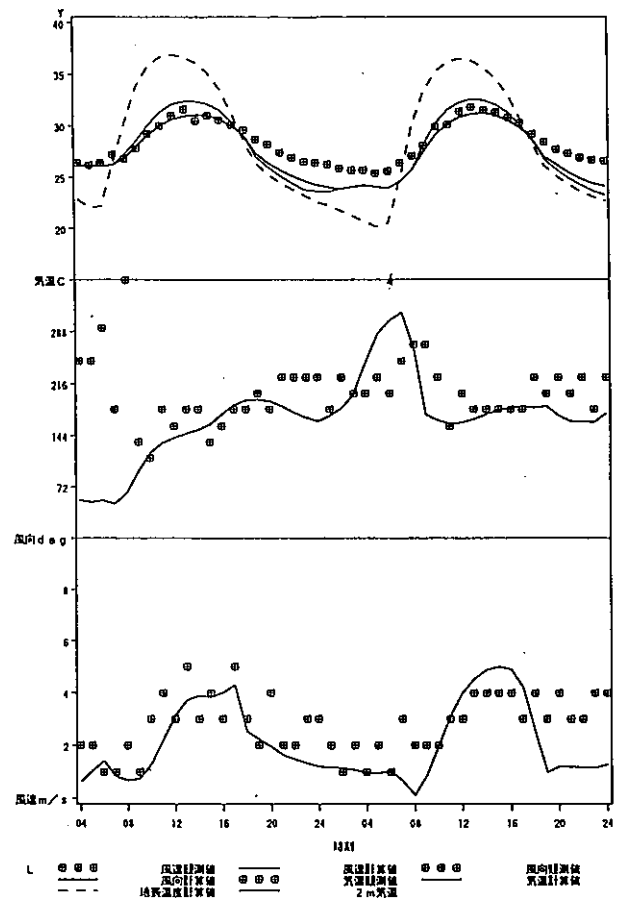


図2 アメダス観測点における気温、風向・風速の推移とシミュレーション結果の比較、図は東京（大手町）の事例

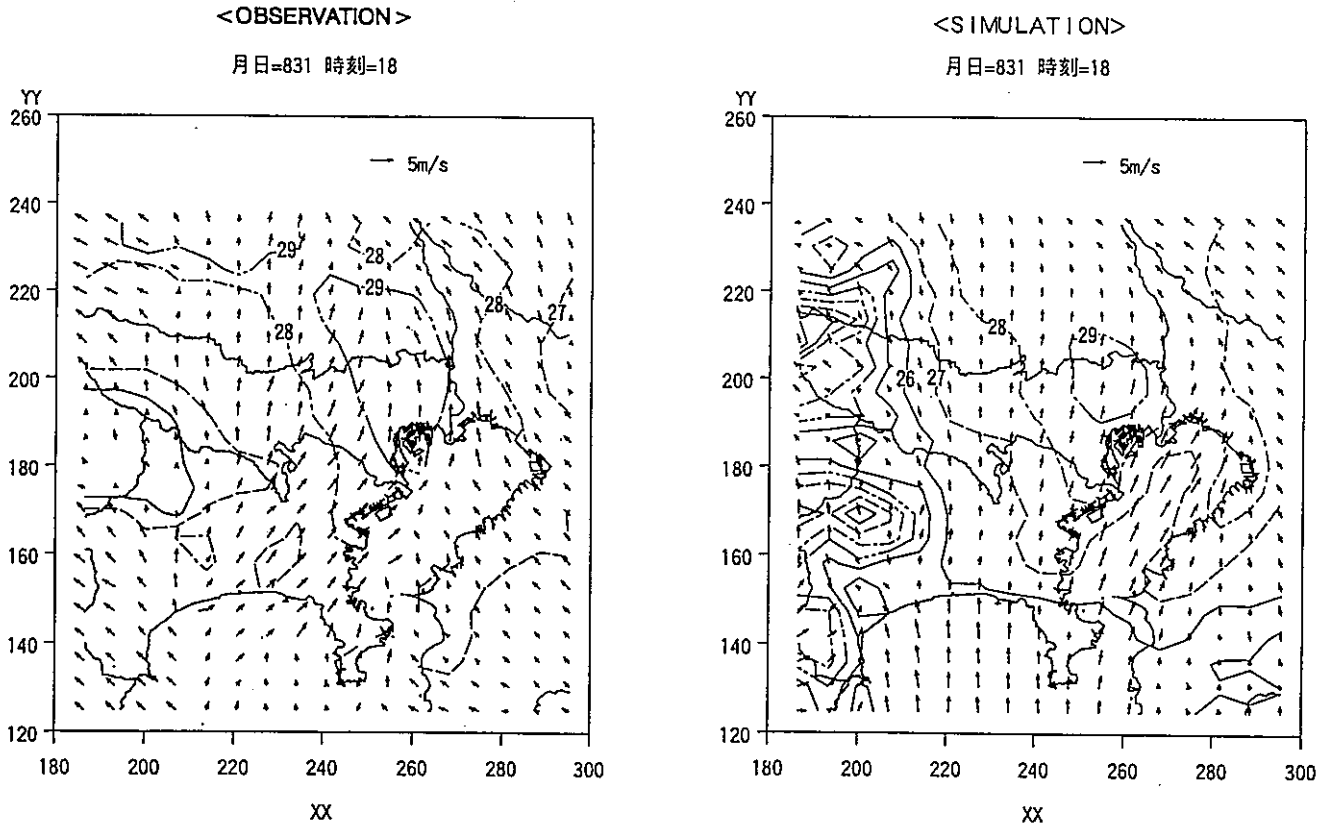


図3 狭領域内の気温、風速分布における観測結果(左図)とシミュレーション結果(右図)の比較

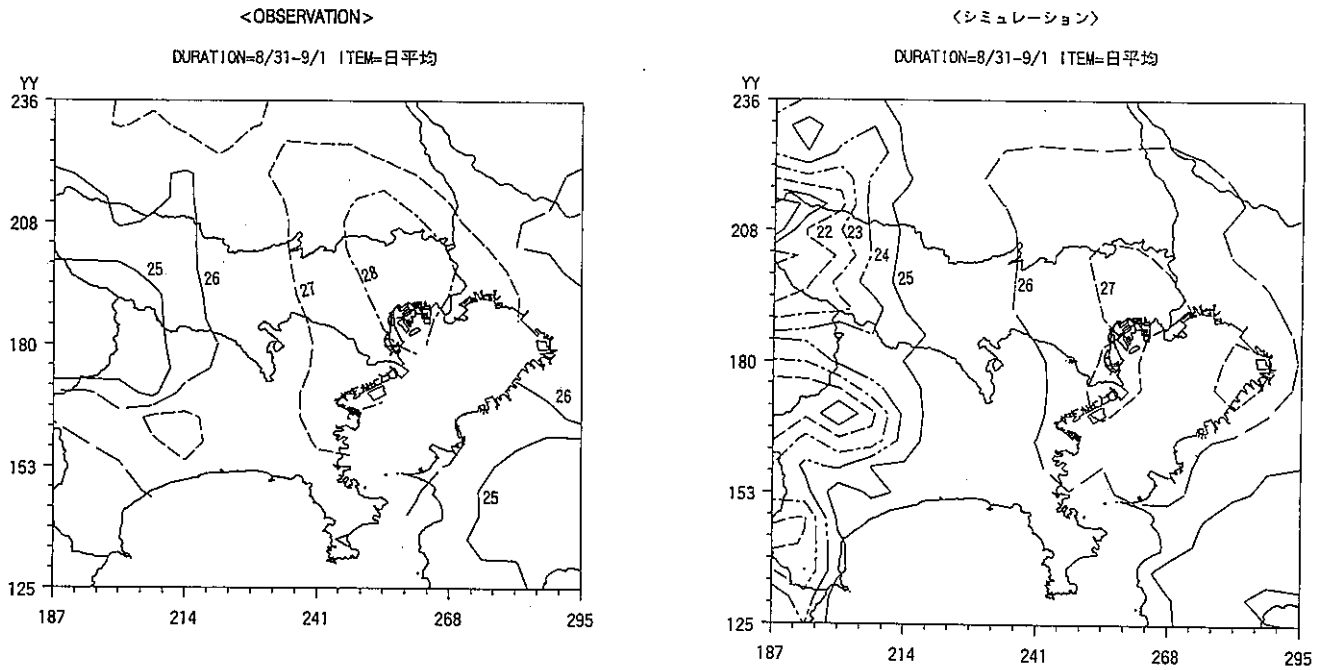


図4 狭領域内の気温分布における観測結果(左図)とシミュレーション結果(右図)の比較

た。なお、冬季における田の蒸発効率は0.30とした。

(5) 現況シミュレーション結果

本節では、現況シミュレーション結果と観測値の比較により再現性を検討する。比較対象とした観測値には、以下の2系統がある。

A資料：広域分布 アメダス気温、風向風速時間値

B資料：狭域分布

①東京都環境科学研究所調査の100地点気温時間値データ及び大気汚染常時監視測定局の気温時間値データによる狭域メッシュ補間気温

②大気汚染常時監視測定局の相対湿度、風向風速時間値の狭域メッシュ補間値

ここでは、両観測値系列を適宜選んでシミュレーション結果と比較する。A資料は、広域の再現状況を検討する上で唯一の資料であるが、B資料と完全に一致しないことに注意が必要である。以下に、夏季と冬季の現況シミュレーション結果を示す。

