

摩擦抵抗および熱輸送による乱流・粒子間相互作用についてのシミュレーション研究

名古屋工業大学・工学研究科・物理工学専攻 齋藤 泉

本研究課題の目的は、雨粒や鉱物ダストなど、微小粒子を多量に含む乱流（混相乱流）において、摩擦抵抗および熱輸送を通じた乱流・粒子間相互作用による粒子群の輸送・混合、また粒子群による乱流変調を明らかにすることである。また得られた結果を基に、乱流・粒子間相互作用に関する統計モデルの開発・検証を行う。2020年度は以下の2テーマに関する研究について進めた。

微小粒子群による熱輸送を通じた乱流変調

乱流と微小粒子群の相互作用は粒子サイズ、数密度、運動量慣性・熱慣性、領域サイズ等に依存する、複雑多岐にわたるものであり、このために基本的なメカニズムの理解が妨げられてきた。本研究ではまず第一歩として、流体粒子として運動し、熱慣性を持ち、熱輸送のみを通じて周囲の流体と相互作用する単純化されたシステムを考えて調査した。このシステムでは、雲乱流研究において使われてきた統計モデル（ランジュバン方程式に基づく）を自然に応用することができ、微小粒子群による流体温度場の揺らぎの変調を、ダムケラ数と呼ばれる無次元パラメータの関数として解析的に予言することができる。図1(a)は、格子点数 32^3 から 512^3 までの直接数値シミュレーションの結果得られた流体温度場の揺らぎの分散の変調（図中の点々）を、統計モデルによる予測（破線）と比較したものである。シミュレーション結果と理論予測は定量的に良く一致しており、雲乱流研究における統計モデルが本研究でも有効に機能することを示している。本研究成果は英文査読誌に投稿され、現在修正中である [1]。今後は熱慣性だけでなく運動量慣性を含むような、より複雑なシステムに調査を広げていく方針である。

乱流・粒子間相互作用についての統計モデルの検証と改良

エディ・ホッピングモデルは、雲環境内における微小水滴の凝縮成長に対する乱流の影響を取り入れるために考案された統計モデルである。本研究では、これまでの乱流・粒子間相互作用のシミュレーション研究の結果を土台として、エディ・ホッピングモデルの理論解を導出することに成功した。この理論解を用いることで、モデル予測がレファレンスデータ（直接数値シミュレーションおよびラージエディシミュレーションの結果による）とより良く一致するような修正を提案し、また元々は2変数のモデルであったものを1変数に縮約する手法を提案した。図1(b)は、修正した統計モデル（実線）を従来のモデル（破線）と比較している。修正したモデルの方が、レファレンスデータ（黒点）によく一致していることが分かる。これらの修正により、モデルの精度向上および計算コストの減少に貢献することが期待される。本研究成果は英文査読誌に投稿され、現在修正中である [2]。

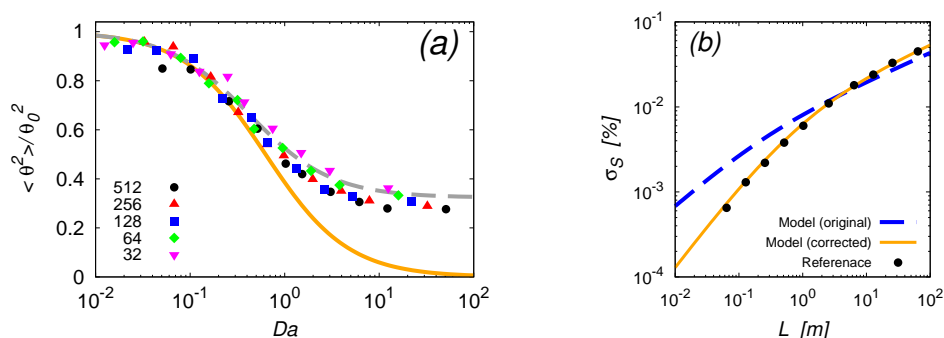


図1: (a) 微小粒子群による流体温度場の変調。横軸はダムケラ数、縦軸は粒子の有無による流体温度場の揺らぎの分散の比。値が1より小さい程、粒子の影響によって温度分散が減少することを意味する。点々がシミュレーションの結果、破線が統計モデルによる予測。(b) エディ・ホッピングモデルの従来版（破線）と本研究による修正版（実線）の比較。黒点はレファレンスデータ。縦軸は過飽和度の標準偏差、横軸は領域サイズ。

[1] I. Saito, T. Watanabe and T. Gotoh, “Modulation of fluid temperature fluctuations by particles in turbulence”, (under revision).

[2] I. Saito, T. Watanabe and T. Gotoh, “Statistical properties of a stochastic model of eddy hopping”, (under revision).