

(38) 都市域における緑被率、環境水面率の増加が夏季の地域規模の気候緩和に及ぼす影響

SENSITIVITY STUDY ON THE EFFECT OF INCREASED AREAS OF FOREST AND ENVIRONMENTAL OPEN WATER IN URBANIZED REGION ON THE REGIONAL SCALE CLIMATE IN SUMMER SEASON

北田敏廣*・米津千晴*

Toshihiro KITADA, Chiharu YONEZU

ABSTRACT: Urbanization in coastal area possibly changes climate in inland area through local flow systems such as sea breeze. In the Nohbi plain, which is located on the Pacific ocean side, central Japan, the coastal urban area having expanded during a decade from 1975 to 1985 raised daily-maximum temperature over its inland suburbs on summer sunny days; this was partly attributed to horizontal heat transport by the sea breeze warmed up over the coastal urban area. In this paper, results of hypothetical sensitivity study using numerical heat transport simulation, are reported on the mitigation of this inland high-temperature by changing land use over the coastal urban area, namely, by increasing area-ratios of forest and environmental open water there. The principal conclusions are: (1) the forest and open water introduced in the coastal urban area can decrease the maximum temperatures over a large inland area, (2) the temperature decrease ranged from 0.3° C to 2.0° C depending on the type and the extent of the land-use newly introduced; this decrease was almost equivalent to that calculated for the "without artificial-energy-use" case, and (3) these reduced temperatures of background air mass are expected to contribute largely to saving energy for air-conditioning in the regional scale in summer time.

KEYWORDS: Heat island, urban planning, land use, environmental open water, forest, sea breeze.

1. 緒言

都市化は、地表の乾燥化に基づく顕熱流束の増加、人工熱源の増加、高層建築物群による流れに対する地表摩擦の増加等を通じて、熱、運動量の輸送に影響を与える。これらの局所的に生じた変化は、地域特有の大気流れを通じて、元来、都市化が顕著でない領域の気温や湿度にも多大の影響を与え得る。従って、都市化が周辺地域に与える影響も考慮して、広範な領域（～200km四方）の土地利用のし方を考えることにより、地域規模でのよりよい大気環境の創造を考える必要があると考えられる。以上の観点より、筆者らは、濃尾平野－伊勢湾域を対象に、都市化が周辺地域の気温分布に与えた影響についての歴史的データ（1975～1985）による考察を行い、さらに土地利用の違いを反映した熱的境界条件を持つ簡便な三次元熱輸送モデルを用いて次の結果を得てきた。すなわち、（1）沿岸部が都市化すると暖候期の日最高気温が上昇し、かつ最高気温域が内陸に移動する¹⁾、（2）この原因は、暖候期、晴天時の沿岸部に特有な海風の主流部が都市化することにより海風層が加熱されることにある^{1, 2, 3)}、（3）人工熱源による直接の加熱はそれほど小さくなく、例えば筆者らの行った5月の解析対象日において名古屋昭和区の日最高気温に対する直接の寄与は、0.2° C程度（1 km 四方の平均気温）^{2, 3)}等である。

以上の研究を受けて、本報は、“地域規模のより良い熱環境を達成するための土地利用計画”に関する知見を得るために、都市の緑被率の増加、環境水面（水田、水路、人工池など）率の増加等の都市のあり方が、

* 豊橋技術科学大学エコロジー工学系 (Dept. of Ecological Eng., Toyohashi Univ. of Technology)

同上 建設工学系 (Dept. of Regional Planning, Toyohashi Univ. of Technology)

地域の気温分布にどう影響するかの感度解析研究を熱輸送モデルのシュミレーションにより行ったものである。

2. 熱輸送モデルと地表境界条件

先に筆者らが調べたところによると、1975年から1985年までの10年間に生じた程度の都市化の進展では、同様の総観気象場ならば、濃尾平野規模の流れ場にはほとんど違いが無かった¹⁾。このとき、両年の解析対象日における日最高気温の上昇は、名古屋中心部、沿岸部で小さく（例えば、昭和区で 約0.2℃）、内陸部で大きかった（小牧で 2℃、犬山で 3℃程度）^{1, 2)}。そこで、完全な運動方程式系を解く代わりに、1時間ごとの観測地表風、名古屋テレビ塔観測風、6時間ないし12時間ごとの高層風を用い客観解析^{4, 5)}により3次元格子上で毎時の u , v , w を推定し、それを用いて熱の移流、拡散方程式を解くモデルを開発した²⁾。温位 θ を用いた熱輸送式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_H \frac{\partial \theta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_H \frac{\partial \theta}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_V \frac{\partial \theta}{\partial z}) \quad (1)$$

