

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04298

研究課題名（和文）ゲリラ雲探知システム開発へ向けた、高レイノルズ数乱流中の雲水量変動形成機構の解明

研究課題名（英文）Study on liquid water content fluctuation in high Reynolds number turbulence for early detection of rapidly developing clouds

研究代表者

松田 景吾（Matsuda, Keigo）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門（地球情報科学技術センター）・副主任研究員

研究者番号：50633880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：大気乱流中で雲粒が形成する不均一分布（乱流クラスタリング）によってレーダー反射強度が増加する効果を明らかにするために、乱流中の多数の粒子の運動を直接数値計算により調べた。数値計算を大規模化して実際の乱流により近づけることで、従来知られていなかった大スケールのクラスタリング構造を発見した。また、このようなクラスタリングの形成機構を明らかにするために、テセレーション解析の応用による粒子の収束・発散挙動の解析手法を開発した。フーリエ解析、ウェーブレット解析、および新規に開発したマルチレゾリューション解析を適用し、クラスタリングとその形成挙動のマルチスケール構造を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

雲粒の乱流クラスタリングがレーダー反射強度を顕著に増加させる効果を利用することで、積雲や積乱雲の中の乱流状態を推定できる可能性があり、突発的豪雨の探知に応用できる可能性がある。本研究で発見された比較的大スケールのクラスタリング構造は、レーダー反射強度に影響を及ぼし得るほか、雲粒の成長過程のモデリングにおいても重要となる可能性がある。雲粒の挙動を適切に数式モデル化するためにはその物理機構の理解が不可欠であり、そのために開発した粒子の収束・発散の数理解析ツールは様々な粒子挙動への応用も期待される。

研究成果の概要（英文）：Non-uniform distributions of cloud droplets in atmospheric turbulence, i.e., turbulent clustering, have been analyzed based on direct numerical simulation (DNS) of turbulent flows laden with many particles in order to clarify the clustering influence on the reflectivity in radar cloud observations. Novel large-scale clustering has been discovered by increasing the scale of DNS to be closer to actual atmospheric turbulence. In addition, the tessellation-based technique to analyze particle divergence and convergence has been developed to understand the clustering formation mechanisms. Multiscale structures of the clustering and the dynamics have been clarified using the Fourier, wavelet, and a newly developed multiresolution techniques.

研究分野：熱流体工学

キーワード：雲乱流 慣性粒子クラスタリング 直接数値計算 テセレーション解析 ウェーブレット解析

1. 研究開始当初の背景

突発的な豪雨は「ゲリラ豪雨」という名称で一般にも認知されており、その被害を最小限に抑えるためにゲリラ豪雨の予報が社会的要請の強い課題となっている。そのため、高速かつ高分解能 ($O(10^2 \text{ m})$) の気象レーダーにより、雨粒の発生を速やかに探知するための観測が行われている。一方で、豪雨の種となる雲を探知することができれば、雨粒の発生よりも早い段階で警戒情報を発信するシステムを実現することができる。豪雨の種の候補のひとつと考えられるのが乱流クラスタリングである。乱流クラスタリングは、雲粒などの慣性粒子が慣性力により乱流渦からはじき出され、渦の弱い領域に集中的に分布する現象である。豪雨をもたらす対流雲では、水蒸気の凝結により生じた雲粒が雨粒へと急成長する際に、乱流クラスタリングが雲粒同士の衝突併合を促進する役割を果たしている。乱流クラスタリングには、レーダー反射強度を増加させる作用もある。これは、レーダー観測で雲に照射されたマイクロ波が雲粒によって反射される際、反射波同士が干渉して強め合うことに起因している。レーダー反射強度の増加量は、波数 k ごとの雲水量 (単位体積あたりに含まれる雲粒の質量) の変動強度の分布を表すフーリエスペクトル $E_{lwc}(k)$ (以降、雲水量変動スペクトル) が与えられれば定量的に推定することができる。したがって、この作用を応用し、乱流クラスタリング強度を逆推定することで、雲粒の衝突成長が活発な雲を探知できる可能性がある。そのためには、雲水量変動スペクトルの関数モデルが必要である。

