

成層流中に放出された Plume の上昇高さに 及ぼす壁面および境界層の効果*

中井正則**・鈴木健彦***・清水晋也***

1. まえがき

局所的な温度差により鉛直上向きに発生する Plume は大気中においてよくみられる現象である。大気は多くの場合成層をなしており、また、一般に大気中には平均的な風が吹いているために放出された Plume は複雑な挙動を示す。とくに、平均風の強さが比較的強い場合には、地表面に沿って明瞭な大気境界層が形成されているために発生した Plume は境界層の影響を受けることが予想される。ところが、Plume の挙動に及ぼす境界層の効果については現在までにほとんど研究がなされていない。

そこで、本研究では安定成層した平均流中に鉛直上向きに放出された Plume の上昇高さに及ぼす下部壁面(ここでいう壁面とは地表面を想定している)およびそれに沿って発達する境界層の影響を実験的に調べた。

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、本研究では水槽にあらかじめ安定成層を作っておき、水槽の底をヒーターを水平方向に曳航することによって平均流中における Plume の挙動を調べた。

実験は第1図(a)に示すような長さ 10 m、幅 50 cm、高さ 80 cm の Towing Tank System を用いて行われた。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 140 cm、幅 170 cm である。この移動台

車の天井からヒーター(5 cm×40 cm)を埋め込んだ加熱板を水平につりさげた。加熱板には第1図(b)に示すように境界層の効果を調べるためにサイズが 6 cm×45 cm(加熱板A:壁面なし)と 45 cm×45 cm(加熱板B:壁面(地表面)あり;境界層が壁面に沿ってヒーターの下流側に発達する)の2種類を用いた。

流れの可視化には染料(ウオーターブルー)を用い、可視化写真より Plume の高さを読みとった。(詳細は中井・清水・鈴木(1989)、中井・鈴木・清水・浅枝(1989)参照)

3. 結果

結果の整理に際して次式で示す密度 Froude 数を用いた。

$$Fd = \frac{U}{\sqrt{-g \frac{d\rho}{\rho_0} \frac{dz}{\delta}}} \quad (1)$$

ここで、U は平均流速(加熱板の曳航速度)、 ρ^0 は基準密度、 $d\rho/dz$ は周囲流体の鉛直密度勾配、 $\delta(=Ra^{-1/6}L = \left(-g \frac{d\rho}{dz} L^4\right)^{-1/6} L$; Ra は Rayleigh 数、L は水平

長さスケール(ヒーターの半幅)、 κ は熱拡散係数、 ν は動粘性係数であり、このパラメーターは Kimura(1976)と同じものである)は鉛直長さスケール、g は重力加速度である(中井・清水・鈴木(1989)参照)。第2図に加熱板AとBの場合の Plume の上昇高さを比較したものを示す。なお、同図中において h は Plume の上昇高さ、 ϵ は非線形性の強さを表わすパラメーターであり、次式で定義されている。

$$\epsilon = -\frac{4\rho}{\frac{d\rho}{dz} L} \quad (2)$$

ここで、 4ρ はヒーターの上昇温度分 $4T$ に対する換算密度差である。このパラメーターは運動方程式を無

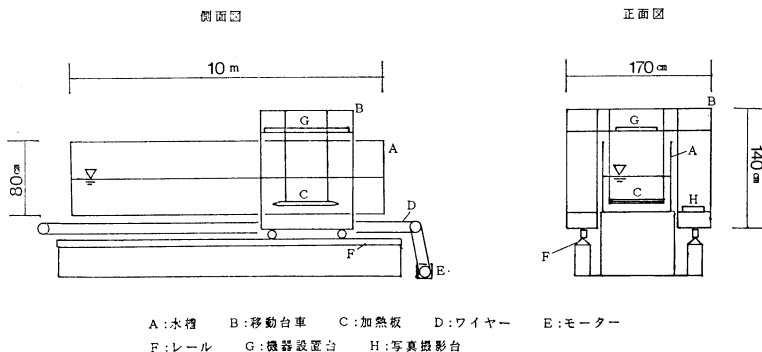
* The effects of walls and boundary layers on rising heights of plumes released in stratified flows.

** Masanori Nakai, 東京大学工学部.

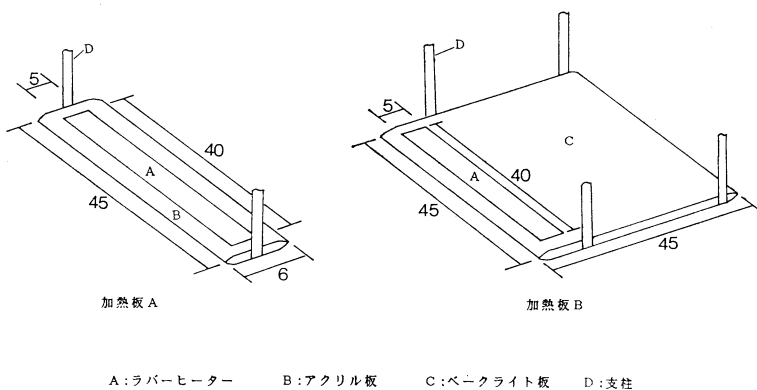
*** Takehiko Suzuki, Shinya Shimizu, 芝浦工業大学.