ここに、 K_H , K_V は、それぞれ水平、鉛直方向の渦拡散係数を表す。 K_H には、水平風の水平方向シアーと結び付けた通常の定式化を用いた^{2, 3)}。また、 K_V には、鉛直第2グリッド（地上10m）以上の高度で Mellor & Yamada のレベル2モデルを基にした定式化（Kondo, H., 1989）⁶⁾を、また、それ以下の高度では Monin & Obukhov の相似理論に基づく定式化を用いた。なお、Kimura and Takahashi (1991)⁷⁾は、彼らの気象研究所メソスケールモデルを用いて、これに独自のサブグリッドスケール土地利用パラメタリゼーションを加え、関東地方を対象に夏季の流れ場、気温場の再現を試みている。土地利用が気候場に与える影響を“真に正当に評価し得る”モデルは、例えば、この論文に見られるような“流れ、温位、比湿等に対する予測的な方程式系”に基づく気象モデルであることは疑いを容れないが、水平方向に 100 km 四方程度の領域の現実の流れを再現することには、なおいくつかの問題があるように見える。例えば、当該論文⁷⁾の Fig. 8 に示されている計算結果では、東京都心の北西方向に収束場が形成されているが、Fig. 6 の AMeDAS による風速場ではその形跡が定かでない。この AMeDAS 風速場は、むしろ同じ彼らのモデルで中部山岳を含める広領域（粗い格子サイズ）に適用した結果（Fig. 5⁷⁾）の方により良く再現されている。Fig. 8 の結果では、Fig. 5 に見られるより上位の地形効果（例えば、中部山岳）に基づく流れの影響が薄められ、都市域等土地利用分布からくる局地的な熱源分布に起因する二次的な流れ効果が強調され過ぎたのではないかと推測される。その意味では、より上位の空間スケールの流れ効果をどれだけ“正当”に計算に反映させられるかが、“full prognostic” な気象モデルを何等かの実用目的で比較的狭い範囲に適用するときの鍵になるかも知れない。このとき、山田、辺見 (1993)⁸⁾が、その有効性を示した nudging による四次元同化法を用いた大規模場のメソスケールモデルへの導入も有力な候補であろう。いずれにしても、本報の計算は、この章の最初に述べたように地域規模流れ場は、局地的な土地利用変化よりは、より大規模な地形効果等により影響されると仮定した近似計算である。この仮定は、先述の Kimura and Takahashi (1991)⁷⁾ に示されている AMeDAS 場（Fig. 6）によってもある程度支持されているように見える。

本研究では、土地利用の違いを表現する境界条件には、地表面における熱収支に基づく式 (2) を与えた。なお、Fig. 1に式(2)の諸量が定義されている高度を示す。

$$K^{\downarrow} (1 - \alpha) + (1.2 \sigma T_{10}^4 - 171) + Q_A - \epsilon \sigma T_s^4 + \rho_g c_g K_g \frac{\Delta T_g}{\Delta Z_g} + (1 + \frac{1}{\beta}) \rho c_p K_T \frac{\Delta T_a}{\Delta Z_a} = 0 \quad (2)$$

ここに、 K は地表に入射する短波放射流束、 α は短波に対する地表面の反射率 (albedo)、 σ は Stephan-Boltzman 定数 ($= 5.7 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)、 T_{10} 、 T_s は、それぞれ、高度 10m および地表 (粗度長 z_0 の高さ) での気温 (K)、 ϵ は地表の長波放射率、 Q_A は人工排熱強度、 β は Bowen 比、 $C_g \rho_g$ は単位体積当たりの土の熱容量 ($= 1.68 \times 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ と仮定)、 K_g は土の熱拡散係数 ($= 4 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ と仮定)、 C_p は空気 の定圧比熱、 K_T は大気 の渦熱拡散係数、 ρ は空気 の密度、 $\Delta T_g = T_g - T_s$ 、 T_g は土中の温度 (深さ 1m で、288K と仮定)、 $\Delta T_a = T_{10} - T_s$ (K)、 $\Delta Z_g = 1$ (m)、 $\Delta Z_a = 10 - z_0$ (m) を表す。なお、式 (2) の第 2 項は大気からの長波放射を表す経験式

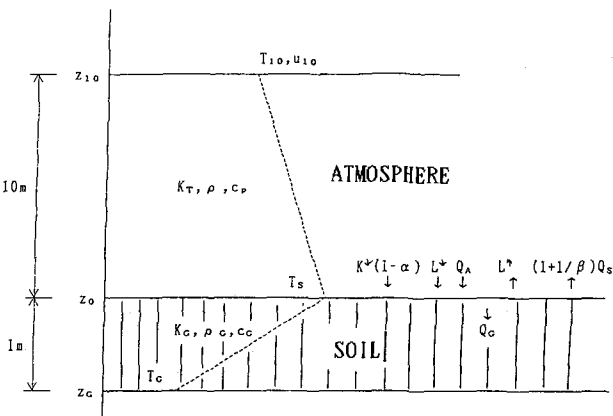


Fig. 1. Schematic of the heat balance at the earth's surface. Meaning of the symbols is described in text.

(Swinbank, 1963)⁹⁾、第 4 項は地表面からの長波放射流束、第 5 項は土中への熱拡散流束、第 6 項は大気中への顕熱と潜熱の渦熱拡散流束を示す。 β はボーエン比 (潜熱流束に対する顕熱流束の比) であり、ここでは β を指定することにより潜熱流束を与えた。なお、現実には、土中への (からの) 熱流束は、土壌 (や土中構造物) の種類、土壌の含水量など種々の要因で変化すると考えられるし、また、一般的に土壌の熱伝導係数がそれ程大きくない (これも、上に述べた要因によって変わり得る) ことから、土壌の比較的浅い層に大きい温度勾配が予測されるなど、本モデルのような土中熱流束の扱いには多くの不確定性が伴っている可能性がある。ただ、後述 (例えば、Fig. 3) のように、気温日変化の計算値と観測値にそれほど大きな差がないことから、計算された熱流束もそれなりのバランスを保っているものと思われる。ちなみに、地表における熱収支 (単位: W/m^2) の一例を示すと、Case 1 (後述の Table 2) の都市化域 (地点: $x = 27.43 \text{ km}$, $y = 44.35 \text{ km}$) の 14 時において、ゲイン側: 実質の短波放射; 632.78、大気からの長波放射; 385.63、人工熱源; 21.52、ロス側: 地表からの長波放射; 425.41、顕熱流束; 455.31、潜熱流束; 151.77、土中への熱流束; 7.44、であった。

