

## G116

## 分散系二相乱流場の放射伝達シミュレーション

(京大院)○(学)松田景吾・(京大工)(正)黒瀬良一・(正)小森 悟\*

## 1. 緒言

現在、気象や気候の変化を予測するために、大循環モデル (General Circulation Model, GCM) を用いた地球規模の数値予測が行われている。GCM による数値予測では、大気中の放射熱輸送に大きな影響を及ぼす雲の放射特性を精度よく評価することが必要不可欠である。これまでに、数多くの研究者により雲内の放射伝達に関する研究がなされてきたが、乱流が放射伝達特性に及ぼす影響については十分に解明されていない。特に、乱流中の preferential motion による液滴の空間分布の非一様性が雲の放射特性に及ぼす影響については、理論解析によりその影響のオーダー評価が行われた程度であり<sup>1), 2)</sup>、詳細に調べた研究は存在しない。そこで本研究は、乱流による液滴の非一様な空間分布が放射特性に及ぼす影響を調べることを目的とした。

## 2. 計算方法および計算条件

放射伝達計算の対象とする液滴の空間分布は、分散液滴を伴う乱流場に対する三次元 DNS を用いて再現した<sup>3)</sup>。計算領域は一辺が  $2\pi L_0$  ( $L_0 = 5$  mm) の立方体とし、全ての境界面に周期境界条件を用いた。気相乱流場の計算には擬スペクトル法を、液滴の運動の計算にはラグランジアン法を用いた。形成される定常等方性乱流場の乱流レイノルズ数を  $Re_\lambda = 54.3$ 、液滴のストークス数を  $St = 1$  とした。また、液滴の数密度を環境中の雲より大きな  $n_p = 1.43 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$  とした。図 1 に液滴の空間分布の一例を示す。乱流により液滴の空間分布に偏りが生じている様子が確認できる。

放射伝達計算法には、Monte Carlo 法<sup>4)</sup>を用いた。ただし、本研究では Mie 散乱理論から得られる消散断面積  $\sigma_{ext}$  を用いて消散半径  $r_{ext}$  を  $r_{ext} = (\sigma_{ext}/\pi)^{1/2}$  で定義し、光子の経路と液滴との間の距離が消散半径  $r_{ext}$  よりも小さい場合に光子がその液滴に衝突すると仮定した。本計算では、波長  $\lambda$  を液滴による吸収を無視することのできる 500 nm に設定し、波長  $\lambda$  と水の屈折率に対応する散乱位相関数  $p(\theta)$  を用いて確率的に散乱角を決定した。 $10^8$  個の光子を上面より鉛直下向きに入射し、上面と底面を除く側面を周期境界として上面か底面に到達するまでの光子の輸送を計算した。

## 3. 結果および考察

入射光は透過光と反射光に分けられ、それぞれの割合として透過率  $T$  と反射率  $R (= 1 - T)$  が定義される。また、透過率  $T$  は光が液滴により散乱されずに透過する割合である直達透過率  $T_{dir}$  と散乱された後透過する割合である拡散透過率  $T_{dif} (= T - T_{dir})$  に分けられる。

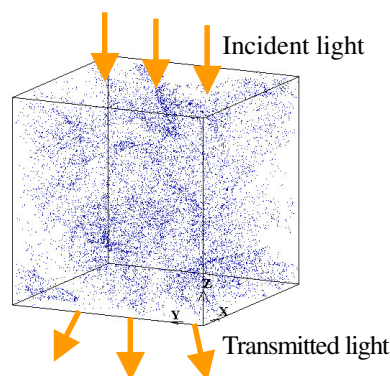


Fig. 1: Spatial distribution of droplets in turbulence.

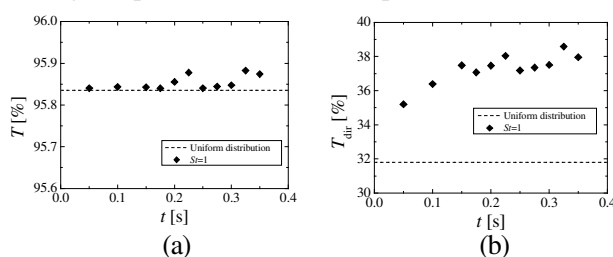
Fig. 2: Transmittance  $T$  and direct transmittance  $T_{dir}$ .

図 2 (a) および (b) にそれぞれ透過率  $T$  および直達透過率  $T_{dir}$  の時間変化を示す。なお、図中の点線は、液滴が一様に分布している場合の値である。図より、乱流中における透過率  $T$  は液滴の分布が一様な場合とほぼ一致することがわかる。これは、透過率  $T$  に及ぼす乱流の影響が極めて小さいことを意味する。一方、直達透過率  $T_{dir}$  は液滴の混入時 ( $t=0$ ) からしだいに増加し、 $t > 0.15$  s では液滴の分布が一様な場合より 6% 程度大きな値をとる。これは、乱流によって生じた液滴の非一様な空間分布により、一度も散乱されずに透過する光子が増加することを意味する。以上の結果より、環境中の雲においては、乱流は透過率に大きな影響を及ぼさないが、特に液滴による吸収がある場合には、放射熱輸送に影響を及ぼすことが示唆される。

## 謝辞

本研究は日本学術振興会科研費 (No. 20686015) および特別研究員奨励費 (No. 21・241) の助成を受けて行われた。

## 参考文献

- 1) A. Borovoi, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 19 (2002), pp. 2517-2520.
- 2) M. I. Mishchenko, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 33 (2006), L14820.
- 3) R. Onishi et al., *Phys. Fluids*, (2009), Vol. 21, 125108.
- 4) A. Macke et al., *Phys. Chem. Earth (B)*, (1999), Vol. 24, No. 3, pp. 237-241.

\* E-mail: komori@mech.kyoto-u.ac.jp