—1990年1月16日受領—

—1990年8月30日受理—



第1図 (a): 実験装置

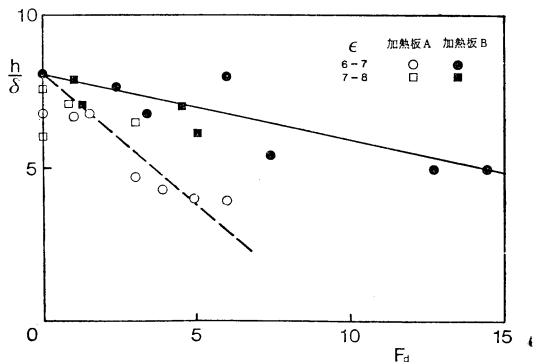


(図中単位: cm)

第1図 (b): 加熱板

次元化した際に非線形慣性項につく係数である(中井・鈴木・清水・浅枝(1989))。

同図より, Plume の上昇高さは密度 Froude 数 F_d が大きくなる程低くなること, また上昇高さは壁面境界層が存在する場合には存在しない場合に比べて高くなることわかる。本研究では, とくに後者の結果について注目しているが, この結果の理由は以下のように解釈される。第1の理由は境界層内では主流内より平均流速が小さくなるため, 実質的な密度 Froude 数がと下がることである。第2の理由は壁面(地表面)があると Plume はその高さより下に下降することができずに壁面に再付着することである(中井・廣沢・鈴木・清水(1989))。第2図より, 例えば $F_d=5$ 程度のときには, 壁面がある場合の Plume の無次元上昇高さは壁面がない場合の約2倍にもなる。



第2図 Plume の上昇高さの比較

以上のように地表面およびそれに沿って発達する境界層は Plume の上昇高さに大きな影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

Kimura, R., 1976: Effect of general flows on a heat island convection (part 1), J, Meteorol. Soc. Japan, 54, 308-320.
 中井正則・清水晋也・鈴木健彦, 1989: 都市大気の

安定成層中に発生するブルームの挙動に関する実験的研究, 第33回水理講演会論文集, 土木学会, 691-695.

中井正則・鈴木健彦・清水晋也・浅枝 隆, 1989: 成層流中に発生するブルームの挙動, 流れの可視化, 9, 213-216.

———・廣沢佑喃・鈴木健彦・清水晋也, 1989: 成層流中におけるブルームの挙動, 土木学会第44回年次学術講演会概要集第Ⅱ部, 860-861.

質疑応答

質問は、東京都千代田区大手町 1-3-4, 気象庁内
 日本気象学会天気編集委員会宛、どうぞ

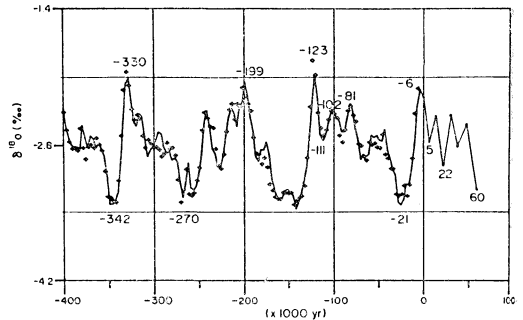
質問：1963年の大寒波以来、十数年間は地球寒冷化がいわれたのに、昨今は、同じ資料に最新期間を加えただけで地球温暖化とか。この不連続の説明をお願いします。長期予報的なものにまで、流行があるのでしょいか？ 飯の種かとも思うが。（関西地区 一会員）

回答：「天気」担当編集委員会から、上記質問に対し回答するよう求められた。老生の如き、現在、現場にいない者が回答することが、必ずしも適当かどうか疑問であるが、私は1973年に『氷河期に向う地球』（以下Aと略称する）を書き、1989年4月には『熱くなる地球』（B）を書き、質問者の言われる通り、これを“飯の種”とした。

この点からすると回答者として、あるいはふさわしいかもしれないと考えたので、以下、愚考するところを簡略にのべる。

私がAを執筆した頃は、多くの地質学者等によって世界の気候が、やがて氷河期を迎えることになるであろうという見通しが固りかけていた時代であった。たとえばAには、P107~116にアメリカ・ブラウン大学で開かれた“現在の間氷期は、いつどのようにして終るだろうか”というシンポジウムの結論がくわしく紹介されている。

この見通しが、以後一そう強固なものになっていることは、A.L. Berger (1981) の示した図からも明らかである。この図は過去およそ40万年について、海底堆積物の $\delta^{18}O$ (‰, この値は気温に反比例して変化する) を求め、これとミランコヴィチ説から期待される値（図中、曲線で示す。）を比較したものである。これをみるとミ説による10万、4万および2万年の周期を合成したもの



第1図 過去40万年と、将来6万年の気候の変化 (A.L. Berger, 1981 による)

に、美事に実測値がフィットしている。過去において、これほど一致しているのだから、周期の合成によって将来を予測することは容易である。図をみると5,000年後には寒冷化の第1波があらわれ、6万年後は次の氷期のドン底となる。

さてそれならBの表題で示されたようなことは誤なのか。実はこれも多くの人達に認められている事実である。1965年以後、グローバルな対流圏下層の平均気温には0.3°C/20年の上昇がみられ、これは研究者によって大差がない。80年代に入ってから年ごとの気温上昇は著しく、1980, 81, 83, 87, 88および89年は17世紀以来の最高、さらにこの中での最高は1988年であった。