

北海道の農地が有する気温上昇緩和効果の検討

Effect of farmland to decrease urban area temperature in Hokkaido

○中村和正*・中山博敬*・松岡直基**・佐藤隆光**・齋藤正美**

Kazumasa Nakamura, Hiroyuki Nakayama, Naoki Matsuoka, Takamitsu Sato and Masami Saito

1. 目的

農地には周辺の気温変化を緩和するなどの多面的機能があるといわれている¹⁾。都市と農地の位置関係として、大都市周辺に農地が存在する都府県に対し、北海道は大規模農地の中に都市が存在するという形態になっている。このような条件下における農地（畑地と水田）の持つ気温上昇緩和効果をシミュレーションから検討した。

2. 方法

計算モデル 首都圏等大規模なヒートアイランドを対象にしたシミュレーションモデル（例えば、UCSS, 都市気候予測システム）は複雑なモデルであり、人工熱やパラメータの設定のために膨大な資料整理が必要となる。そこで、本報告では、農地が都市へ及ぼす温度上昇緩和効果への関与の大きなパラメータのみを抽出した移流方程式と地表面熱収支を基本としたモデルを用いる（図1）。このモデルにおいて、地表面の状態、すなわち、 α_g , β , λ_g , C_g , Q を変えることにより、農地・都市を表現することができる。

気温シミュレーションに必要なパラメータは表1のとおりである。式(4)～(9)を解いて求められたフラックス値と熱収支観測データとが一致するように β , λ_g , C_g を決定した。

シミュレーション内容 実在する都市を対象にするのではなく、単純なモデル都市を想定し、都市規模や周辺農地の状況をパラメータとして気温シミュレーションを実施した。

都市は直径 2km と 5km の円形状のものを想定した。これらの都市の周りを一様に畑地または水田として、風上および風下の影響を把握するために図2のような計算領域を設定した。

都市の地表面はアスファルトで潜熱ゼロとし、また人工熱として日平均排出熱量は文献値を参考に人口密度から $7W/m^2$ とした。気象条件には、都市部と農地の日中の気温差が大きい実測データを用いた。

①大気

熱の移流方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q \quad (1) \quad K_h = k u_s x_3 \quad (3)$$

水蒸気の移流方程式

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial q u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_h \frac{\partial q}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

Q : 都市の排熱、 t : 時間(s)、 T : 気温(K)、 q : 比湿(kgkg⁻¹)、 u_i : 風速ベクトル (ms⁻¹)、 x_i : 空間座標 (x_1 : 風向方向、 x_2 : 風向に直交方向、 x_3 : 鉛直方向) (m)、 K_h : 熱拡散係数(m²s⁻¹)、風速分布: 水平方向は一様、鉛直方向は対数則 κ : カルマン定数(=0.4)、 u_s : 摩擦速度(対数則)(ms⁻¹)、 x_3 : 地上高(m)

②地表面

$$(1 - \alpha_g) S \downarrow + L \downarrow - \sigma T_s^4 = H + IE + G \quad (4) \quad H = \frac{\rho C_p k u_s (T_s - T_p)}{\psi} \quad (5)$$

$$IE = \frac{l \rho k u_s \beta (q_{sat}(T_s) - q_p)}{\psi} \quad (6) \quad G = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial x_3} \quad (7) \quad \psi = \ln \left(\frac{h_p}{z_0} \right) \quad (8)$$

$S \downarrow$: 日射量 (Wm⁻²)、 $L \downarrow$: 大気放射量 (Wm⁻²)、 α_g : 地表のアルベド、 T_s : 地表面温度(K)、 H : 地表面における顕熱輸送量 (Wm⁻²)、 IE : 地表面における潜熱輸送量 (Wm⁻²)、 E : 地表面における蒸発量 (kgm⁻²s⁻¹)、 G : 地中伝熱量 (Wm⁻²)、 β : 地表面の蒸発効率、 T_g : 地温(K)、 $q_{sat}(T_s)$: 温度 T_s における飽和比湿 (kgkg⁻¹)、 T_p : 地表直上の気温、 λ_g : 土壌の熱伝導率 (Wm⁻¹K⁻¹)、 q_p : 地表直上の比湿、 ψ : 気温と比湿の積分普遍関数

③地中

鉛直1次元の熱伝導方程式

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial x_3} \right) \quad (9) \quad T_g: 地温、C_g: 土壌の体積熱容量 (JK⁻¹m⁻³)$$

