

京都大学工学部 正会員 平岡正勝
 京都大学工学部 正会員 ○池田有光
 川崎重工業 笹倉正晴

都市ヒートアイランド現象とは都市上の気温がその周辺部に比較して高くなる現象である。ヒートアイランド効果によって都市大気の立体構造は大きな影響を受けるものと思われるがまだ十分解明されていない。したがって都市周辺部に立地された工場から排出される煙などのような影響を受けて都市上空を拡散伝播するものは十分明らかでない。本報告はこのヒートアイランド効果が都市上空の風の流線にどのような効果を及ぼすかを理想化した状態で考え数値計算ならびに室内水槽実験から検討した結果に関するものである。拡散あるいは流れの諸現象に関する室内実験の効用は主に原形との間に相似性を見つけ計算が困難な部分の現象を異った規模の場で実現することにあるが、筆者は目的とする系の現象を表わす基礎式を各種の仮定の下に単純化して求めた解がその現象をよく表現しているかどうかを調べるために水槽実験結果を利用した。

1. 室内水槽実験

装置を図-1、図-2に示す。同図の中央の底面巾20cmの流れに垂直水平帯状領域を都市とみなして。その帯状面は下面より温水によって流体本体の温度との差が一定になるように加熱している。流れの水深は20cmで流下方向の平均流速は0.33 cm/secである。

流れは一次元的な強制対流と都市域面の加熱によって生ずる自然対流作用の組み合わせられた形となる。温度分布の測定はサーミスタ温度計を、流速、流線分布の測定は水素気泡法によった。

図-3は温度差4.8°Cのヒートアイランドの場合の流線と-6.9°Cのクールアイランドの場合の流線を水素気泡の写真撮影結果から推定したものである。気泡は微粒子であるが浮力によって流れの途中で上昇する。したがって2種類の流線は方向は加熱、冷却していない中立状態での気泡の方向を基準としてそれからの方向の偏りを求めることによって推定した。

2. 摂動法による解析

Malkus と Stern (1) は加熱した10 Kmの径の島上空の安定大気の流れについて基礎式を単純化するため粘性項を無視して摂動法によって解析的に解を求めている。

筆者はこの方法を水流に適用することを試みこの解析的に得られた解の検討を行った。

水流の場合の定式化では運動の式、連続の式は同じであるが他の式は物性の違いによって異なる。すなわち水流に対しては

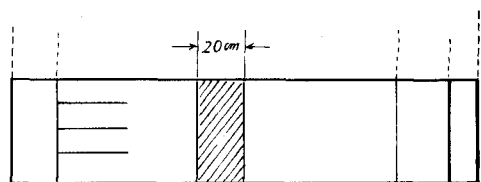
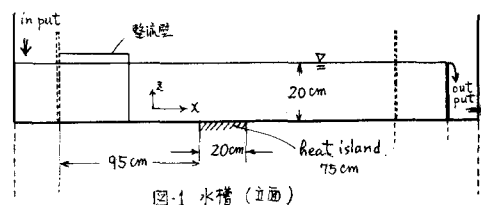


図-2 水槽 (平面)

— heat island $\Delta T = 4.8^\circ\text{C}$
 --- cool island $\Delta T = -6.9^\circ\text{C}$
 $\bar{U} = 0.33 \text{ cm/s}$

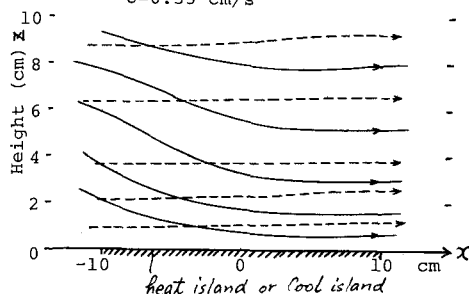


図-3 水槽実験による流線

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - g$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\rho = \rho_0 \frac{1}{1 + \beta \Delta T}$$

$$P = P_0 + \rho g (H - z)$$

$$V = C_p \frac{dT}{dt} \quad (6)$$

ここで u は主流方向の流速成分 (cm/sec), w は鉛直上方向の速度成分 (cm/sec), ρ は水の密度 (g/cm³), g は重力の加速度 (cm/sec²), β は水の体膨張係数, T は温度 (°C), H は水深 (cm), V は供給熱量 (cal/gsec), C_p は水の比熱 (cal/g°C), を示す。式(4)～式(6)をまとめると式(7)となる。この式をフーリエ解析して解析解を求める。

$$\nabla^2 \frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{g V \beta}{U^3 C_p} \quad (7)$$