ア. 夏季 (8月31日~9月1日)

(ア) 広域の状況

アメダス観測点における気温、風向・風速の推移とシミュレーション結果を比較した。図2に、東京(大手町)の事例を示す。図中では、シミュレーション結果の第1層気温(高度z=7.5m)とともに、接地境界層のモデルから内挿されるz=2m面の気温及びメッシュ陸地部の予測地表面温度も示した。z=7.5mの気温で評価すると、気温変化はおおむね良好な再現性を有する。

風向の変化については、内陸部の海陸風の交替等の状況が、シミュレーション開始後数時間を除いて良好に再現された。なお、これ以後、シミュレーション結果の評価高度は、気温、比湿については、z=7.5m、風速についてはz=5mの計算定義点高度を採用する。

(イ) 狭域の状況

狭領域内の時刻別観測気温・風速ベクトルをB資料から求め、シミュレーション結果と比較した。図3は、一例として8月31日18時現在の観測値とシミュレーション結果を比較したものである。この図のように、夕方から夜間にかけての気温分布形はおおむね良好に再現されているが、日中に内陸部に移動しながら形成される高温部が十分に再現されていないことから、前述の日最高気温に関する観測値・計算値の相関係数が相対的に低くなったものと考えられる。

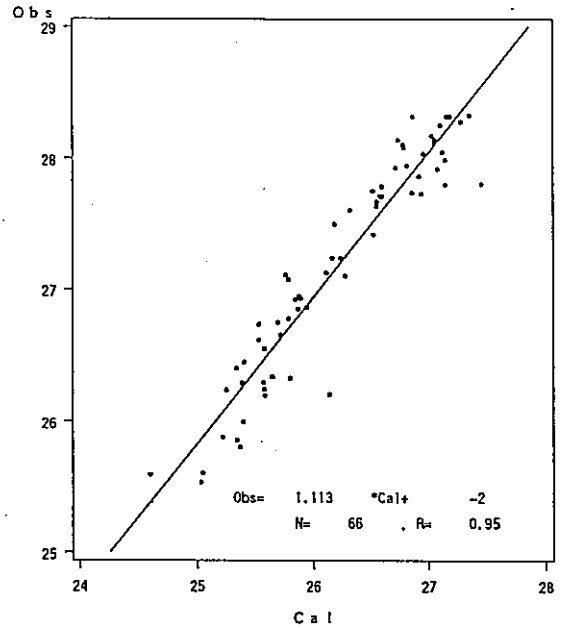


図5 東京都及び周辺地域の日平均気温に関する観測値(Obs)とシミュレーション結果(Cal)の比較(8/31~9/1)

狭領域内の日平均気温、日最高・最低気温、日平均相対湿度の分布を観測値と計算値で比較した。そのうち、日平均気温分布について示したのが図4である。都内の分布に着目すると、日最高気温では、区部で計算値が1℃程度低いものの、分布形は再現している。多摩部の丘陵部では計算値が標高に伴う気温低下を示しているのに対し、観測値に低下が見られない。日最低気温の都内分布は、八王子から都心まではほぼ等しい傾きで高くなっている(図省略)。それに対し、シミュレーションでは八王子から区部境界付近まで傾きが小さい点が異なる。しかし、日平均気温では、計算値と観測値の対応は良好である。

シミュレーションの総合評価を示すひとつの指標として、東京都及び周辺地域の日平均気温の観測値とシミュレーション結果の比較を図5に示す。

気温については、日最高・最低気温のばらつきが比較的に大きいのが、日平均気温の再現性は相関係数0.95とまわめて良好である。

(ウ) 地表面熱収支

図6に大手町メッシュにおける地表面熱収支推移を示す。ここで、符号は地表面への入力を正とする。また、人工排熱は本シミュレーションでは100%が大気に放出されるとしたため、地表への直接入力ではないが参考と