式 (2) において土地利用の違いを表すパラメーターは、アルベド (α)、ボーエン比 (β)、長波放射率 (ϵ)、粗度長 (z_0) であり、本研究では文献値 (Oke, 1978¹⁰⁾ 等) を基に Table 1 のように与えた。さらに、式 (2) の K_T は、接地層に対する Businger-Dyer-Pandolfo¹¹⁾ の普遍関数を用いて推定した。すなわち、

$$K_T = \kappa U_* Z / \phi_h$$

$$\phi_h = \phi_m = 1 + 5(Z/L), \quad Z/L = Ri / (1 - 5 Ri) \quad : \text{安定成層}$$

$$\phi_h = \phi_m^2 = [1 - 16(Z/L)]^{-1/2}, \quad Z/L = Ri \quad : \text{不安定成層}$$

$$\text{Gradient Richardson 数 } Ri = g(\Delta T / \Delta Z) / [T(\Delta U / \Delta Z)^2]$$

$$U_* = \kappa Z(\Delta U / \Delta Z) / \phi_m$$

である。

Table 1. Surface parameters used for simulations: α :albedo, β :Bowen's ratio, ϵ :emissivity, z_0 :roughness length.

	α	β	ϵ	$z_0(\text{m})$
Water surface	0.20	0.2	0.97	0.001
Forest	0.20	0.5	0.97	1.00
Grass land	0.20	1.5	0.97	0.10
Urban area	0.15	3.0	0.90	1.00

数値解法は、空間3次元方程式の1次元方程式への分離と有限要素法の使用からなるもので、診断的な雲物理モデルの解法にも用いている^{1,2)}。水平格子は東西、南北ともに約1 km、鉛直方向の上方境界は地表上 3010m、鉛直格子は、最下層が 10m であとはすべて 50m の均一格子である。

3. 実測と計算による気温分布の比較

本研究で用いた熱輸送モデルは、ほぼ、現実の気温分布をシュミレートできることを確かめている^{2,3)}。本研究も、以前の研究で対象とした1985年5月12日の流れ場と当時の土地利用分布 (Fig. 2参照) を用いたシュミレーションを基本のケース (Case 1; Table 2参照) とした。参考のために、Fig. 3に昭和区 (Fig. 2の①に対応) について、観測気温とCase 1の結果を示す。定性的には、ほぼ一致しているとかがえられる。さらに、Fig. 4a, bに客観解析で得た流れ場の例を示す。

4. 都市の緑被率が地域気温に与える影響

土地利用が変われば地表の熱的な応答の仕方が変わって、局所的に気温が何らかの影響を受ける。さらに、流れの場を通じてその影響が他の場所にも及ぶと期待される。したがって、都市の緑被率を上げることは、地域の最高気温の軽減に寄与するはずであり、このことを定量化するためにいくつかのシナリオを考えた。地表面の熱的性質は、本研究のモデルでは、Table 1のように、アルベド(albedo) α 、ボーエン比(Bowen ratio) β 、地表の長波放射率 ε 、粗度長さ z_0 で表される。各シナリオでは、1985年の土地利用 (Fig. 2) を基本にして、これから各々の都市域メッシュの緑被率 (森林あるいは草地) を変化させ、Table 1の基本パラメーター値に対して面積率による重み付き平均をすることにより当該メッシュの値とした (ただし、粗度長は、いずれの場合ももとの都市域値を用いている)。Table 2に各シナリオを示す。この表には、土地利用を変更した後の "都市域" のBowen比も示されている。

Fig. 5 a, b, c に、Case 2~4 について、都市の緑化によって、基本ケース (Case 1) から日最高気温がどの程度下がったかを示す。横軸には、各観測点の海からの距離 (格子点数; 1格子長がほぼ1 kmであるから、概略、kmによる距離を示すと考えて良い) をとっている。図より、Case 3の気温減少がもっとも大きいこと、減少は最高で約2°Cであること、内陸の観測点ほど減少の度合いが大きいことなどが分かる。

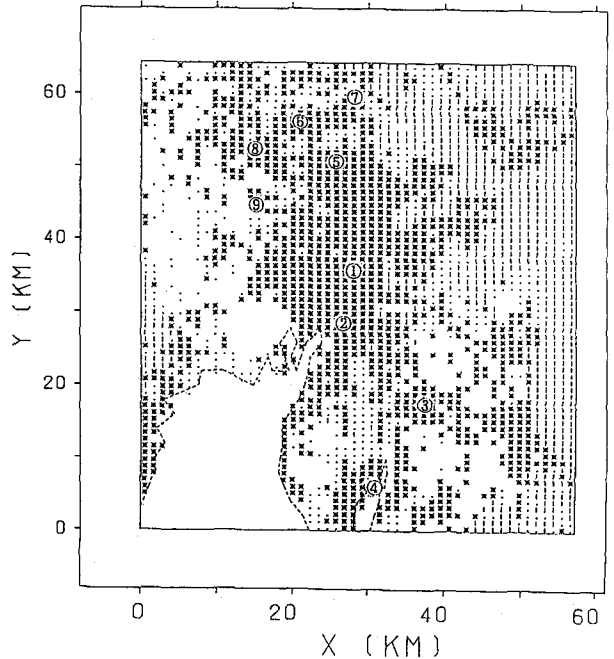


Fig. 2. Land use in Nohbi plain, Central Japan for summer in 1985. Symbols are: urban area (*), forest (|), grass land (.), and water surface (). Area ratios of the land use for total area except sea surface, shown in the figure are: 37.5% - urban area, 18.4% - forest, 15.6% - grass land, and 28.5% - water surface. Numbers ① to ⑨ denote observation sites which are referred to in text: Showa-ku, Nagoya ①, Minami-ku, Nagoya ②, Kariya ③, Handa ④, Komaki ⑤, Konan ⑥, Inuyama ⑦, Ichinomiya ⑧, and Inazawa ⑨.

Table 2. Simulation cases : (1) Testing effect of modified "Urban" area on temperature distribution in regional scale.

