

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02066

研究課題名（和文）雲乱流統計理論の応用による混相流における乱流変調の解明

研究課題名（英文）Study on modulation of turbulent fluctuations in multiphase flows using statistical theory in cloud turbulence

研究代表者

齋藤 泉 (Saito, Izumi)

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：70798602

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,200,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、鉱物ダストの分散やエンジン内における液体燃料の燃焼など、工学や環境問題において重要な、乱流と微小粒子群の相互作用について研究を行った。雲乱流の研究分野で用いられてきた統計モデルや直接数値シミュレーション（DNS）を応用することで、微小粒子群による熱輸送を通じた乱流変調の様態を明らかにし、定量的な予言が可能であることを示した。また水滴の重力沈降が雲乱流中の水滴の凝縮成長に与える影響をDNSにより明らかにするとともに、多数の微小粒子をマクロな視点から連続的なスカラー場とみなすことで、分子拡散が起こりにくい（シュミット数の高い）スカラー場の乱流混合の物理を解明できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乱流による微小粒子群の輸送・混合、および乱流と微小粒子群の相互作用による乱流の変調の問題は、雲内における雨粒を始めとして、工学・自然科学を含む様々な場面で重要であるにも係わらず、未解明であった。本研究により、特に熱輸送を通じた相互作用について、微小粒子群による乱流変調の定量的な予言が可能であることが示されるとともに、気象シミュレーションで用いられる統計モデル改良の可能性に道筋を付けることができた。また本研究で提案された、分子拡散の起こりにくい（シュミット数の高い）スカラー場の乱流混合のシミュレーションの新たなアプローチは、今後の高シュミット数スカラー乱流研究の土台となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：We studied the interaction between turbulence and small particles, which is important in various situations including engineering and environmental issues such as the dispersion of mineral dust and the combustion of liquid fuels in engines. By applying statistical models and direct numerical simulations (DNS), which have been used in the field of cloud turbulence research, we clarified the nature of turbulence modulation through heat transport by small particles and showed that quantitative predictions are possible. In addition, the effect of gravitational settling of water droplets on the condensation growth of water droplets in cloud turbulence is clarified by DNS, and the physics of turbulent mixing in a scalar field with low molecular diffusion (high Schmidt number) can be clarified by considering many small particles as a continuous scalar field from a macroscopic viewpoint.

研究分野：流体工学

キーワード：混相流 乱流変調 乱流・粒子間相互作用 雲乱流 乱流統計理論

## 1. 研究開始当初の背景

自然科学・工学における流れは多くの場合、不規則に乱れており、乱流的である。乱流的な流れにおいては、システムサイズと同程度の大きさの大規模渦から、分子粘性の卓越する小規模渦まで、様々な時空間スケールの渦運動が混在し、影響を及ぼし合っている。自然科学・工学における重要な流れはまた、多くの場合、大量の微小粒子を含む混相流である。雲内の雨粒や火山噴火による鉱物ダストの分散、自動車エンジン内における液体燃料の燃焼や農薬の散布などは、ごく一部の例である。

乱流は微小粒子群を輸送・混合し、分布に影響を与える。一方、微小粒子群の方も凝縮・蒸発や摩擦抵抗、熱輸送などを通じて乱流に影響を与える（乱流変調）。このように、乱流と微小粒子群は複雑に相互作用しており、この相互作用についての知見が不足していることが、自然科学・工学応用を目的とした正確なシミュレーション及び統計モデルの構築を妨げている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、凝縮・蒸発や摩擦抵抗、熱輸送を通じた乱流と微小粒子群の相互作用を「乱流と微小粒子群の保存量の交換」という枠組で捉え、粒子群による乱流変調の定量的予測を可能とする、一般的な統計理論を構築することである。