図1 シミュレーションに用いた計算式

Fig.1 Equation for simulation

* (独) 土木研究所寒地土木研究所 (旧 (独) 北海道開発土木研究所) : Civil Engineering Research Institute for Cold region, ** (財) 日本気象協会 : Japan Weather Association, キーワード : 気温上昇緩和, 移流方程式, 地表面熱収支

表1 気温シミュレーションモデルに必要なパラメータ
Table 1 Parameter for temperature simulation model

パラメータ	記号	値	備考
熱拡散係数	K_h	$ku + x_u$	u_* は対数則から求める。
粗度	z_0	0.01m	本調査では、畑地・水田・都市において同一値を用いる。畑地の粗度 ²⁾ を用いる。
アルベド	a_g	0.2	畑地・水田・都市においてほぼ同一値である ²⁾³⁾ 。
地表面の蒸発効率	β	0	都市(蒸発ゼロとする)
		0.7	畑地(実測値との適合性より決定)
		1	水田(実測値との適合性より決定)
土壌の熱伝導率	λ_g	$0.7 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	都市(アスファルト ⁴⁾ を想定)
		$1.0 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	畑地(実測値との適合性より決定)
		$3.0 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	水田(実測値との適合性より決定)
土壌の熱容量	C_g	$2.0 \times 10^6 \text{ JK}^{-1} \text{ m}^{-3}$	都市(アスファルト ⁴⁾ を想定)
		$1.0 \times 10^6 \text{ JK}^{-1} \text{ m}^{-3}$	畑地(実測値との適合性より決定)
		$4.2 \times 10^6 \text{ JK}^{-1} \text{ m}^{-3}$	水田(実測値との適合性より決定)

3. 結果及び考察

都市中心を通る風方向の気温プロファイルの時間経過をみると、都市部では風下ほど気温は高くなり、風下側の都市域境界で最大となった。また、周辺が水田の場合は畑の場合と比べて都市部の気温は低い傾向がみられた(差は最大で 1 °C程度)(図3)。都市域内気温の最高地点との気温差を集計したところ、周辺が農地(畑地または水田)の場合は都市面積が大きいほど気温は高めであった。また、気温差が 1 °C以上みられるのは都市域の風上境界から都市中心までであり、この傾向は都市規模および周辺の農地の形態(水田または畑)によらず共通してみられた。

4. おわりに

地覆条件や熱構造の異なる圃場と都市域の気温について数値シミュレーションを行い、気温に関して農地が都市に及ぼす効果について定量的に検討した。その結果、周辺に農地があることで、都市域の気温が緩和される状況が確認された。今後は、数値シミュレーションで得られたような結果(風下側ほど気温が高くなる様子)が、実際の都市域でも生じていることを検証することが残された課題である。

参考文献

- 1) 小林裕志・福山正隆編：緑地環境学，文永堂出版，2001
- 2) 近藤純正編：水環境の気象学，朝倉書店，1994
- 3) 庄司正弘：伝熱工学，東京大学出版会，1995
- 4) 日本機会学会編：伝熱ハンドブック，丸善，1993

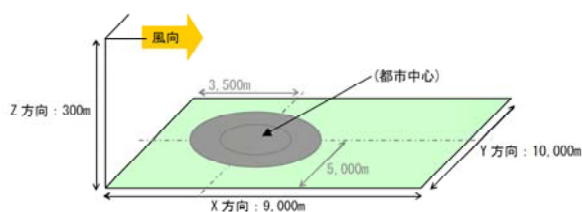


図2 計算領域と都市の位置
Fig.2 Simulation area and location of city

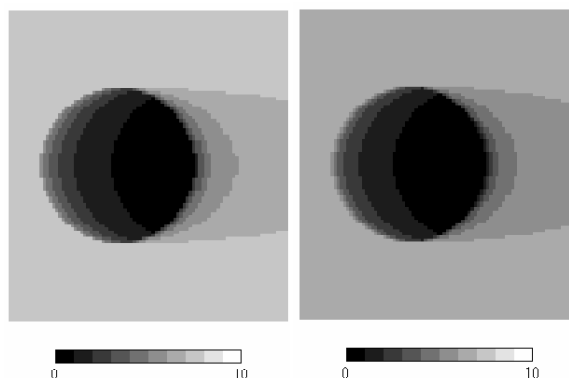


図3 都市部気温の最高地点との差の分布(都市半径5km) 左：周辺が畑/右：周辺が水田
Fig.3 Distribution of temperature difference with the highest point of city (5km in city radius)
Left: Surrounding is upland field.
Right: Surrounding is paddy field.