研究代表者はこれまでに、直接数値計算 (Direct Numerical Simulation, DNS) を実行し、乱流クラスタリングによる雲水量変動スペクトルを算出した (文献)。また、粒子の慣性力の大きさを表すストークス数 $St (= [\text{粒子運動の緩和時間 } \tau_p] / [\text{コルモゴロフ時間 } \tau_\eta])$ に対するスペクトルの依存性を解明し、雲粒の乱流クラスタリングによりレーダー反射強度が顕著に増加することを示した (文献)。しかし、実際の対流雲ではレイノルズ数 Re_λ が $O(10^3) \sim O(10^5)$ であるのに対し、既往研究の DNS では $Re_\lambda \sim O(10^2)$ であるため、大スケールの乱流渦が存在する高レイノルズ数乱流場への適用性が課題として残されている。また、水蒸気圧変動による相変化が乱流クラスタリングによって促進され、雲水量変動が増幅される可能性もある。したがって、実際の雲に適用可能な雲水量変動スペクトルの関数モデルを構築するためには、高レイノルズ数乱流中における乱流クラスタリングや水蒸気圧変動によって生じる雲水量変動の強度と、それが雲水量変動スペクトルに及ぼす影響を解明することが不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、高レイノルズ数乱流場における、雲粒の乱流クラスタリングおよび水蒸気圧変動による雲水量変動の形成機構を大規模 DNS により解明し、雲水量変動スペクトルの関数モデルを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

DNS には、Lagrangian Cloud Simulator (LCS) (文献) を用いた。DNS では、3 方向に周期境界を持つ立方体の計算領域において、Navier-Stokes 方程式を乱流モデルを使わずに解くことによって 3 次元一様等方性乱流場を形成した。その際、計算領域サイズを 2π として、最大スケール (波数 $k < 2.5$) の速度場に対して外力を加えることによって、統計的に定常な乱流場を形成した。また、粒子の慣性力と流体抗力を考慮した多数の慣性粒子を乱流中にランダムに配置してその運動を追跡することで、乱流中でクラスタリングを形成している粒子の空間分布データを取得した。

単一粒径の場合、雲水量変動スペクトルは粒子数密度のフーリエスペクトルに比例する。そのため、本研究では粒子分布に対してフーリエ変換を施すことにより粒子の数密度スペクトルを算出した。また、雲水量変動スペクトルの関数モデルの構築に向けてクラスタリングのマルチスケール構造に関するより深い洞察を得るために、クラスタリングによる数密度分布の間欠性など、数密度スペクトルだけでは把握できない空間的構造のスケール依存性を定量評価するためのウェーブレット解析を実施した (文献)。

また、粒子クラスタリングの形成挙動を明らかにするために、テセレーション解析手法に基づいて、局所的な粒子の収束・発散を評価する数理解析手法を開発した (文献)。DNS によって得られた個々の粒子の位置と速度のデータに対して開発した手法を適用することにより、粒子クラスタリング挙動の定量評価を実施した。

4. 研究成果

(1) 慣性粒子クラスタリングのスケール依存性

粒子クラスタリングデータに対してウェーブレット解析を適用することにより、乱流中の間欠的なクラスタリング構造のスケール依存性に関する定量的な評価を行った。ウェーブレット解析では、立方体領域の 3 次元場を、スケール、位置、方位に応じた 3 次元直交ウェーブレットにより展開することができる。本研究ではウェーブレット解析を用いて次式のように数密度

$n(x, t)$ をそのスケール成分 $n_j(x, t)$ に分解した .

$$n(x, t) = n_{000} + \sum_{j=0}^{J-1} n_j(x, t)$$

ここで , J は格子点数 $N_g = 2^J$ で与えられる . j はスケール 2^{-j} に対応するスケールインデックス ($j = 0, 1, \dots, J-1$)である . なお , スケール 2^{-j} に対応する波数は $k_j = k_\psi 2^j$ で与えられる . 本研究ではウェーブレットとして Coiflet 12 を用いたので , $k_\psi = 0.77$ である . DNS により得られた粒子位置データをヒストグラム法により N_g^3 点の格子点データに変換し , ウェーブレット解析を適用した . 図 1 にレイノルズ数 $Re_\lambda = 204$ の乱流場において得られたストークス数 $St = 1.0$ の粒子の数密度分布とスケール成分の一例を示す . なお , 図 1(b)(c)はスケール成分 n_j の標準偏差 $\sigma[n_j]$ を用いて規格化されている . 図のように , スケール成分はそのスケールごとのクラスターや空隙の分布を捉えることができる .