ここで ψ は $w' = U \partial \psi / \partial x$, $V' = Q \exp(-z/h) \{ g(x) \}$, で表わされる。(1) は振動量を示し, Q はアイランド表面での加熱速度の振中, h は加熱速度が表面の $1/e$ となる高さである。 Q と h は近似的に実験条件ならびに伝熱の方程式から推定される。 $g(x)$ はフーリエ解析に必要なアイランドの位置を表わす周期関数を示す。

式(7)では鉛直上方向に流体が無限に広がった系 (no lid) の場合とある高さ $z = h$ で lid がある場合とでは解は異なる。水槽実験の場合は lid のある場合に相当し その高さは 20 cm である。式(7)を解いて得た流線分布を図4に示す。同図中数値は実験条件を示す。なお鉛直方向の熱伝導係数は $0.05 \text{ cm}^2/\text{sec}$ とすると $h = 2.19 \text{ cm}$ となる。

図-3 と図4を比較すると決して流線は一致していないが概して流れの傾向は合っているといえよう。図-5 は no lid のとき、図-6 は 1 km 上空に lid のある場合の対流に対して計算した結果である。計算条件は、平均風速 $U = 5 \text{ m/sec}$, 鉛直方向拡散係数が $10 \text{ m}^2/\text{sec}$, 温度差 2°C , 都市の径が 15 km の場合である。

この結果から lid の有無が流線分布に大きな影響を与えることがわかる。水流の場合の計算よりも大気の場合の方が粘性項を省略した結果生ずる矛盾は少なくなるものと思われる。以上の結果から都市のヒートアイランド効果によって都市の風下端では流線がやぶさかり、lid のあるときにはその傾向が強くなっている。実際の都市上空の流線分布についての実測はほとんどされていないので計算過程で導入された多くの仮定が結果に与える効果はまだ十分明らかでないがそれらについての将来の野外観測に期待したい。

<引用文献(1): J.S. Malkus, & M.E. Stern (1953): Jour. Met., 10, 30-41

$U = 5 \text{ m/s}$, $D_z = 10 \text{ m}^2/\text{s}$

$\Delta T = 2^\circ\text{C}$, $d = 15 \text{ km}$

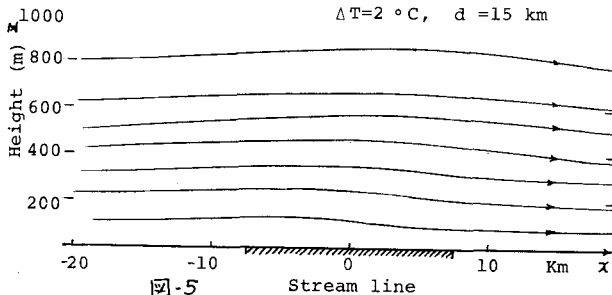


図-5 Stream line

$U = 5 \text{ m/s}$, $D_z = 10 \text{ m}^2/\text{s}$

$\Delta T = 2^\circ\text{C}$, $d = 15 \text{ km}$

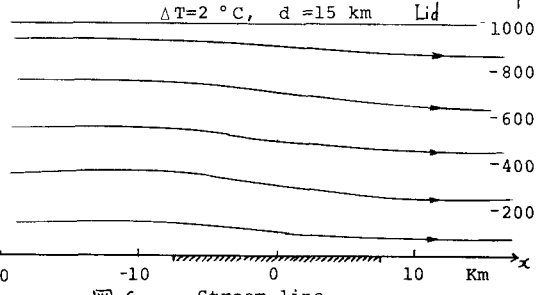


図-6 Stream line