期間=1/30-1/31 メッシュ=2528

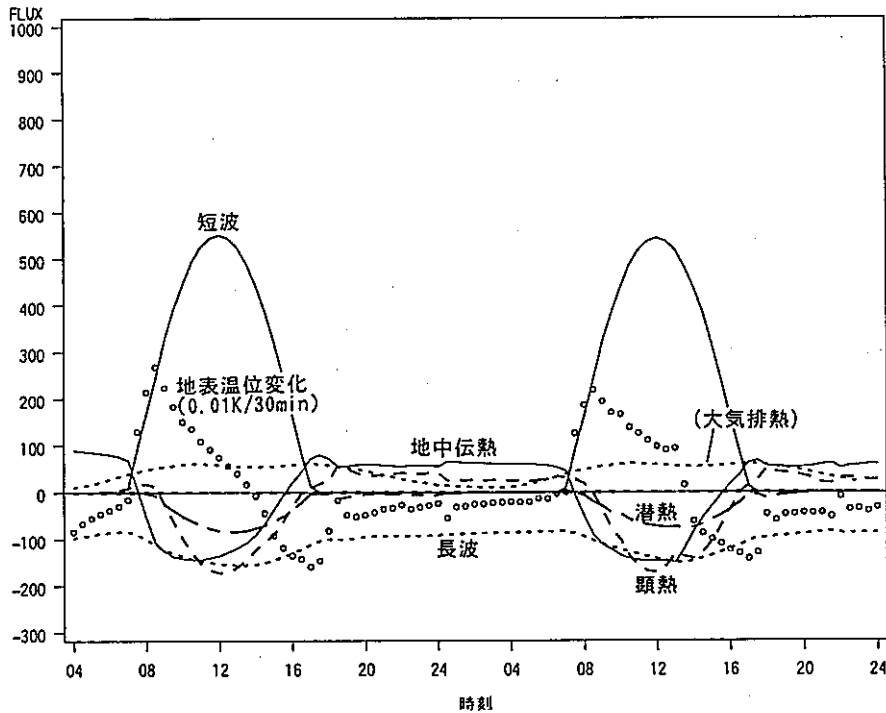


図6 大手町メッシュにおける地表面熱収支推移 (1/30~1/31)

して加えた。朝からの日射により、まず地中への熱輸送が先行し、次いで大気への顕熱、潜熱輸送が増大する。大気への熱輸送の増大により加熱率は減衰し、12時以降は地表温位は低下を始める。夜間は、下からの熱伝導、大気からの顕熱輸送による加熱と長波放出による冷却の差の分だけ地表冷却が進むが、冷却率は18時を最大として、その後は0.2~0.3K/30minの冷却率で推移する。なお、大手町メッシュでは、夜間の大気排熱と顕熱輸送が同程度であった。

イ、冬季 (1月30~31日)

(ア) 広域の状況

アメダス観測点における気温、風向・風速の推移とシミュレーション結果を比較した。東京 (大手町) の例を図7に示す。東京湾地域では、浦和、練馬、東京 (大手町)、新木場、横浜の各地点でおおむね気温変化を再現した。

シミュレーション全領域内のアメダス地点の日平均気温、日最高・最低気温とシミュレーションのそれを比較した結果、各項目とも良好な相関を示したが、日最低気温については偏りを生じた。