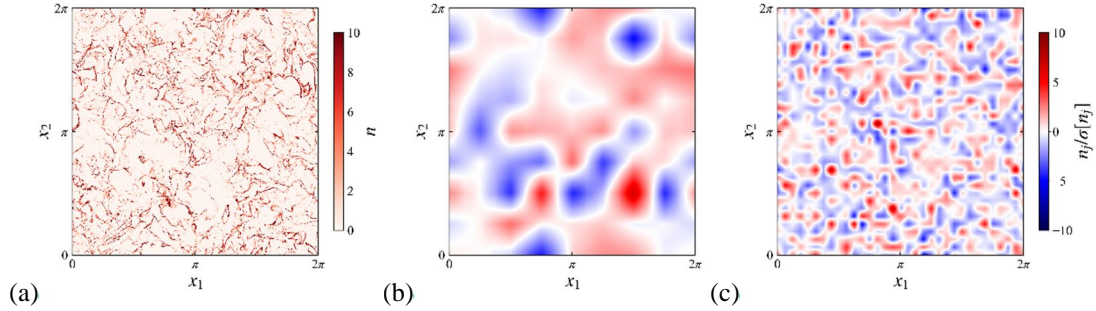


図 1 レイノルズ数 $Re_\lambda = 204$, ストークス数 $St = 1.0$ における (a) 粒子数密度分布 n , および (b) スケール $j = 2$ と (c) $j = 4$ における数密度のスケール成分 n_j の分布 (文献) .

分解されたスケール成分 n_j ごとに尖度 $F[n_j]$ と歪度 $S[n_j]$ を評価した結果 , ストークス数 St によって卓越したクラスターを伴う構造が現れる場合と卓越した空隙を伴う構造が現れる場合があることを明らかにした (文献) . また , マルチスケール統計のレイノルズ数依存性を調べた結果 , 間欠的な卓越したクラスターを伴う構造が現れる $St = 1.0$ の場合でも , $Re_\lambda \geq 328$ の高レイノルズ数の場合には , 大きなスケールで卓越した空隙が分布する構造が現れることが示唆された (文献) .

本研究ではさらに , 高レイノルズ数乱流中での慣性粒子クラスタリングによる数密度スペクトルの定量評価に取り組んだ . 具体的には , 最大 4096^3 点の計算格子を用いて大規模 DNS (Re_λ が最大 678) を実行し , フーリエ解析により数密度スペクトルを算出した . その結果 , 図 2 に示すように , レイノルズ数が $Re_\lambda > 300$ の場合には , 従来から知られていた渦度強度が最大となるスケール ($k\eta \approx 0.2$) 程度のクラスタリングとは別に , それより大きなスケール ($k\eta < 0.03$) において , これまで未報告のクラスタリングが現れることを発見した . このような比較的大スケールでのクラスタリングは , 乱流場の統計的定常性を維持するために加えている外力の影響を受けている可能性も懸念された . そこで , 波数 $k < 2.5$ に加えている外力のスキームを linear forcing (LF) と random forcing (RF) の 2 種類使用して DNS を実行した . その結果 , 外力スキームによらず比較的大きなスケールのクラスタリング構造が形成されることが確認された (文献) .

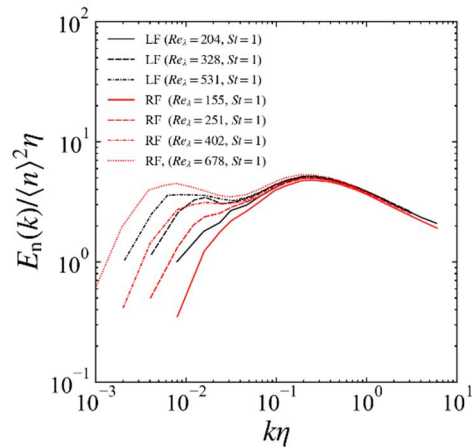


図 2 数密度スペクトル $E_n(k)$ (文献) . コルモゴロフ長 η を用いて規格化されている . LF は linear forcing , RF は random forcing を使用した場合の結果を示す .