## 3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、本研究では第一の方策として、雲乱流分野の統計理論を応用する。この理論は、微小水滴群による雲乱流変調の定量的予測に成功している。このため、これまで現象論的な議論に終始していた乱流と微小粒子群の相互作用の研究において、乱流変調の定量的予測を可能とする新たな理論的基礎となることが期待される。更に、この統計理論は大規模乱流変動の統計量の予測に的を絞るため、応用目的の近似モデル（ラージエディシミュレーション。大規模渦の挙動の再現を目的とする。）とも相性が良い。これらモデル開発への新たな道を開くことも期待される。

第二の方策として、本研究では大型計算機による大規模並列計算を駆使した、正確な直接数値シミュレーション（以下 DNS）を実施する。微小粒子群と乱流の相互作用を調べるためには、乱流中における粒子一粒ずつの運動を、第一原理に基づいて正確に計算する DNS が不可欠である。しかしながら、このためには膨大な数の粒子と流体計算のための格子点が必要になる。報告者のグループでは、これまでの研究における多数の水滴を含む雲乱流計算のために、高い並列効率を持つ DNS モデル「雲マイクロ物理シミュレータ」を開発してきた。これらの経験を活かし、大規模 DNS による詳細な調査を行う。

## 4. 研究成果

### （1）熱輸送を通じた乱流と微小粒子群の相互作用による乱流変調の研究

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る。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。乱流及び粒子のパラメータを様々に変化させた DNS を行い、流体温度場の揺らぎが粒子の影響によってどのように変調されているのかを調べた。また統計モデルによる予言と比較することで、その妥当性を検証した。

図 1 は、格子点数を  $32^3$  から  $512^3$  まで変化させた DNS の結果から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掲載された [1]。本成果により、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ための土台が整った。

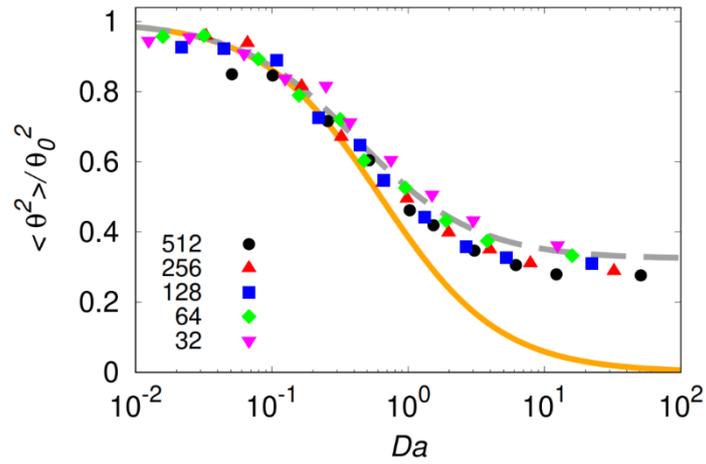


図1：微小粒子群による流体温度場の変調。横軸はダムケラ数、縦軸は粒子の有無による流体温度場の揺らぎの分散の比。値が1より小さい程、粒子の影響によって温度分散が減少することを意味する。点々がシミュレーションの結果、破線が統計モデルによる予測。

## (2) 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・ホッピングメカニズムとは、サブグリッドスケールの過飽和度揺らぎにより計算格子内の水滴の凝縮成長速度にばらつきが生じた結果サイズ分布が広がり、相対的に終端速度の異なる水滴が増えることにより、後に続く衝突・合体成長が促進されるというもので、雨粒の初期成長において重要な役割を果たすことが近年の研究により明らかにされている。サイズ分布の広がりを決める主要なパラメータが、水滴の経験する過飽和度揺らぎの振幅と自己相関時間のラグランジュ的統計量である。しかし、現状の統計モデルは一様等方乱流で成り立つオイラー統計量のスケールリング則に基づいて作られた単純なもので、DNSによる検証は不十分であった。また、水滴の運動量慣性や重力の効果により粒子軌道が変化するとラグランジュ統計も変調されることが指摘されているが、そのような影響は統計モデルには考慮されていない。