Case	Change of Land use for "Urban" Area	Bowen Ratio for Modified "Urban" Area
1	Base Case*	3.0
2	Urban* $\rightarrow$ Urban $\times$ 0.5 + Grass Land $\times$ 0.5	2.25
3	Urban* $\rightarrow$ Urban $\times$ 0.5 + Forest $\times$ 0.5	1.75
4	Urban* $\rightarrow$ Urban $\times$ (2/3) + Forest $\times$ (1/3)	2.17

* Land use distribution for "Base Case" is shown in Fig. 2.

Land use of each grid specified as "Urban area" in "Base Case (Fig. 2)" is changed as, for example, "Grass Land" for half of the "Urban Area".

内陸の観測点ほど気温減少が大きいことは、海風による熱の輸送が気温のバックグラウンドとして重要であることを示している。すなわち、沿岸都市部の緑化を進めることが、内陸の気候緩和にもつながることを示唆する。図中、距離25 および32 の場所に気温の下がり方が極めて鈍い点があるが、これは、それぞれ、稲沢 (Fig. 2の⑨) および一宮 (同じく⑧) に対応する。Fig. 2 から読み取れるように、両地点とも、都市化域よりはむしろ、水田や木曽川の川筋に沿って吹き込んできた海風に影響される傾向があり、このことが都市域の緑化によってあまり気温が変わらない原因となっていると考えられる。

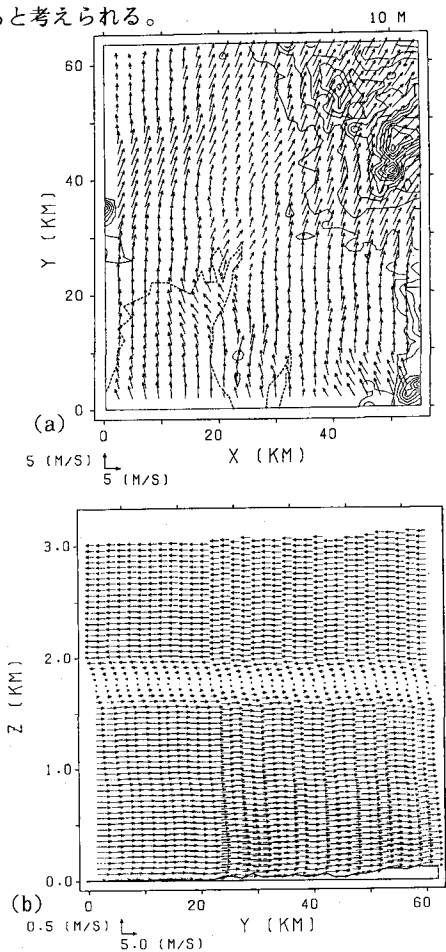


Fig. 4. Example of the flow field obtained by the objective analysis at 1400 LST on 12 May, 1985: (a) horizontal flow at 10m high above ground; (b) flow in y-z vertical plane at $x = 34.3$ km.

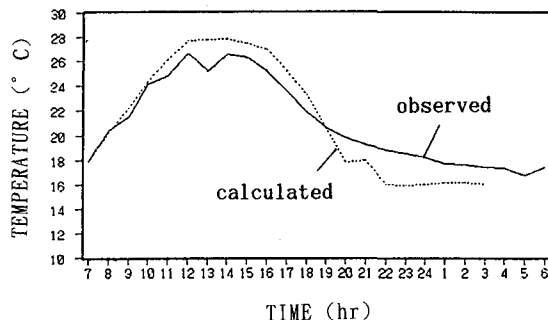


Fig. 3. Comparison of observed and calculated temperatures at Showa-ku, Nagoya (i.e., ① in Fig. 2) on 12 and 13 May, 1985.

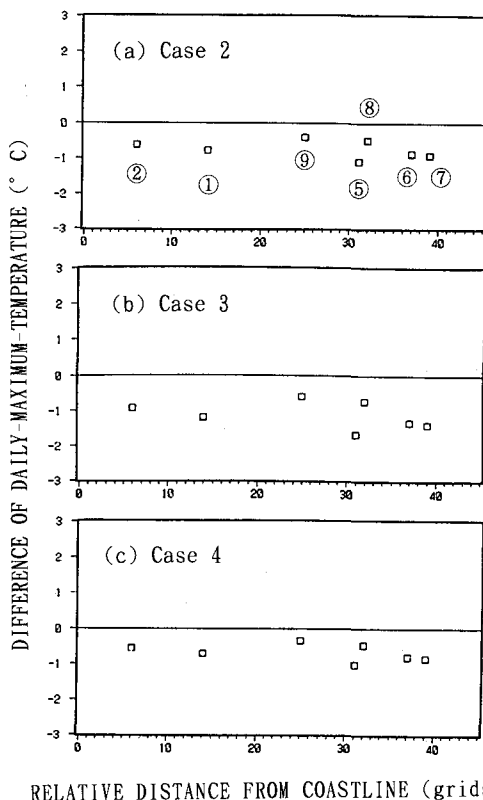


Fig. 5. Difference of daily-maximum temperatures between Case 2 and Case 1: (a); Case 3 and Case 1: (b); and Case 4 and Case 1: (c) at the sites of Showa-ku ①, Minami-ku ②, Komaki ⑤, Konan ⑥, Inuyama ⑦, Ichinomiya ⑧, and Inazawa ⑨. The coastline is at the grid number 0 in the figure. (In the real simulation domain, that is located at the 22nd y-grid). One y-grid corresponds to 924 m.