(2) 粒子速度の収束・発散に対するテセレーション解析手法の開発

テセレーションとは空間を図形で敷き詰めることを意味する . 空間中に多数の点が配置されている場合には , それらのうち互いに隣接する点を線分で繋いだドロネー図や , 最近傍の点ごとに空間を区切ったポロノイ図を構成することができる . ポロノイ図の境界線によって区切られる各セルは所与の点群のうち的一点と対応しているため , その体積 (ポロノイ体積) も一点と対応した体積とみなすことができる . したがって , DNS 等によって得られる空間中の粒子分布に基づいて各粒子に対応するポロノイ体積 V_p を求めることで , 各粒子近傍の数密度を $n_p = 1/V_p$ として近似的に与えることができる . この関係を用いると , 粒子速度の発散を次式により近似的に与えることができる .

$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} \approx \frac{1}{V_p} \frac{DV_p}{Dt}$$

つまり、ある粒子に対応するポロノイ体積の時間変化率を求めることで、粒子速度の発散を近似計算することができる。文献 [1] では、時刻 t と $t + \Delta t$ でのポロノイ体積を計算し、その差分値から粒子速度発散 $D(x_p) \approx \nabla \cdot v$ を算出する解析手法を提案した。また、文献 [2] では、ポロノイ解析の特性上生じる誤差を低減することのできる修正ポロノイ解析を提案した。図 3 に、一例として、2次元平面上にランダムに分散する点群に対する修正ポロノイ図を示す。粒子が比較的密集しているところでは修正ポロノイセルの体積が小さい一方、粒子が比較的疎なところではセルの体積が大きいことがわかる。なお、文献 [3] では、粒子速度発散 $D(x_p)$ を応用することで、粒子速度の回転 $\nabla \times v$ や速度勾配テンソルの各成分 $\partial v_i / \partial x_j$ も算出可能であることを示した。

このテセレーション解析手法を用いて、マルチスケールのクラスタリング形成機構の解析に取り組んだ。図 4 に、DNS によって得られた 10 億粒子の分布データに対してテセレーション解析を適用することで得られた粒子速度発散 $D(x_p)$ の 2次元スライス領域内の分布を示す。なお、レイノルズ数は $Re_\lambda = 204$ 、ストークス数は $St = 1.0$ である。粒子速度発散は負値がクラスタ形成を示す。図より、粒子によって粒子速度発散の大小が異なり、クラスタ形成の活発度が異なる様子を観察することができる。また、フーリエ解析に基づいて算出した粒子クラスタリングの生成スペクトルから、乱流中における粒子クラスタリング形成挙動には粒子数に依存しないマルチスケール構造があることも明らかにした。

また、本研究では、このテセレーション解析手法の応用として、粒子群の収束・発散をマルチスケールで評価する新規マルチレゾリューション解析手法の開発も進めた。開発したプロトタイプツールにより空間中の多数の粒子ごとの収束・発散等のデータに対して空間的・スケールの局所的な変動成分を抽出することが可能であることを示した(文献 [4])。

本研究の成果により、高レイノルズ数の雲乱流中での雲粒のクラスタリングのマルチスケール構造と雲水量変動スペクトルに及ぼす影響についての新たな知見が得られた。今後、開発した解析手法を用いることによる、マルチスケールのクラスタリング形成メカニズムの解明と、物理メカニズムの理解に基づいた雲水量変動スペクトルの関数モデルの構築が期待される。

参考文献

- Matsuda, K. et al., "Influence of Microscale Turbulent Droplet Clustering on Radar Cloud Observations," *J. Atmos. Sci.*, 71 (2013), pp. 3569-3582.
- Matsuda, K., Onishi, R. and Takahashi, K., "Influence of gravitational settling on turbulent droplet clustering and radar reflectivity factor," *Flow Turb. Combust.*, 98 (2017), pp. 327-340.
- Matsuda, K. and Onishi, R., "Turbulent enhancement of radar reflectivity factor for polydisperse cloud droplets," *Atmos. Chem. Phys.*, 19 (2019), pp. 1785-1799.
- Onishi, R., Matsuda, K. and Takahashi, K., "Lagrangian Tracking Simulation of Droplet Growth in Turbulence - Turbulence Enhancement of Autoconversion Rate," *J. Atmos. Sci.*, 72 (2015), pp. 2591-2607.
- Kunishima, Y. and Onishi, R., "Direct Lagrangian tracking simulation of droplet growth in vertically developing cloud," *Atmos. Chem. Phys.*, 18 (2018), pp. 16619-16630.
- Matsuda, K., Schneider, K. and Yoshimatsu, K., "Scale-dependent statistics of inertial particle distribution in high Reynolds number turbulence," *Phys. Rev. Fluids*, 6 (2021), 064304.
- Oujia, T., Matsuda, K. and Schneider, K., "Divergence and convergence of inertial particles in high-Reynolds-number turbulence," *J. Fluid Mech.*, 905 (2020), A14.