本研究ではまず、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。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。本研究結果は英文査読誌に掲載された[2]。

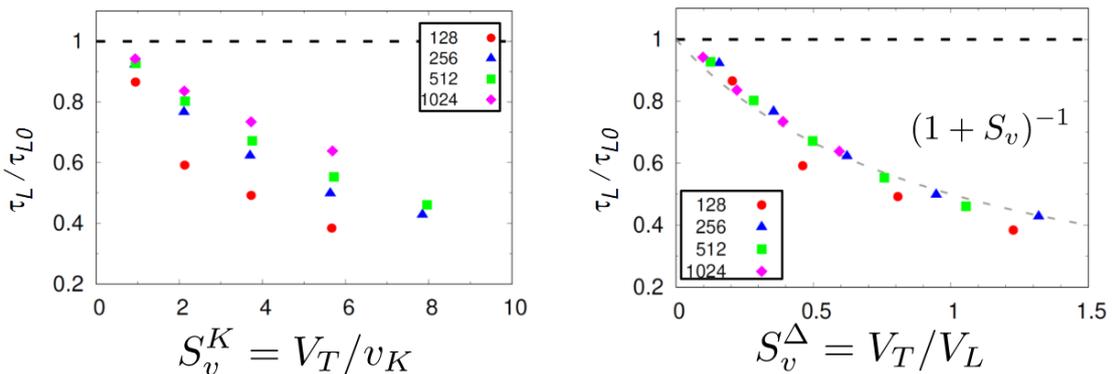


図2：雲乱流環境内で水滴が経験するラグランジュ的自己相関時間が、水滴の重力沈降によって変調する（減少する）度合い（縦軸）を、沈降パラメータ（水滴の重力沈降を特徴付ける無次元数）の関数として表した図。左パネル：沈降パラメータにコルモゴロフ時間（小規模渦の時間スケール）を用いた場合。右パネル：沈降パラメータにラージエディ時間（大規模渦の時間スケール）を用いた場合。点々はDNSの結果を表す。

次に、ラグランジュ統計に対する水滴の重力沈降の影響をDNSによって調べた。重力の影響下では、水滴は終端速度で落下することにより同じ乱流渦に留まる時間が短くなり、過飽和度揺らぎの自己相関時間が短くなる（重力による脱相関効果）。図2は、水滴の重力沈降によって、過飽和度のラグランジュ的自己相関時間が短くなる度合い（縦軸）を、沈降パラメータ（横軸）の関数としてプロットしたものである。図より、乱流渦の特徴的時間スケールとして、コルモ

ゴロフ時間（小規模渦を特徴付ける時間）を用いた場合（左パネル）よりも、ラージェディ時間（大規模渦を特徴付ける時間、右パネル）を用いた方が、DNSの結果は一つの曲線の上によく集まっているのが分かる。これより、重力沈降によるラグランジュ統計の変調は、大スケールの乱流渦であることが明らかになった。本研究結果は今後論文として発表準備中である。

### (3) 粒子描像に基づくシミュレーションによる高シュミット数スカラー乱流の解明

微小粒子群を含む乱流は、巨視的には乱流的な速度場によるスカラー量（粒子の数密度、質量、温度など）の場の輸送・混合の問題とみなすことができる。その特徴は、数密度や質量・温度など粒子が持つ属性の場においては分子拡散の影響が弱くシュミット数（流体速度場の動粘性係数とスカラー場の拡散係数の比）が極めて高いこと、また粒子の運動量慣性により数密度場に濃淡が生じる（慣性クラスタリング効果）など粒子性に起因する現象の影響を受けることにある。