Fig. 6 に、域内土地利用変更後の“都市域”メッシュのBowen比に対する日最高気温の変化を示す。Case 2, 3, 4 について各地点とも気温の減少は見られるが、下がり方は一様ではなく、海風が都市化域を通過して到達する、もっとも内陸の地点（小牧、江南、犬山）で下がり方が最大、海に近い半田や、先述のように、到達する海風が都市域をあまり通過しない稲沢、刈谷などで気温の下がり方が小さい傾向がある。

Fig. 7 a は Case 1（基本ケース）の場合の日最高気温分布を、また、Fig. 6b, c は Case 1 に対する各地点の日最高気温の減少分を、それぞれ Case 2、3、4 について示したものである。図中の斜線部分は 1°C 以上の気温減少が見られる領域をあらわす。いずれも、内陸部分の気温減少の度合いが大きく、先述の一般風による熱輸送の効果を示唆する。Fig. 7b と 7c に見られる違いは、各々の都市メッシュ内面積の半分をgrass land とするか forestにするか（Table 1 参照）の違いに基づいている。もとより、結果は Table 1 のパラメータ値（特に Bowen比）をどう与えるかに依存するものの、同じように緑地面積を設定するにしても、芝生よりは樹木を植える方がはるかに地域の気温のバックグラウンドを下げるのに寄与することを示している。

さらに、Fig. 7c と 7d は、都市メッシュ内面積の forest に変える部分を2分の1にするか、3分の1にするかの違いを表す。Fig. 7c（Case 3）の場合の日最高気温の最大減少の度合いは、約 2°C 、Fig. 6d（Case 4）のそれは約 1°C である。さらに、 1°C 以上減少する地域の面積は、Fig. 6c の方がはるかに大きく、これらは、都市内の緑地面積比、従って、平均 Bowen 比に対する地域の気温応答の非線形性を示唆する。

以上、都市域内にかなりの緑地面積をとっても最大で 2°C 程度の気温減少しか見られないとも言えるが、これらは地域の気塊のバックグラウンドの気温を下げることを意味し、都市のエネルギー消費の減少の面からもその効果は大きいと考えられる。植樹による極局所的な効果、例えば木陰での日射の減少等は、このバックグラウンド気温の減少に上乗せされることになる。

5. 環境水面（水田、水路、人工池等）率の増加が気温分布に与える影響

4章で、都市域の緑被率が、地域の気温分布に与える影響を見た。ところで、水面の Bowen比は、森林以上に小さく（Table 1）、入射する太陽エネルギーのかなりの部分を潜熱流束として負担することが期待でき、気候緩和の効果がいっそう大きいと考えられる。そこで、まず、水田の効果を調べるために、上記の基本ケース（Case 1）で水面（ただし、海面は除く）と指定されている地点を全て grass land とした場合の気温分布を調べた。Table 3 の Case 5 がこれに相当する。

Fig. 8 に、Case 1 および 5 のときの、一宮（Fig. 1の⑧）における気温の日変化を示す。4章でも触れたように、一宮に達する海風は、特に、午後3時頃までは、主として木曾川沿いの田園地帯を通過してくるため、そのような表面に馴染んだ温度を持つ気塊となっていると考えられる。Fig. 8 は、明らかにこのような考え方を支持している。すなわち、土地利用が水面（水田）から草地（畑地）に変わったとき、到達する海風は水田から草地の熱的特性にマッチしたものに変わり、最高気温が 3°C 近く上昇している。Fig. 9 には、各観測点での Case 1 と 5 の日最高気温の差を示す。再び、稲沢、一宮など流れ場の特性上、水面から草地への影響を受ける地点の気温上昇が顕著である。

次に、名古屋市域に開水路、人工池などの形で環境水面を設定したときの気候緩和効果について感度解析

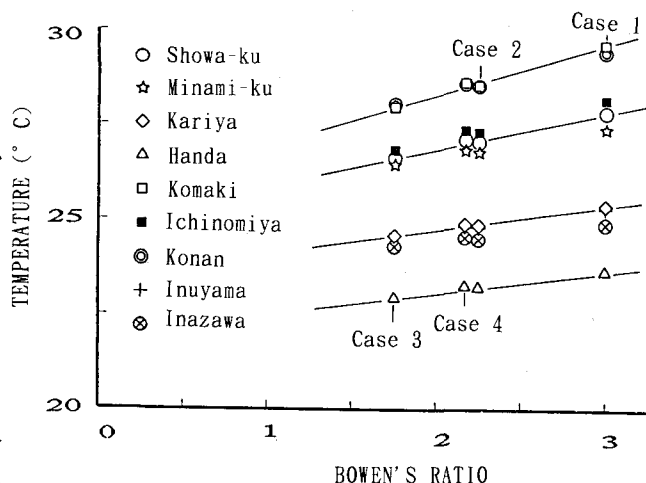


Fig. 6. Daily maximum temperature vs. Bowen's ratio in Cases 1 ~ 4.