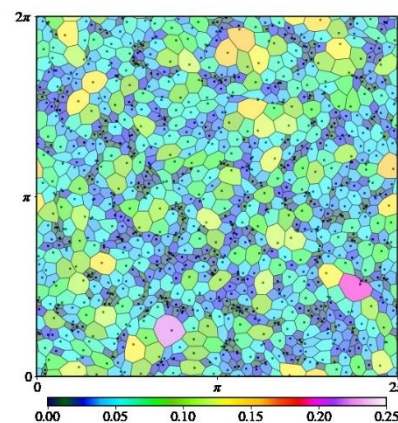


図 3 2次元平面上にランダム配置した点に対する修正ポロノイ図。色はポロノイ体積(セルの面積)を表す。

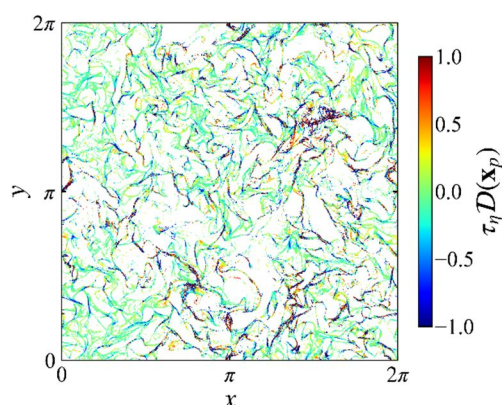


図 4 3次元乱流中の慣性粒子の粒子速度発散 $D(x_p)$ 。レイノルズ数は $Re_\lambda = 204$ 、ストークス数は $St = 1.0$ 。2次元スライス領域内の粒子ごとの発散をコルモゴロフ時間 τ_η で規格化し、カラーで表示した。

Maurel-Oujia, T., Matsuda, K. and Schneider, K., ``Computing differential operators of the particle velocity in moving particle clouds using tessellations," J. Comput. Phys., 498 (2024), 112658.

Matsuda, K., Yoshimatsu, K. and Schneider, K., ``Large-scale clustering of inertial particles in homogeneous isotropic turbulence," Proc. of 12th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP12), Osaka, 19-22 July, 2022.

Matsuda, K., Schneider, K., Oujia, T., West, J., Jain, S. S. and Maeda, K., ``Multiresolution analysis of inertial particle tessellations for clustering dynamics," Proceedings of the 2022 Summer Program, Center for Turbulence Research, Stanford University, pp. 143-152, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsuda Keigo, Schneider Kai, Yoshimatsu Katsunori	4. 巻 6
2. 論文標題 Scale-dependent statistics of inertial particle distribution in high Reynolds number turbulence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 A22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.6.064304	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 該当する
1. 著者名 Oujia Thibault, Matsuda Keigo, Schneider Kai	4. 巻 905
2. 論文標題 Divergence and convergence of inertial particles in high-Reynolds-number turbulence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.672	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 該当する
1. 著者名 Maurel-Oujia Thibault, Matsuda Keigo, Schneider Kai	4. 巻 498
2. 論文標題 Computing differential operators of the particle velocity in moving particle clouds using tessellations	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 112658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2023.112658	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 該当する
1. 著者名 West Jacob R., Maurel-Oujia Thibault, Matsuda Keigo, Schneider Kai, Jain Suhas S., Maeda Kazuki	4. 巻 174
2. 論文標題 Clustering, rotation, and swirl of inertial particles in turbulent channel flow	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 104764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2024.104764	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 該当する