このような粒子のスカラー場の乱流混合の問題を調べるために、乱流中における点粒子群の理想化された系を考えた。各点粒子はスカラー量  $\theta_p$  を持ち、このスカラー量は時定数  $\tau_\theta$  で緩和されると共に外場  $f_\theta$  の影響を受ける。各粒子のスカラー量  $\theta_p$  の空間分布としてスカラー場  $\theta$  を考えると、緩和時間  $\tau_\theta$  が十分に長く緩和の影響が小さい極限において、スカラー場  $\theta$  の支配方程式はシュミット数無限大のスカラー乱流の方程式と同じになる。本研究では格子点数  $1024^3$  および  $2048^3$ （それぞれテイラー長レイノルズ数  $R_\lambda = 330$  及び  $550$ ）の大規模シミュレーションを実施した。

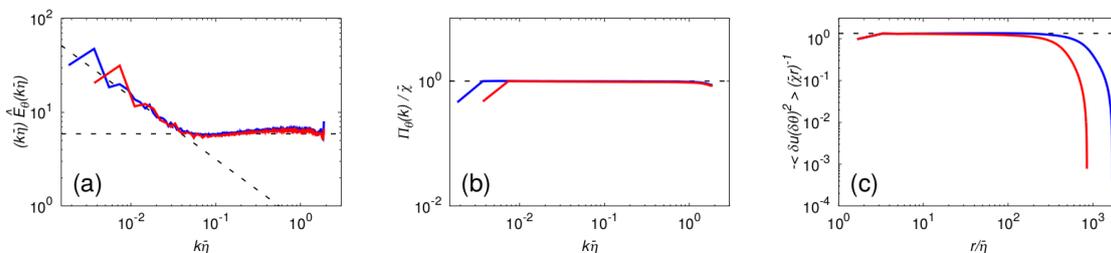


図3：粒子のスカラー場  $\theta$  の各種統計。(a)  $k^{-1}$  で補償及び規格化したスカラー分散スペクトル。水平破線はバチェラスペクトルの理論予測  $k^{-1}$  に対応する（バチェラ定数  $C_B = 5.9$ ）。斜めの破線はオブコフ・コアシンスペクトルの理論予測  $k^{-5/3}$  に対応する（オブコフ・コアシン定数  $C_{Oc} = 0.68$ ）。(b) 規格化されたスカラー分散の輸送フラックス。水平点線はフラックス一定の理論予測に対応する。(c) 規格化された3次速度スカラー混合構造関数。水平点線は理論予測の  $4/3$ （いわゆるヤグロムの  $4/3$  則）を表す。線色は、赤色実線：格子点数  $1024^3$ 、テイラー長レイノルズ数  $R_\lambda = 330$ 、青色実線：格子点数  $2048^3$ 、 $R_\lambda = 550$ 。

図3はシミュレーションで得られた各種乱流統計の結果を示している。スカラー分散スペクトル（図3(a)）は、高波数域で  $-1$  の傾き（図中の水平の破線に対応）、低波数域で  $-5/3$  の傾き（図中の斜めの破線に対応）を示しており、乱流理論による予言（いわゆるバチェラスペクトルとオブコフ・コアシンスペクトル）と整合的である。図中の破線は無次元定数が  $C_B = 5.9$ （バチェラ定数）および  $C_{Oc} = 0.68$ （オブコフ・コアシン定数）の場合の理論予測によるスペクトルに対応しており、シミュレーション結果はおおむねこれらと整合的である。また、2つの傾きのスペクトルの境界となるのは、平均コルモゴロフ長  $\eta$  で規格化した波数でおおよそ  $k_* \eta = 0.04$  となった。乱流理論の予言によれば傾き  $-1$  のバチェラスペクトルが現れるのは  $k\eta \gg 1$  を満たす波数域であるが、本シミュレーション結果では予測よりもかなり低波数側の  $k_* \eta = 0.04$  から傾き  $-1$  が現れている。スカラー分散の輸送フラックス（図3(b)）では外場の影響を受ける最小波数成分以外はほぼ全波数領域で一定になっている。図3(a)の分散スペクトルと比較すると、傾き  $-1$  や  $-5/3$ 、またその切り替わりによらず、輸送フラックスは一定の値になっており、これも乱流理論による予言と整合的である、また3次混合構造関数（図3(c)）においても、広い領域で  $4/3$  の一定値（いわゆるヤグロムの  $4/3$  則）の領域が現れており、乱流理論による予言との整合性を物理空間において保証している。

