助成番号　210681	５－２

研 究 成 果 報 告 書

研究テーマ（和文）	COVID-19 飛沫感染予測に向けた空気中を漂う固体粒子の混相流シミュレーション		
研究テーマ（英文）	Particles/Air Multiphase Flow Simulations towards COVID-19 Infection Prediction		
研究期間	2021 年 ～ 2022 年	研究機関名　横浜国立大学	
研究代表者	氏名	（漢字）	北村　圭一
		（カタカナ）	キタムラ ケイイチ
		（英文）	KITAMURA, Keiichi
	所属機関・職名		横浜国立大学大学院工学研究院・准教授
共同研究者（１名をこえる場合は、別紙追加用紙へ）	氏名	（漢字）	
		（カタカナ）	
		（英文）	
	所属機関・職名		

概要　（600 字～800 字程度にまとめてください。）

本研究では、現在世界的に猛威を奮っている COVID-19 の飛沫の挙動を最先端技術でシミュレーションし、これを明らかにする事を目的とした。具体的には、本研究者らが考案し熟知した流体計算法『SLAU2』(Kitamura & Shima, J. Comput. Phys., 2013)の混相流拡張版(Kitamura ら, Comm. in Comput. Phys., 2014)を用いた気体（空気）・液体／固体（飛沫）混相流計算法を構築し、空気中を漂う飛沫（直径 5~10μm のエアロゾル）の 2m（ソーシャル・ディスタンス）範囲内の挙動を精度良く予測する。

流体（空気および飛沫）は圧縮性のナビエ・ストークス方程式で記述できるものとする。ただしこの式は解析的には解く事ができないため、有限体積法によって離散化し、計算機を用いて数値的に解く。この時、空気と飛沫の間に圧力平衡が成り立つと仮定する二流体モデル（Liou ら, AIAA J., 2008）で両者を同時に精度良く扱う。

本助成期間においては、流体の重力および従来取り扱わなかった粘性（流体の粘度）を考慮し、それらの効果を種々のベンチマークテストで検証する事から始めた。その結果、平板間流れ、平板境界層、蛇口からの水流問題、ダム崩壊問題などで良好な結果を得る事ができた（特に、従来法で見られた数値振動を回避できた）。そこで次に、Bourouiba ら(J. Fluid Mech., 2014)が行なった「人が咳（せき）によって発した水滴および空気の挙動」をターゲットとした。結果、ここでも良好な数値解を得る事ができ、とりわけ特徴的な「乱流雲」と呼ばれる上向き流れの再現に成功した。これらの成果を国際会議 The 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, ICJWSF-2022 にて既に発表済みであり、内容を更に充実させた形で査読付き論文雑誌 Journal of Fluid Science and Technology にまとめた。

発表文献　（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）						
雑誌	論文課題	Development and Validation of Parameter-Free, Two-Fluid, Viscous Compressible Multiphase Flow Solver for Cough-Droplet Simulations				
	著者名	J. Aono, **K. Kitamura**	雑誌名	Journal of Fluid Science and Technology		
	ページ	（掲載決定）	発行年	2　0　2　3	巻号	-
雑誌	論文課題					
	著者名		雑誌名			
	ページ	～	発行年		巻号	
雑誌	論文課題					
	著者名		雑誌名			
	ページ	～	発行年		巻号	
図書	書名					
	著者名					
	出版社		発行年		総ﾍﾟｰｼﾞ	
図書	書名					
	著者名					
	出版社		発行年		総ﾍﾟｰｼﾞ	

英文抄録　（100 語～200 語程度にまとめてください。）

Multiphase flows arise in various fields that involve complicated phenomena. Studies have shown that COVID-19 can occur via air microdroplets, and breathing jets with microdroplets turn into turbulent clouds or puffs in cases of coughing and sneezing (Bourouiba et al., 2014). Microdroplets are upturned by buoyancy in the turbulent clouds and transported without falling. Furthermore, they float in air for hours and can be transported over long distances (Mittal et al., 2020). This scenario also involves a mixed phase flow of air and droplets. To simulate these phenomena, a numerical model assuming mechanical and thermal non-equilibrium multiphase flow is required to predict the range of turbulent cloud transport. In this study, to better simulate the turbulent cloud trajectories, a viscosity term is added to a two-phase flow six-equation model (two-fluid modeling or effective-fluid modeling, EFM) developed by Liou et al. (2008). It is a development of a parameter-free, viscous multiphase flow code, based on a single-phase compressible finite-volume solver (Kitamura et al., 2013). This solver is validated in the Poiseuille flow and laminar-flat-plate problem with an isothermal wall through a comparison with the analytical solution. A detailed simulation of coughing is performed. The location of the turbulent cloud upturned by buoyancy is compared with the data of past studies.