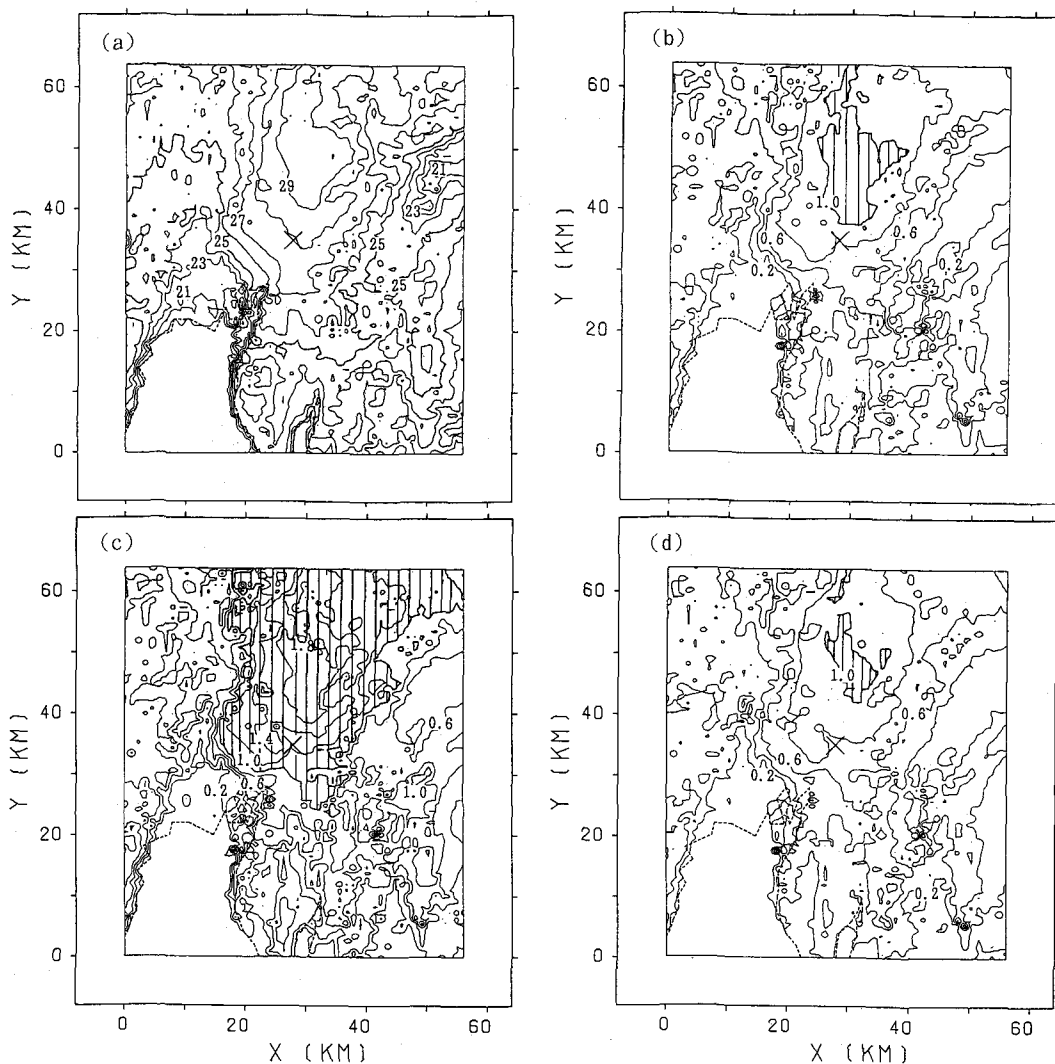


Fig. 7. Distributions of the daily-maximum-temperature itself in Case 1: (a), and of its decrease in Case 2: (b), in Case 3: (c), and in Case 4: (d). Shaded area shows where the temperature decrease exceeds 1°C . Cross (X) denotes the Showa-ku site. Units are all in $^{\circ}\text{C}$.

を行った。基本ケース（Case 1）における名古屋市の土地利用状況（1985年）は、Table 3 に示すように、水面 6.8 %，森林 5.2 %，田園 4.8 %，都市 83.2 % である。これを現況として、名古屋市の全面積に対する環境水面比を 15，25 % としたケース（Case 6，7）および水面比 15 % + 森林比 20 % としたケース（Case 8）について熱輸送計算を行った。なお、この水面比を達成するために、都市のパラメーターを持つ点（約 1 km 四方を単位とする）において水面パラメーターを面積比相当分だけ割り振ることによってこれを行った（Table 3 参照）。

Fig. 10a, b, c に、それぞれ、Case 6, 7, 8 の場合の日最高気温の減少分（基本ケース：Case 1 に較べての減少分）の等高線を示す。名古屋と言う比較的狭い範囲の都市域の水面比 15 % 程度では気温減少は、 0.2°C 程度にとどまる（Fig. 10a）。水面比 25 % でも、 $0.6 \sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 程度の減少である。しかし、いずれの場合でも、海風風下域への波及効果があることが、明確に示されている。すなわち、気候緩和を考えると、単に局所的なプランニングではなく、広範な地域の規模での環境水面や緑地の増加計画が必要であるこ

とを示唆している。また、Fig. 10c より、環境水面と緑の組み合わせによって、より実行可能性の高いプランに基づく気候緩和が可能であることが分かる。

Fig. 11 は、横軸に水面比、縦軸に日最高気温（昭和区、守山区、名古屋全市平均）をとって、Case 6 ～ 7 の結果に、同じく別途行った水面比 10 % および 20 % の結果を加えて整理したものである。水面比 7%（Case 1）が現況を表すが、これを 25 % まで上げることによって守山区の日最高気温が約 0.7 °C 下がり、全市平均で約 0.4 °C 下がる事が分かる。バックグラウンドとしての気塊の温度をかなり広い範囲に渡って 0.4 °C 下げるといのは、都市熱環境における夏期のエネルギー消費の削減にとっても大きな意味を持つと考えられる。例えば、濃尾平野を対象とした筆者らの以前の研究²⁾によれば、人工熱源が直接日最高気温（高度 10 m での四方の平均）に与える効果が大きくてたかだか 0.4 °C 程度であるから、この水面比による最高気温下降の効果は、“人工熱源の使用を全て止めた”のと同じ程度であると言えるわけである。

6. 結論

都市の緑被率、環境水面（水路、人工池など）率を上げることによって、地域規模（水平方向に 100 km スケール）の気温分布にどのような変化があるかを調べた。その結果、

（1）緑被率を上げることは日最高気温を下げることに効果がある。その効果は領域内のどの場所でも同じと言う訳ではなく、海風時に観測点に到達する流れの道筋の風上側で行われるとより効果的である。

（2）その意味で内陸郊外の高温化を緩和しようとするれば、沿岸部の都市域での、このような配慮が必要である。

（3）気候緩和のための上記の対策は、局所的では効果がなく、広範な地域規模で行われて初めて意味あるものとなる。

（4）都市化域の緑被率の変化に対して、地域規模の日最高気温の減少は非線形的な応答を見せた。すなわち、都市域の緑被率を

Table 3. Simulation cases : (2) Testing effect of environmental open water surface on temperature distribution in regional scale.