以上の研究成果は論文としてまとめられ、英文査読誌に掲載された[3]。

[1] I. Saito, T. Watanabe and T. Gotoh, “Modulation of fluid temperature fluctuations by particles in turbulence”, *J. Fluid Mech.* (2022), vol. 931, A6

DOI: doi:10.1017/jfm.2021.939

[2] I. Saito, T. Watanabe and T. Gotoh, “Statistical properties of a stochastic model of eddy hopping”, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 13119-13130 (2021)

DOI: 10.5194/acp-21-13119-2021

[3] I. Saito, T. Watanabe and T. Gotoh, “Spectrum of passive scalar carried by particles in isotropic turbulence”, *Phys. Rev. Fluids*, 9, 054601 (2024)

DOI: 10.1103/PhysRevFluids.9.054601

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Toshiyuki Gotoh, Takeshi Watanabe, Izumi Saito	4. 巻 130
2. 論文標題 Kinematic effects on probability density functions of energy dissipation rate and enstrophy in turbulence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 254001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.130.254001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minoru Eto, Takashi Hiramatsu, Izumi Saito, Yuki Sakakihara	4. 巻 108
2. 論文標題 String-wall composites winding around a torus knot vacuum in an axionlike model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 116004
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.108.116004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Watanabe, Hikaru Suzuki, Izumi Saito, Toshiyuki Gotoh	4. 巻 0
2. 論文標題 Numerical simulations of microbubble dispersion in isotropic turbulence	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of 34th IUPAP Conference on Computational Physics (CCP2023)	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Izumi Saito, Takeshi Watanabe, Toshiyuki Gotoh	4. 巻 9
2. 論文標題 Spectrum of passive scalar carried by particles in isotropic turbulence	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 54601
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevFluids.9.054601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Watanabe, Izumi Saito, Toshiyuki Gotoh	4. 巻 2215
2. 論文標題 Turbulence modulation by small particles in isotropic turbulence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RIMS Kokyuroku	6. 最初と最後の頁 20-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Saito Izumi, Watanabe Takeshi, Gotoh Toshiyuki	4. 巻 931
2. 論文標題 Modulation of fluid temperature fluctuations by particles in turbulence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2021.939	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Saito Izumi, Watanabe Takeshi, Gotoh Toshiyuki	4. 巻 21
2. 論文標題 Statistical properties of a stochastic model of eddy hopping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 13119 ~ 13130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-21-13119-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Gotoh Toshiyuki, Saito Izumi, Watanabe Takeshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Spectra of supersaturation and liquid water content in cloud turbulence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.6.110512	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuda Tatsuya, Gotoh Toshiyuki, Watanabe Takeshi, Saito Izumi	4. 巻 898
2. 論文標題 Peclet-number dependence of small-scale anisotropy of passive scalar fluctuations under a uniform mean gradient in isotropic turbulence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計42件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸, 草野完也
2. 発表標題 高レイノルズ数・高シュミット数におけるスカラー乱流の直接数値シミュレーションのためのラグランジュ描像に基づく手法の開発