(イ) 狭域の状況

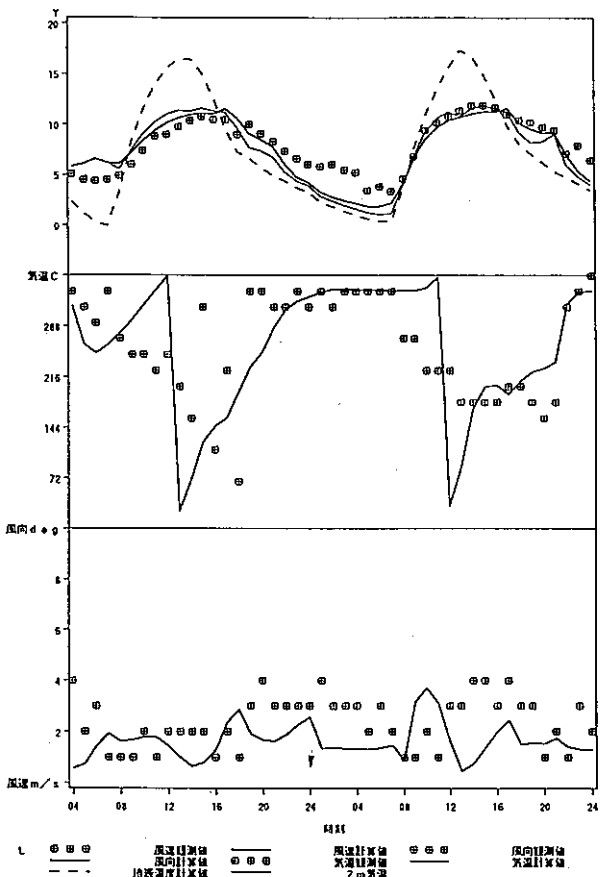


図7 アメダス観測点における気温、風向・風速の推移とシミュレーション結果比較。図は東京 (大手町) の事例

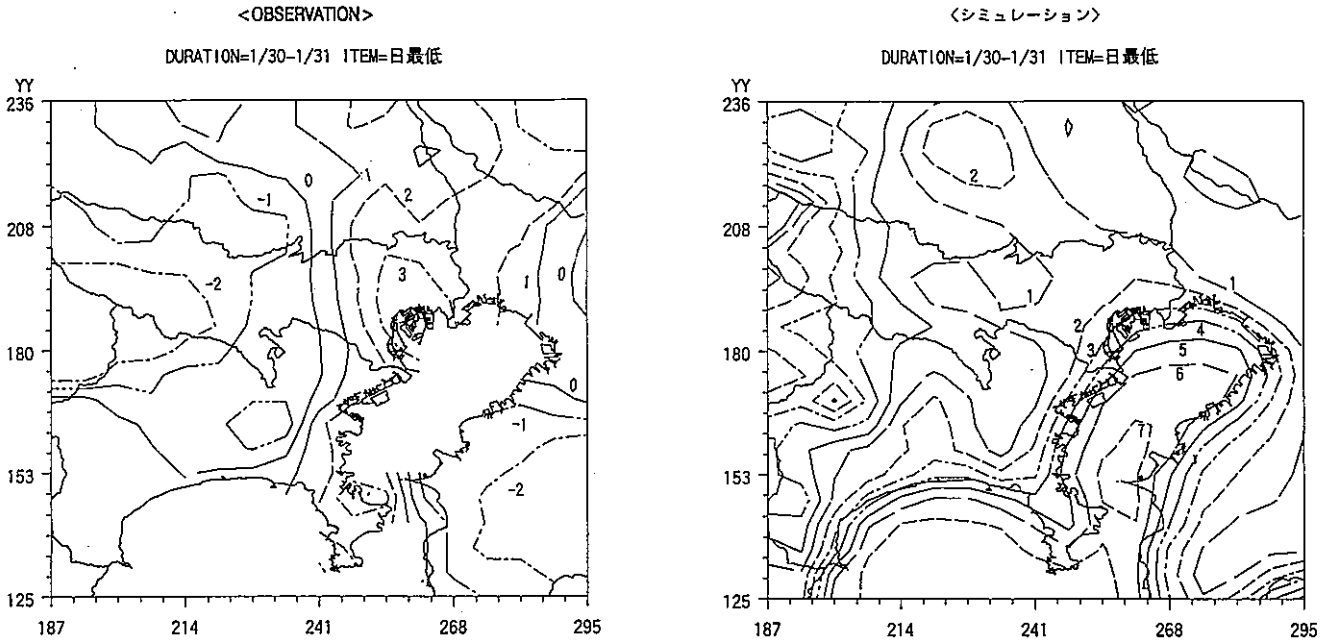


図8 冬季(1/30~1/31)における日最低気温の観測値(左図)とシミュレーション結果(右図)の比較

狭領域内の時刻別観測気温・風速分布とシミュレーション結果とを比較した。また、狭領域内の日平均気温、日最高・最低気温、日平均相対湿度の分布を観測値と計算値で比較した。そのうち、日最低気温についての結果を図8に示す。観測値では、都心部を中心に高温部がみられるが、シミュレーションでは、東京湾上に7℃以上の高温部があらわれている。東京湾上で気温観測値が得られないため、物理的に両者の違いを解釈することは困難であるが、冬季の湾内における海面水温や船舶からの排熱との関連が示唆される。

ウ. 現況シミュレーション結果のまとめ

前項までに述べた夏季と冬季の現況再現シミュレーション結果から、モデルの再現性を評価すると、以下のようによまとめられる。

(ア) 地上風系の再現性は、地上気温の予測性能にとって不可欠の条件である。本モデルでは、かなり広いメソスケール場を対象とすることにより、夏季にはきわめて良好な地上風系の再現性を得ることができた。冬季の大きな地衡風場ではパラメータ設定に試行錯誤を要し、境界に近い領域では乖離があるが、主たる評価領域である狭領域に関しては、おおむね満足すべき風系再現性を得た。

