

令和2年度共同利用研究報告書

2021年03月31日

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所長 殿

所属・職名 愛媛大学大学院理工学研究科・准教授

松浦一雄

下記の通り共同研究の報告をいたします。

記

		整理番号	20200022	
1. 研究計画題目	層流—乱流遷移における動的渦群の普遍性発見理論の開発			
2. 新規・継続	継続			
3. 種別	一般研究			
4. 種目	短期研究員			
5. 研究代表者	氏名	松浦一雄		
	所属 部局名	愛媛大学大学院理工学研究科	職名	准教授
6. 研究実施期間	2021年01月15日(金曜日)～2021年01月22日(金曜日)			
7. キーワード	流体力学, 渦, 機械学習, 層流—乱流遷移, 圧縮性Navier-Stokes方程式, 直接計算			
8. 参加者人数	2人			

9. 本研究で得られた成果の概要

流れが物体近くを通過する際に形成される境界層における層流—乱流遷移の非線形力学挙動の正確な予測と解明は、ガスタービン、航空機、パイプラインなど様々な産業上の場面で効率、機体安定性、騒音や振動に関連して問題となる。しかしながら、乱流(遷移過程)は自由度が大きく非常に複雑であり、力学挙動を手作業で予測・解明するのは困難である。そこで本研究では、乱流(遷移)内にある体積的渦領域を追跡し、その力学機構を機械的に分析できる新たな階層的渦クラスタリング法を提案した。ある方向に垂直な断面列を用いて、瞬時流れ場から体積領域に属する点群を抽出し、隣り合った断面間でグループ化する。グループ化を繰り返すことにより、断面内の点はその方向に積層される。抽出された点の各グループは、pクラスタと呼ばれる個々のエンティティとして分類・識別される。ここで接頭辞pは、proto, sub, super, hyperと、クラスタリングのレベルに応じて、置き換えられる。pクラスタの空間分布と時間発展が可視化され、自動的に追跡される。開発した手法を、境界層のK型自然遷移の後期過程に適用した。本手法により、粘性低層にあるヘアピン渦の根元近くにある渦構造のペアを捉え、詳細に分析することが可能となった。さらに、エンストロフィ方程式とヘリシティ方程式の主要な数式項をアルゴリズム的に評価し、主要項の集合によって特徴付けられる局所的力学に基づいて、抽出された点群を分類した。これにより、異なる渦構造間で共通した力学機構を探索することが可能になった。

下記において成果発表を行った。

1. K. Matsuura, Y. Fukumoto, "Hierarchical Clustering of Vortical Regions in the Late-Stage of Laminar-Turbulent Transition," pp. 1-26 (2021) (submitted)
2. K. Matsuura, Y. Fukumoto, "Pedestrian stream flow analysis to detect people conglomerates and disperse states for COVID-19 prevention measures in crowded spaces," 1st Virtual International Study Group on Mathematical Solutions to Industrial and Social Problems, 6th, Dec., 2020.

本研究は昨年度からの継続課題であり、昨年度から開発すべき解析手法が明確に定まり、実現することに成功した。

付録. 賑わいと混雑回避に関する研究

1. 成果概要

Dr. F. Franco-Medrano (Assistant Prof., University of Baja California, 2016.9 九州大学数理学府学位取得) が、自らの研究費を使って、2020年12月6日~13日の一週間の日程で、オンラインの Study Group を開催した。九大 IMI&東大で長年実施してきたやり方になって実施した。松浦一雄（愛媛大・准教授）と福本康秀（九州大・教授）が問題提供者として参加した。川端商店街の人流を「エージェントモデルでシミュレーション」する方法、「賑わいと混雑の区別」、コロナ時代における「混雑の回避」の方法を問題として提供した。北米の研究者ともオンラインでやりとりしながら、エージェントモデルを構築した。

2. Study Group の概要と成果

1st Virtual International Study Group on Mathematical Solutions to Industrial and Social Problems（第1回産業・社会問題の数理的解決に関するオンライン国際研究会）というタイトルのもと開催された（図1）。参加者は、University of Baja California（以下、UABC と略記）の教員や学生、九州大、愛媛大や東京工業大の教員、産総研や米国ロスアラモス研の研究者、KUMIAY International Co.や Jellysmack Co.の企業研究者などであり、総勢54名である。

まず、12月6日（以下、日本時間）に第1回全体会合が開かれ、下記3件の講演および問題提起がなされた（図2）。

講演1：Pedestrian stream flow analysis to detect people conglomerates and disperse states for COVID-19 prevention measures in crowded spaces (愛媛大・松浦一雄，九州大・福本康秀)

講演2：How much can we extrapolate the standard deviation to calculate the distribution of the Sum-of-Digits (SOD)? (Carlos Segura氏, KUMIAY International Co.)

講演3：Mathematical model for the planning table of an execution sequence and task control (Eleazar Jimenez氏, KUMIAY International Co.)

特に講演1では、売上高と人の多さに関するクラスタリングに基づく「賑わいと混雑の区別」、消費者心理に関する「欲求モデル」を組み込んだエージェントシミュレーションに基づく「賑わい」の創出と人流の制御、およびコロナ時代における「混雑の回避」について提案した。

その後、上記3講演に対応して参加者は各小グループに分かれ、各グループ内で問題点の確認と議論がなされた。特に、Study Group 期間中、我々の講演1に関するグループには15名が参加し、問題の解決に向けた取り組みがなされた。開催期間中、米国ロスアラモス研 Theoretical Biology and Biophysics 部門の博士研究員である Imelda Trejo 博士が UABC 学生の研究活動をメンタリングする体制がとられグループ活動が活性化された。人流の可視化計測、商店街における人流ダイナミクスを予測する方程式モデリングやそれに関連した機械学習など、様々な因子を考慮したエージェントモデルを構築することができた。

12月13日に第2回（最終）全体会合が開かれ、学部生の Oscar Valdes 氏より、消費行動に関するオープン統計データを利用した、商店街組合の売上総額を推測する確率論的モデルおよび python プログラムの構築など、研究成果が発表された。このように、若手研究者の育成という観点からも成果が得られた、Study Group での問題提供となった。

3. 成果発表

1. K. Matsuura, Y. Fukumoto, “Pedestrian stream flow analysis to detect people conglomerates and disperse states for COVID-19 prevention measures in crowded spaces,” *1st Virtual International Study Group on Mathematical Solutions to Industrial and Social Problems*, 6th, Dec., 2020.



Baja California (PST)	Japan (JST)	Europe (CET)
Saturday December 5th 2020 15:00-18:00	Sunday December 6th 2020 08:00-11:00	Sunday December 6th 2020 00:00-03:00
Saturday December 12th 2020 15:00-18:00	Sunday December 13th 2020 08:00-11:00	Sunday December 13th 2020 00:00-03:00

Do you wish to challenge your mathematical or computational skills by solving a problem for industry or society? