

II-395

成層流中におけるブルームの挙動

東京大学工学部 正会員 中井正則
 東京電機大学理工学部 正会員 廣沢佑喃
 東亜建設工業 正会員 鈴木健彦
 東急建設 正会員 清水晋也

1. まえがき

近年の環境汚染問題のひとつに都市のヒートアイランド現象がある。ヒートアイランド現象とは種々の原因によって都市空間における大気が高温になるいわゆる熱汚染問題である。この現象の力学的解釈は都市域で局所的に加熱されることにより発生するブルームである。ところが、大気は多くの場合温度成層しており、また、平均風が吹いているために発生したブルームは複雑な挙動を示す。さらに、地面ならびに大気境界層の存在はブルームの挙動に影響を与える。

この現象に対して従来から気象学および環境工学の立場から多くの研究がなされている。しかし、ヒートアイランド現象の力学的特性を扱ったものは少ない。

そこで、本研究では最初にブルームの力学的特性を、つぎにブルームの壁面への再付着をいずれも実験的に明らかにした。

2. 実験

成層流をその成層を崩さずに長い距離流下させるのは一般に困難である。そこで、本研究では水槽に連続的な安定成層を作っておき、水槽の底をヒーターを曳航させることによって平均流中におけるブルームの挙動を調べた。

実験は東京大学工学部水工実験室内設置の towing tank system を用いて行なわれた。水槽はアクリル製であり、長さ10m、幅50cm、高さ80cmである。移動台車は水槽をはさみこむ形で取り付けられており、高さ140cm、幅170cmである。この移動台車の天井からヒーター(5cm×40cm)を埋め込んだ加熱板をつりさげた。加熱板はサイズが6cm×45cm(加熱板A:壁面なし)と45cm×45cm(加熱板B:壁面あり、境界層がヒーターの下流側に発達する)の2種類を用いた。実験条件はヒーターの温度上昇分 $\Delta T=1.1-22.5^{\circ}\text{C}$ 、曳航速度 $U=0-3.5\text{cm/sec}$ 、成層の密度勾配 $d\rho/dz=1.1-8.1\times 10^{-4}\text{g/cm}^4$ の範囲に設定した。

流れの可視化には、ウオーターブルーならびにアルミニウム粉末を用い、その時のブルームの挙動をカメラで撮影した。なお、実験装置の詳細は参考文献1), 2)を参照されたい。

3. 結果および考察

最初に、加熱板Bを用いた壁面の存在する場合の結果について述べる。以下では相似パラメーターとしてKimura(1975)による密度フルード数 $F_d (= \frac{U}{\sqrt{\frac{g\delta^3}{\rho_0}}})$ を用いる。ここで、 g は重力加速度、 ρ_0 は基準密度、 δ は鉛直長さスケールである。図1は静止流体中($F_d=0$)におけるアルミニウム粉末による流跡線である。ブルームはヒーター部から上昇するが、周囲流体が成層しているために上昇はある有限高さまでであり、そこから横に大きく拡がりあるところで下降するというアスペクト比の大きい対流セルの形態をとる。図2はウオーターブルーによって可視化した $F_d=1.2$ の場合のブルームであるが、平均流の効果によって上流側の対流セルが消滅し、下流側のものが下流に流されているのがわかる。図3に $F_d=7.4$ の場合の結果を示す。同図より対流セルは消滅し、いわゆるbent-over-plumeの状態となることがわかる。すなわち、周囲流体の成層の効果は支配的でなく平均流のもつ慣性力が流れを決定していると言える。また、ヒーター部から間欠的に発生したサーマルがヒーターの下流側に一定間隔で並ぶ現象が観察された。このサーマルの発生は既往の研究においてはあまり注目されていないが、この現象の重要な力学的性質のひとつと考えられる。以上のようにブルームの流動形態は密度フルード数 F_d によって分類でき、特に $F_d > 4$ の範囲においては現象の非定常性が重要となってくることがわかった。(参考文献1, 2)参照)

つぎに、ブルームの挙動に及ぼす壁面の影響について述べる。図4と図5に壁面のある場合とない場合の比較を写真で示す。両図において密度フルード数 F_d は4.8, 4.9とほぼ同じであるにもかかわらずブルームの挙動は大きく異なっている。図4ではブルームが壁面に付着するように下流に流されているのに対し、図5ではブルームは壁面が存在しないために波うちながら流下する。

最後に、ブルームの上昇高さを壁面の有無で比較したものを図6に示す。なお、縦軸 h/δ は鉛直長さスケールで無次元化したブルームの上昇高さを、 ϵ は非線形性を表わすパラメーターを表わす。(参考文献1, 2)参照 同図より壁面の存在はブルームの上昇高さを高める方向に作用することがわかる。この傾向は密度フルード数 F_d の大きい範囲において顕著であり、この主原因はブルーム壁面への再付着と考えられる。以上のようにヒートアイランド現象においてはブルームの地面への再付着は無視できない重要な問題であることがわかった。

参考文献

- 1) 中井正則, 清水晋也, 鈴木健彦: 第33回水理講演会論文集, pp. 691-695, 1989.
- 2) 清水晋也, 鈴木健彦: 芝浦工業大学土木工学科卒業論文, 1989.
- 3) Kimura, R: J. Meteor. Soc. Japan., vol. 53, pp. 440-457, 1975.

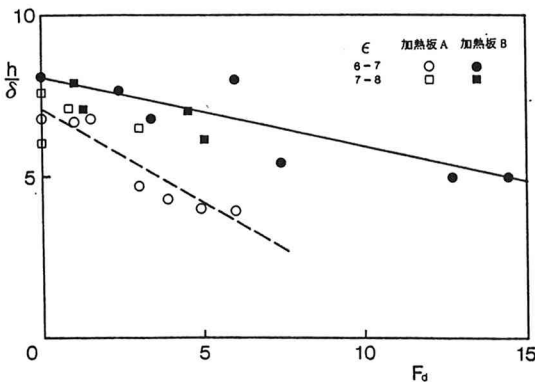


図6 ブルームの上昇高さの比較

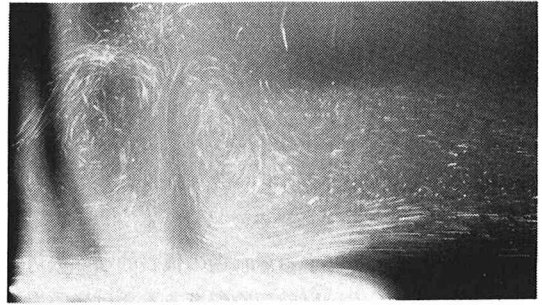


図1 流跡線 ($F_d=0$)

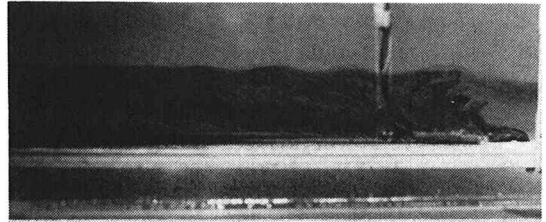


図2 流れ模様 ($F_d=1.2$)

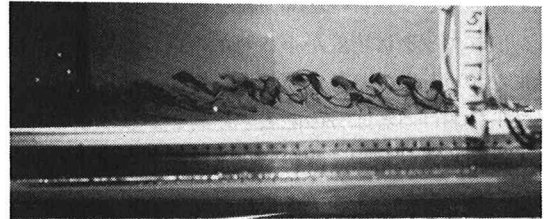


図3 流れ模様 ($F_d=7.4$)

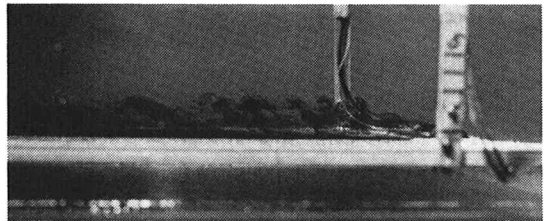


図4 流れ模様 (加熱板 B: $F_d=4.8$)

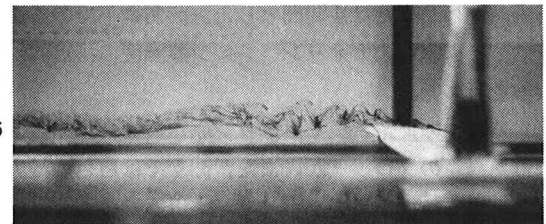


図5 流れ模様 (加熱板 A: $F_d=4.9$)