(イ) 狭領域内の地点別の気温予測結果は、おおむね良好な再現性を示した。また、地域分布の再現性について

は、日平均気温ではきわめて良好な再現性を示した。日最高・日最低の両極値については、シミュレーション期間によって観測値との相関性に差があるが、夏季については実用に耐える相関を得た。本モデルでは、粗度長を最大0.5mにおさえていること、接地境界層モデルでの強安定の取り扱いに制約を設けていること等のため、一般的に夜間のヒートアイランド強度を小さく予測する傾向があり、それらの改善が課題としてあげられる。

(ウ) 相対湿度の地点別予測値は、おおむね観測値の変化と対応する結果を得たが、全体に高め予測となった。この原因は、気温予測値の若干の低め傾向とともに、夏季のケースでは、晴天継続日の比湿低下に対応しないこと、冬季では、シミュレーションにおいて比湿が時間を追って増加する傾向があることなどによる。従って、今後、地表面蒸発効率パラメータの気象状況に応じた設定等の検討が望ましい。

以上のように、本モデルはまだ改良する余地があるものの、ほぼ実用的な気象モデルの段階に達したと評価できる。

5. まとめ

本稿では、メソスケール気象モデルによりヒートアイランド現象を再現した。

計算対象領域をメソスケールまで拡大した気象モデル

を用いて、特定の日の風系、気温、相対湿度の時空間分布の再現シミュレーションを実施した。観測結果との比較をおこなったところ、夏季、春季の代表日については、風系、地上気温の分布、時間変動について良好な再現性を得ることができた。

以上のような特定対象日の観測結果との比較検討は、これまでのヒートアイランド予測モデルではほとんど行われておらず、意義が大きいと思われる。

今後、モデルの改良により、さらに踏み込んだ対策検討が可能となるものと考えられる。

引用文献

- 1) 三上岳彦ら：東京における気温日較差の長期変動，東京都環境科学研究所年報1995, p.35-41(1995)。
- 2) 伊藤政志ら：東京都内の気温分布について（その1），東京都環境科学研究所年報1994, p.35-46(1994)。
- 3) 三上岳彦ら：東京都心部における大規模公園緑地の熱環境（その1），東京都環境科学研究所年報1993, p.19-24(1993)。
- 4) 伊藤政志・宇田川満：気候変化予測モデルによる大規模緑地の気温予測，東京都環境科学研究所年報1995, p.42-50
- 5) 藤野毅ら：夏季の都心部周辺における気温分布特性に関する数値実験，地理学評論, 69, p.817-831(1996)。
- 6) 鶴野伊津志：4次元データ同化手法による関東地域の局地循環シミュレーションと評価，大気環境学会誌 30, 6, p.351-366(1995)。
- 7) Pielke, R.A. : Mesoscale Meteorological Modeling, Academic Press (1984)。
- 8) Mahrer, Y. and R.A.Pielke : A test of an upstream spline interpolation technique for the advective terms in a numerical mesoscale model, *Mon. Wea. Rev.*, 106, p.818-830(1978)。
- 9) Businger, J.A., *et al.* : Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.*, 28, p.181-189(1971)。
- 10) Kondratyev, K. : Radiation in the Atmosphere. Academic Press(1969)。
- 11) Atwater, M.A. and P. Brown : Numerical calculation of the latitudinal variation of solar radiation for an atmosphere of varying opacity, *J. Appl. Meteorol.*, 13, p.289-297(1974)。
- 12) Tremback, C. and R.C.Kessler : A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical models. Proceedings of the Seventh Conference on Numerical Weather Prediction, June 17-20. Montreal, Quebec, Canada(1985).-50(1995)。
- 13) Pielke, R.A. : A three-dimensional numerical model of the sea breeze over south Florida, *Mon. Wea. Rev.*, 102, p.115~139(1974)
- 14) Mahrer, Y. and R.A.Pielke : A numerical study of the airflow over irregular terrain, *Beitrge zur Physik der Atmosphere (Contr. Atmos. Phys.)*, 50, p. 98-113(1977)。
- 15) 三浦昌生ら：95地点の実測による都心と郊外の地中温度差について，日本建築学会計画系論文報告集, No. 454(1993)。