[学会発表] 計17件(うち招待講演 0件/うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Keigo Matsuda, Kai Schneider, Thibault Uujia, Jacob R. West, Suhas S. Jain, Kazuki Maeda
2. 発表標題 Multiresolution analysis of inertial particle tessellations for clustering dynamics
3. 学会等名 Proceedings of the 2022 Summer Program, Center for Turbulence Research, Stanford University (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Thibault Uujia, Suhas S. Jain, Keigo Matsuda, Kai Schneider, Jacob R. West, Kazuki Maeda
2. 発表標題 Neural networks for synthesizing preferential concentration of particles in isotropic turbulence
3. 学会等名 Proceedings of the 2022 Summer Program, Center for Turbulence Research, Stanford University (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jacob R. West, Thibault Uujia, Keigo Matsuda, Kai Schneider, Suhas S. Jain, Kazuki Maeda
2. 発表標題 Divergence and curl of the inertial particle velocity in a four-way coupled turbulent channel flow
3. 学会等名 Proceedings of the 2022 Summer Program, Center for Turbulence Research, Stanford University (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Thibault Uujia, Keigo Matsuda, Kai Schneider
2. 発表標題 Extreme divergence and rotation values of the inertial particle velocity in high Reynolds number turbulence using Voronoi tessellation
3. 学会等名 12th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP12), (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Keigo Matsuda, Katsunori Yoshimatsu, Kai Schneider
2 . 発表標題 Large-scale clustering of inertial particles in homogeneous isotropic turbulence
3 . 学会等名 12th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP12), (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Thibault Uujia, Suhas S. Jain, Keigo Matsuda, Kai Schneider, Jacob R. West, Kazuki Maeda
2 . 発表標題 Physics-informed neural networks for synthesizing preferential concentration of particles in turbulent flows
3 . 学会等名 75th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kai Schneider, Thibault Uujia, Jacob R. West, Keigo Matsuda, Suhas S. Jain, Kazuki Maeda
2 . 発表標題 On divergence, curl, and helicity of the inertial particle velocity in a 4-way coupled channel flow
3 . 学会等名 75th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Keigo Matsuda, Thibault Uujia, Kai Schneider, Jacob R. West, Suhas S. Jain, Kazuki Maeda
2 . 発表標題 Scale-dependent divergence of inertial particle velocity in isotropic turbulence
3 . 学会等名 75th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Keigo Matsuda, Kai Schneider, Katsunori Yoshimatsu
2. 発表標題 Large-scale Clustering in Particle-Laden Homogeneous Isotropic Turbulence
3. 学会等名 18th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Thibault Oujia, Keigo Matsuda, Kai Schneider
2. 発表標題 Quantifying divergence and rotation of the inertial particle velocity in high Reynolds number turbulence using Voronoi and Delaunay tessellation
3. 学会等名 74th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田景吾, Kai Schneider, 芳松克則
2. 発表標題 高レイノルズ数乱流中での慣性粒子クラスタリングのマルチスケール構造
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keigo Matsuda, Kai Schneider, Katsunori Yoshimatsu
2. 発表標題 On large-scale clustering in particle laden turbulence
3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the American Physical Society (APS) Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Thibault Uujia, Keigo Matsuda, Kai Schneider
2. 発表標題 Analysis of divergence and rotation of the inertial particle velocity in high Reynolds number turbulence
3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the American Physical Society (APS) Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keigo Matsuda, Thibault Uujia, Kai Schneider
2. 発表標題 Clustering formation of inertial particles in homogeneous isotropic turbulence
3. 学会等名 11th International Conference on Multiphase Flow (ICMF 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Thibault Uujia, Jacob West, Keigo Matsuda, Kai Schneider, Suhas Jain, Kazuki Maeda
2. 発表標題 Divergence and rotation of inertial particles in a four-way coupled channel flow
3. 学会等名 11th International Conference on Multiphase Flow (ICMF 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keigo Matsuda, Thibault Maurel-Uujia, Kai Schneider
2. 発表標題 Clustering formation of inertial particles in high Reynolds number isotropic turbulence
3. 学会等名 18th European Turbulence Conference (ETC 18) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Thibault Maurel-Oujia, Suhas Jain, Keigo Matsuda, Kai Schneider, Jacob West and Kazuki Maeda
2. 発表標題 Synthesis of preferential concentration of particles in isotropic turbulence using neural networks
3. 学会等名 18th European Turbulence Conference (ETC 18) (国際学会)
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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0件

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
---------	---------