3. 学会等名 2022年度(令和4年度)名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸
2. 発表標題 粒子法を用いた高シュミット数スカラー乱流の大規模直接数値シミュレーション
3. 学会等名 京都大学 数理解析研究所 RIMS共同研究(公開型)「乱流の予測可能性と可制御性」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Izumi Saito, Takeshi Watanabe, Toshiyuki Gotoh
2. 発表標題 Turbulent mixing of scalar field of particle properties
3. 学会等名 34th IUPAP Conference on Computational Physics (CCP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Takeshi Watanabe, Izumi Saito
2. 発表標題 Reynolds number dependence of moments of kinetic energy dissipation rate and enstrophy
3. 学会等名 76th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics, American Physical Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤俊幸, 渡邊威, 齋藤泉
2. 発表標題 雲乱流シミュレータによる乱流混合輸送と雲マイクロ物理過程の解明
3. 学会等名 第10回 HPCIシステム利用研究課題 成果報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Izumi Saito, Takeshi Watanabe
2. 発表標題 Spectrum of passive scalar variance with inherent time scale in turbulence
3. 学会等名 Interfaces and Mixing in Fluids, Plasmas, and Materials (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊威, 齋藤泉, 後藤俊幸
2. 発表標題 乱流場の特異構造の形成とそのスカラー・粒子輸送への影響
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸
2. 発表標題 ラグランジュ画像に基づく高シュミット数 スカラー乱流の大規模シミュレーション
3. 学会等名 日本流体力学会年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸
2. 発表標題 高シュミット数パッシブスカラー乱流の 粒子法シミュレーション
3. 学会等名 第37回数値流体シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 壽松木輝, 渡邊威, 齋藤泉, 後藤俊幸
2. 発表標題 等方乱流中のマイクロバブルの局在化
3. 学会等名 第37回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Izumi Saito, Takeshi Watanabe, Toshiyuki Gotoh
2. 発表標題 Lagrangian statistics of droplets in cloud turbulence
3. 学会等名 5th International Workshop on Cloud Turbulence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Takeshi Watanabe, Izumi Saito
2. 発表標題 Probability density functions of energy dissipation rate and enstrophy for low to high Reynolds numbers
3. 学会等名 Satellite Workshop on High Reynolds Number Turbulence (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸
2. 発表標題 粒子法を用いた高シュミット数スカラー乱流の直接数値シミュレーション
3. 学会等名 RIMS共同研究(公開型)「乱流の予測可能性と可制御性」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸, 草野完也
2. 発表標題 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
3. 学会等名 2021年度(令和3年度)名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Takeshi Watanabe, Izumi Saito
2. 発表標題 Asymptotic probability density functions of dissipation rate and enstrophy in turbulence
3. 学会等名 International Symposium on Turbulence (IST2022) in Memory of Chou Pei-Yuan 's 120th anniversary of Birth (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤俊幸, 齋藤泉, 渡邊威
2. 発表標題 雲乱流中の過飽和度揺らぎの統計特性
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤俊幸, 渡邊威, 齋藤泉
2. 発表標題 エネルギー散逸率とエンストロフィーの漸近的確率密度関数
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸
2. 発表標題 ラグランジュ画像に基づく高シュミット数スカラー乱流の直接数値シミュレーション手法
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊威, 齋藤泉, 後藤俊幸
2. 発表標題 スカラーおよびベクトル場の乱流輸送に関する大規模シミュレーション
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Takeshi Watanabe, Izumi Saito
2. 発表標題 Probability density functions of dissipation rate and enstrophy in turbulence
3. 学会等名 75th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroya Hamazaki, Takeshi Watanabe, Izumi Saito, Toshiyuki Gotoh
2. 発表標題 On the behavior of microbubbles in isotropic turbulence
3. 学会等名 4th International Workshop on Cloud Turbulence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Izumi Saito, Takeshi Watanabe
2. 発表標題 Statistical properties of supersaturation fluctuations in cloud turbulence
