

プリューム分布形状を考慮した積分モデル

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 大阪大学大学院 学生員 ○日置 洋平

1. まえがき ; ジェット, プリュームのモデルはこれまでに数多く提案されている。それらを大別すると, 微分モデル, 積分モデルに分類できる。前者には, ジェット領域からプリューム領域の間の遷移過程を表現できないという欠点があり, 後者には, 周囲水の連行を表現する付加的な条件を導入するにあたって連行係数を実験的に定めざるを得ないという欠点がある。したがって, 理論的に誘導された連行係数を用いて, 全流程にわたって適用可能なモデルの開発が望まれる。本研究では Phillips¹⁾ のモデルを踏襲し, 連行係数を流速の分布形状を勘案した形で理論的に決定した。さらに得られた連行係数を用いて平均諸量の流程方向変化を求め, 実験との比較をおこないモデルの適合性を検証した。

2. モデル展開の概要 ; モデルは微分モデルと積分モデルの利点を利用し, 両者を混成した形で展開される。その概要を図-1に模式的に示す。モデルの展開上, 主となるのは積分方程式系であり, 微分方程式系は, 連行係数を流速の分布形状と連結させる役割を結果的に果たす。まず, 流速・浮力を断面積分量と分布関数の積で表わし, 基礎方程式に代入して変数分離を図る。その結果, 分布形に関する微分方程式系と断面積分量に関する積分方程式系が得られる。微分方程式系から分布形状, および乱流プラントル数 Pr , 局所リチャードソン数 Ri の関数として連行係数 E が与えられる。得られた E と Ri の関係を用いて積分方程式系を解くことによって, 平均諸量の流程方向変化が求まる。

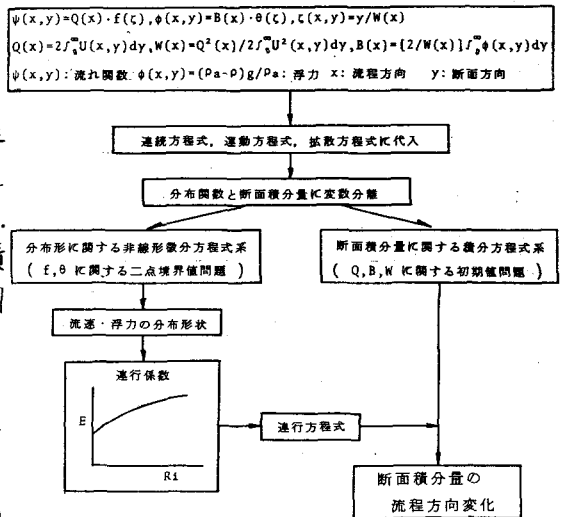


図-1 モデル展開の概要図

3. 流速, 温度の断面内分布 ; 図-2はジェット領域の断面内流速, 温度分布について, 乱流プラントル数 Pr を変化させたときの数値解析結果を示す。縦軸は無次元化流速および温度を示し, 横軸は中心軸上流速の $1/2$ となる半値半幅で無次元化した距離を示す。図より乱流プラントル数が小さくなるにつれて温度分布の拡りが大きくなる傾向がみられる。乱流プラントル数は渦動粘性係

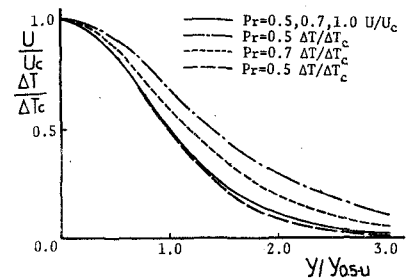


図-2 流速・温度の断面内分布形状

数と渦動拡散係数の比であり、乱流プラントル数が小さくなることは渦動拡散係数が大きくなること、すなわち温度分布が拡がることを示している。このことより乱流プラントル数の影響はモデル展開上矛盾なく評価されていると考えられる。また分布形状をガウス分布とした場合には、流速分布と温度分布の拡散幅比は、 $\lambda^2 = 1/Pr$ (Pr : 乱流プラントル数) という関係を満たす。図中に示した流速、温度の分布形状は、その関係式をほぼ満たしており、解析より得られた分布形状はガウス分布に近い。