Case	Area- Ratios of Land Use in Nagoya City		
5			"Water surface" in Fig.2, except the sea surface, was changed to "grass land".
6*	Water surface	15 %	
	Urban area	75 %	
7*	Water surface	25 %	
	Urban area	65 %	
8*	Water surface	15 %	
	Forest	20 %	
	Urban area	60.2 %	
1* (Base case)	Water surface	6.8 %	
	Forest	5.2 %	
	Grass land	4.8 %	
	Urban area	83.2 %	

Area ratios for four types of land use in Nagoya City in Case 1 (i.e., "Base case") are listed for reference.

* Listed are only ratios different from those in Case 1.

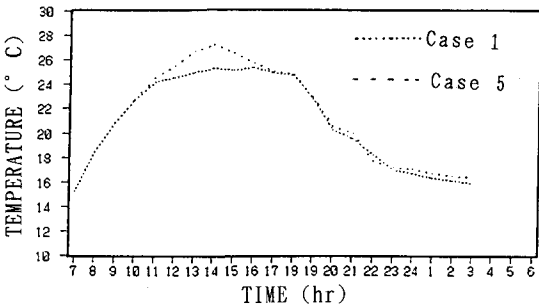


Fig. 8. Calculated temperatures at Ichinomiya (⑧ in Fig. 2) in Case 1 & 5 (Table 3).

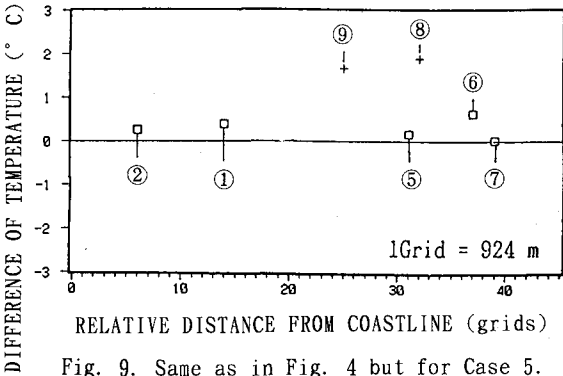


Fig. 9. Same as in Fig. 4 but for Case 5.

1/3 から 1/2 まで 1.5 倍に増加させると（このとき、都市域の平均 Bowen 比は 1.24 倍となる：Table 2）、領域内気温の最大減少は 1℃強からほぼ 2℃に増えた（Fig. 7c, d）。

（5）これらの気温の減少は、高度 10 m での 1 km 四方で平均した、いわばバックグラウンド気温の減少を意味し、地域のエネルギー消費減少の面でも大きな意味を持つと考える。樹木による極局所的な降温効果は、むしろ上記の減少に上乗せされることになる。

（6）緑被率同様に、環境水面率の上昇、例えば、名古屋市内の環境水面比を現況の約 7%から 25%にすると、最高気温は 0.6～0.7℃程度さがり（Fig. 10b）、その影響は名古屋の北部にも広く及ぶ。すなわち、地域特有の流れに基づく波及効果が大きい。類推すれば、名古屋自身の気候をより穏やかなものにしようとするれば、名古屋の東部および東南部地域も含めて、環境水面や緑被の率を上げることが必要であることが分かる。

（7）このような関係は、名古屋西方の木曽、長良川域の水田がなくなれば一宮の最高気温が約 3℃上昇すること（Fig. 9）からも明かである。

（8）さらに、25%の水面比にすると名古屋市のバックグラウンド気温が約 0.4℃下がることになるが、これは、筆者らの以前の研究^{2, 3)}と比較すると、

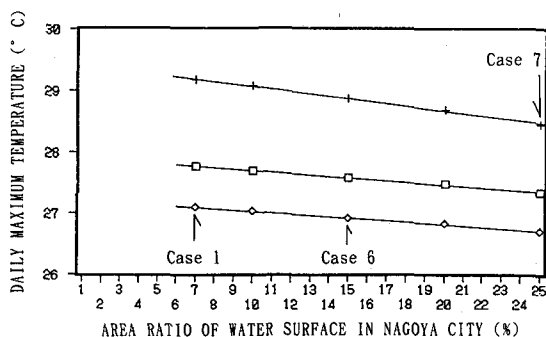
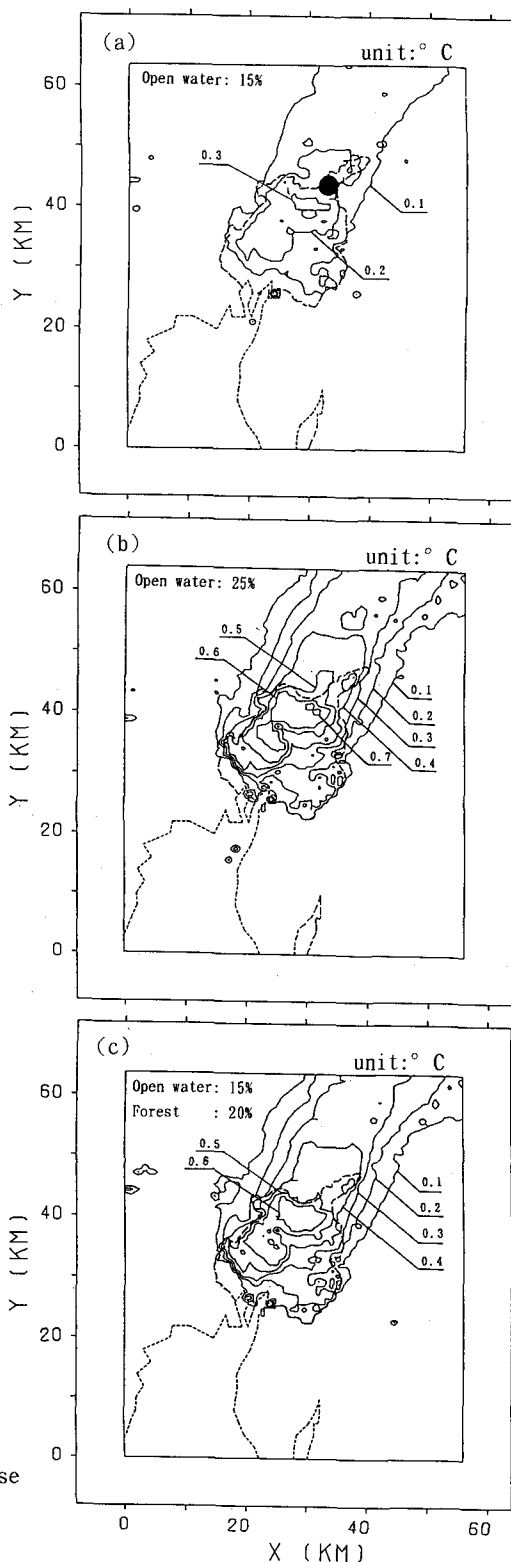