3. 学会等名 4th International Workshop on Cloud Turbulence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱口拓真、齋藤泉、後藤俊幸、渡邊威
2. 発表標題 回転二重円筒管内における熱対流の大規模シミュレーション
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「地球流体におけるさまざまな流れとその基本過程の力学」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤俊幸、渡邊威、齋藤泉
2. 発表標題 雲乱流シミュレータによる乱流混合輸送と雲マイクロ物理過程の解明
3. 学会等名 第8回 HPCIシステム利用研究課題 成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Izumi Saito, Takeshi Watanabe
2. 発表標題 Spectra of Supersaturation and Liquid Water Content in Cloud Turbulence
3. 学会等名 Eighteenth International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Izumi Saito
2. 発表標題 Zonostrophy invariant and its relation to pattern formation in CHM turbulence
3. 学会等名 5th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱崎博也、渡邊威、齋藤泉、後藤俊幸
2. 発表標題 乱流中のマイクロバブルの挙動の可視化
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤俊幸、齋藤泉、渡邊威
2. 発表標題 雲乱流における過飽和度と雲水混合比のスペクトル
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤泉、渡邊威、後藤俊幸
2. 発表標題 乱流中における熱慣性粒子群による流体温度ゆらぎ場の変調
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊威、後藤俊幸、齋藤泉
2. 発表標題 スカラーおよびベクトル場の乱流輸送に関する大規模シミュレーション
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤泉、渡邊威、後藤俊幸、草野完也
2. 発表標題 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
3. 学会等名 2020年度(令和2年度)名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊威、後藤俊幸、齋藤泉、田中良夫、吉野正人、三浦英昭、大島聡史
2. 発表標題 多粒子分散系の乱流輸送に関する大規模シミュレーション
3. 学会等名 JHPCN第13回シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Watanabe、Izumi Saito、Toshiyuki Gotoh
2. 発表標題 Turbulence modulation by small particles in isotropic turbulence
3. 学会等名 RIMS Workshop on Mathematical Analysis in Fluid and Gas Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤泉、後藤俊幸、渡邊威
2. 発表標題 エディ・ホッピングモデルの解析解を利用したモデル修正の提案
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤泉、後藤俊幸、渡邊威
2. 発表標題 雲粒粒径分布の雲乱流統計理論と雲乱流チャンバー実験との直接比較
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田達哉, 後藤俊幸, 渡邊威, 齋藤泉
2. 発表標題 等方乱流に輸送される一様平均スカラー勾配下の大規模スカラー変動
3. 学会等名 日本流体力学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤泉, 後藤俊幸, 渡邊威, 安田達哉
2. 発表標題 雲乱流環境内において形成される雲粒粒径分布の理論予測の実験による検証
3. 学会等名 日本流体力学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshiyuki Gotoh, Izumi Saito, Takeshi Watanabe, Tatsuya Yasuda
2. 発表標題 Numerical simulation of cloud droplets and turbulence
3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tatsuya Yasuda, Toshiyuki Gotoh, Takeshi Watanabe, Izumi Saito
2. 発表標題 Schmidt-number dependence of scalar fluxes and spectra in isotropic turbulence with a mean scalar gradient
3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Izumi Saito, Takeshi Watanabe, Toshiyuki Gotoh
2. 発表標題 Modulation of fluid temperature fluctuations by particles in turbulence
3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤泉, 渡邊威, 後藤俊幸
2. 発表標題 慣性粒子群の乱流変調に関する新しい時間スケール
3. 学会等名 第34回数値流体シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤泉, 後藤俊幸, 渡邊威
2. 発表標題 エディ・ホッピングモデルの解析解に基づくモデル修正の提案
3. 学会等名 2020年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡邊 威  (Watanabe Takeshi)  (30345946)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授    (13903)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	後藤 俊幸  (Gotoh Toshiyuki)  (70162154)	慶應義塾大学・自然科学研究教育センター（日吉）・訪問教授    (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計3件

国際研究集会 5th International Workshop on Cloud Turbulence	開催年 2024年～2024年
国際研究集会 Satellite Workshop on High Reynolds Number Turbulence	開催年 2024年～2024年
国際研究集会 4th International Workshop on Cloud Turbulence	開催年 2022年～2022年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関