

II-213

局所加熱による熱対流

東京大学 正 員 玉井信行

東京大学 正 員 浅枝 隆

○ 東京大学 学生員 中井正則

1. まえがき

近年、都市における環境汚染が大きな問題となっているが、そのひとつにヒートアイランド現象とよばれる熱汚染がある。これは都市への人口集中による人為的な発熱量の増加、道路の舗装による地面温度の上昇、炭酸ガスの温室効果などの要因によって都市域の温度が郊外より高くなる現象である。

そこで、本研究ではヒートアイランド現象を局所的に加熱を受ける際に生ずる熱対流を解析することによって理論的に解明することを試みた。特に、境界の形状が複雑である場合の対流セルの変形についても検討した。

2. 基礎方程式

本研究では図1に示すような2次元直交座標系を採用した。この座標系に対し、次式で示す基礎方程式系が成立する¹⁾。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \alpha g T + \nu \nabla^2 w \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} + w \Gamma = \kappa \nabla^2 T \quad (4)$$

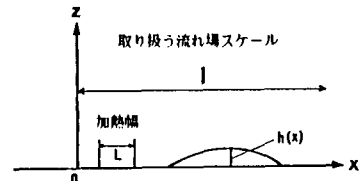


図1 解析対象と座標系

ただし、 (u, v) は流速、 p は圧力、 T は温度の変動成分、 ρ は密度、 κ は熱拡散係数、 α は熱膨張係数、 g は重力加速度であり、 Γ は図2に示すような流れ場の温度勾配である。

また、境界条件は次式で示すとおりである。

$$z = h(x) : u = v = 0, \quad T = f(x) \quad (5)$$

$$z = \infty : u = v = T = 0 \quad (6)$$

$$x = 0, l : u = v = T = 0 \quad (7)$$

ここで、 $f(x)$ は境界での温度分布であり、ここでは図3で示す分布を採用した。式(1) - (4)を

$$z' = z - h(x) \quad (8)$$

$$x' = x \quad (9)$$

と座標変換して、 $\varepsilon = H/L$ (H : 境界の高さの最大値、 L : 加熱幅) をパラメータとして摂動展開することによって解を求めた。

以上のように、本研究では従来は数値モデルに依存していた任意形状の境界に対する解を理論的に誘導した。

3. 解析結果および考察

最初に、平面上での局所加熱による熱対流の結果について述べる。解析条件の表中の R_a は Rayleigh 数である。なお、加熱領域は $4.5 \leq x/l \leq 5.5$ である。図4は温度の偏差 θ の鉛直方向分布である。同図より、局所加熱による温度変化は加熱領域上層でのみ顕著であり、非加熱領域へと離れて行くに従って温度変化は急

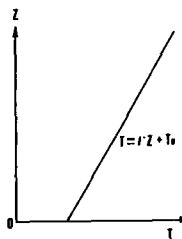


図2 流れ場の温度分布

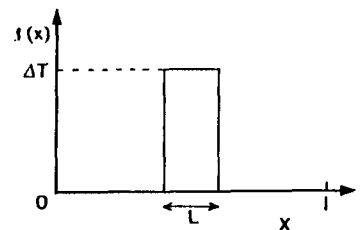


図3 境界上での温度分布

激に小さくなり、加熱領域中央点から加熱幅の2倍離れるとその影響はほぼなくなることがわかる。また、加熱領域内においてもその影響があらわれるのは無次元高さ $\zeta=5$ 程度までであり、それより上層はほぼ影響がないと思われる。これは加熱領域上層に明瞭な熱境界層が生成されていることを示唆している。図5は流線の形状を示したものである。同図より明瞭な対流セルが形成されていることがわかる。

次に、境界に孤立峰がある場合に結果について述べる。図6に流線の形状を示す。解析条件は表1に同じである。同図より対流セルが孤立峰によって変形させられていることがわかる。その効果は孤立峰が高い程顕著であり、定性的に妥当な結果であると思われる。

参考文献

1) Kimura, R.: J. Meteor. Soc. Japan, vol. 53, PP440-457, 1975

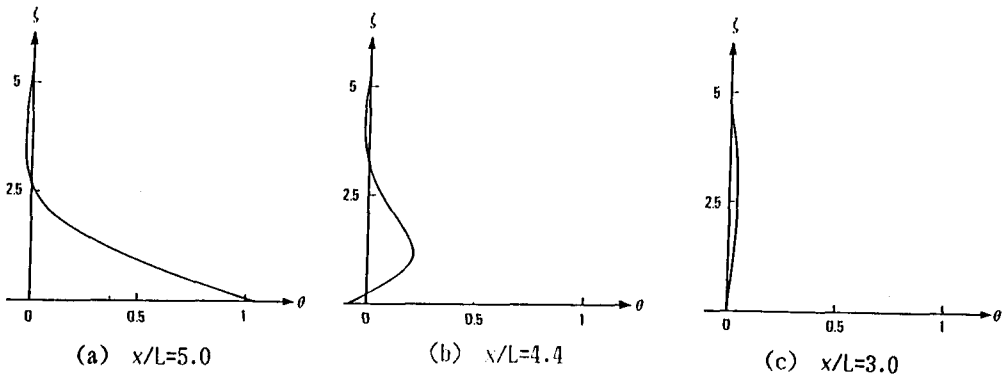


図4 温度の偏差 θ の鉛直分布

表1 解析条件

α (K^{-1})	3.33×10^{-9}
ν ($m^2 s^{-1}$)	10
κ ($m^2 s^{-1}$)	10
L (m)	1.00×10^4
l (m)	1.00×10^5
Γ (m^{-1})	3.00×10^{-8}
R_0	1.00×10^{18}

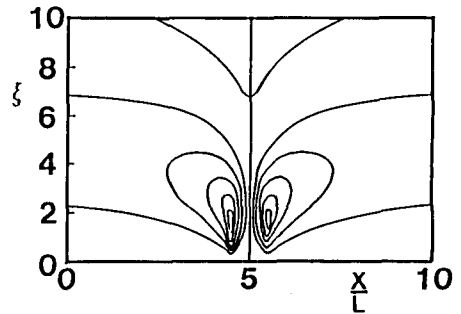
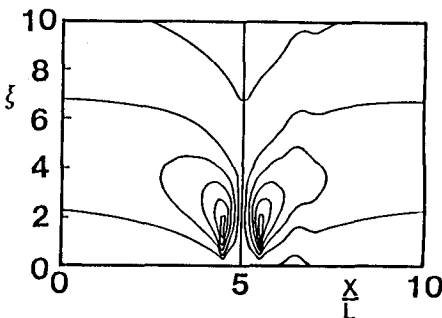
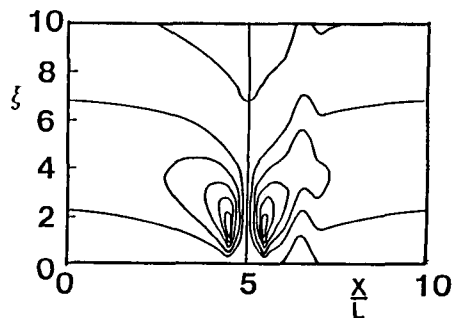


図5 流線(1)



(a) $H/L=0.01$



(b) $H/L=0.025$

図6 流線(2)