Fig. 11. Daily maximum temperatures vs. area ratio of water surface in Nagoya City. "Open square" stands for Showa-ku, "plus" for Moriyama-ku (see Fig. 10), and "diamond" for averaged over the whole Nagoya City.

Fig. 10. Same as in Fig. 7b, c, and d but for Case 6: (a), 7: (b), and 8: (c). Solid circle denotes the site of Moriyama-ku, Nagoya. Units in °C.



人工熱源の使用を全て止めたのと同様の効果を持つことを意味し、夏期のエネルギー使用の削減にとっても大きな意味を持つことを示唆する。

本報告は、暖候期について一例を示したものである。他の季節や場合についても例を増やしてゆくことが必要であろう。また、流れ場は主として総観規模の気圧配置と海陸、山脈分布などの地形効果により、ほぼ決まるものと仮定して、都市化等、土地利用の変化に伴う“地域規模”の熱分布の変化に対する二次的な流れの影響を直接には考慮しなかった。むしろ、流れ場に対する影響を含めて、ダイナミックな乱流モデルを伴ったメソスケール気象モデルによる解析も、より精度の高い推定のためには必要であろう。Kimura and Takahashi (1991)⁷⁾のモデルも Mellor and Yamada のレベル2のモデルではあるが有力な候補の一つであろう。ただ、その際に注意しなければならないことは、対象領域(例えば、100 km 四方)を取り巻くより大規模な地形効果による流れ場の特性がうまく再現されていないことである。それでなければ、例えば、現実には生じていない方向の熱輸送を、“存在するはず”と結論する等の誤りを犯す可能性がある。(観測風を処理して得られた流れ場には、ある意味ですでにこの効果が含まれている)。

謝辞

本研究の一部は、文部省科学研究費一般研究(C) 03650449 の補助を受けた。記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 北田敏廣、国井克彦、久保田庄三：地域規模の土地利用変化に伴う大気環境の変化 —濃尾平野の10年間(1975-1985)を例に—、衛生工学研究論文集、Vol.27, pp.117-127, 1991.
- 2) 北田敏廣、久保田庄三：土地利用の変化が濃尾平野の気温分布に与えた影響に関する数値解析 —土地被覆の改変と人工熱源増加の気温変化に対する寄与—、環境システム研究、Vol.20, pp.280-286, 1992.
- 3) 北田敏廣、久保田庄三、国井克彦：土地利用の変化が濃尾平野の気温分布に与えた影響に関する数値解析、気象学会秋季大会予稿集、pp.120, 1992.
- 4) Kitada, T., Kaki, A., Ueda, H., and Peters, L.K.: Estimation of vertical air motion from limited horizontal wind data, Atmos. Environ., Vol.17, pp.2181-2192, 1983.
- 5) Kitada, T., Igarashi, K., and Owada, M.: Numerical analysis of air pollution in a combined field of land/sea breeze and mountain/valley wind, J. Climate Appl. Meteor., Vol. 25, pp.767-784, 1986.
- 6) Kondo, H.: Description of N R I P R Mesoscale Model, Report No.44, 76p., National Research Institute for Pollution and Resources, Tsukuba, Japan, 1989.
- 7) 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, Atmos. Environ., Vol.25B, 155-164, 1991.
- 8) 山田哲二、辺見禎司：4次元同化法による大規模場のメソスケールモデルへの導入、日本気象学会春季大会予稿集、pp.282, 1993.
- 9) Swinbank, W.C.: Long-wave radiation from clear skies, Quart. J. Royal Meteorol. Soc., Vol. 89, pp.339-348, 1963.
- 10) Oke, T.R.: Boundary Layer Climates, 372p., Methuen & Ltd, London, U.K., 1978.
- 11) 例えば、Panofsky, H.A., and Dutton, J.A.: Atmospheric Turbulence, 397p., John Wiley & Sons, New York, U.S.A., 1984.
- 12) Kitada, T., Lee, P.C-S., and Ueda, H.: Numerical modeling of long-range transport of acidic species in association with meso- β -convective clouds across the Japan sea-1. Model description and qualitative verifications, Atmos. Environ., Vol.27A, pp.1061-1076, 1993.