4. 連行係数；連行係数 E と局所リチャードソン数 Ri との関係は実験係数 C_1 を含んだ形で微分方程式系から求められる。いま均質噴流 ($Ri = 0.0$) において、 E を Tollmien の値に一致するように $C_1 = 0.0058$ に選んで E と Ri の関係を求めたのが図-3 である。この値は Reichardt が実験的に得た値のおよそ $1/2$ に相当する。同図には比較のために Rouse et al. および Fox²⁾ の関係式もあわせて載せた。Fox は質量、運動量の保存則に加えて運動エネルギー式を連立させることにより $E = 0.068 + 0.2(P_r) Ri$ の関係を誘導している。今回の解析ならびに Fox の提案式はともに局所リチャードソン数の増加にともなって、連行係数が増大する傾向を示しており、浮力効果がフォーストプリュームの連行に及ぼす影響を明瞭に示している。しかしながら、平衡プリューム(一点鎖線との交点)に達した時点でも Rouse et al. の連行係数を下まわる値を示しており、今回の解析では連行を過少評価していることがわかる。

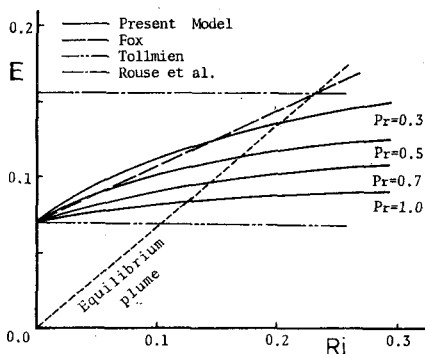


図-3 連行係数

5. 積分量の流程方向変化；図-4, 5 は流量および浮力の断面積分量の流程方向変化を示す。実線は $Pr = 0.5$, $C_1 = 0.01086$ としたときの解析結果であり、プロットは実験結果である。また流量と浮力の実験値は断面内分布がガウス分布に従うものと仮定して近似的に算出した。流量の実験値は解析結果とその傾向は一致しているが、一様に大きい値を示している。それは各々 1.1 倍程度であり、計測時の誤差に原因があるものと推察される。初期流速の測定は噴出口上方 1cm でプロペラ流速計でおこなっているために、真の噴出口流速とは少し異なった値を示していると考えられる。しかし、解析結果との対応は良好であると判断した。一方、浮力の遙減の傾向は、噴出口近傍を除いて実験結果と解析結果とよく一致しているのがわかる。

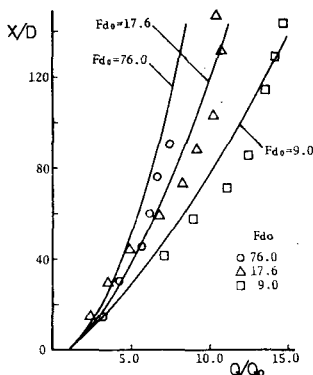


図-4 流量の流程方向変化

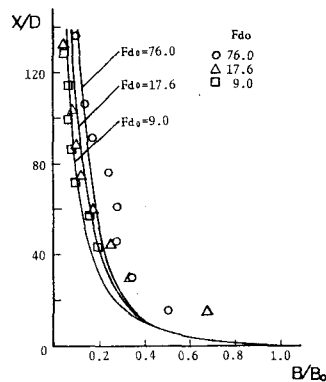


図-5 浮力の流程方向変化

【参考文献】1) W.F. Phillips (1981): J. Fluids Eng. vol. 103

2) Fox, D.G. (1977): Forced plumes in a stratified fluid, J. Geophys. Res., vol. 75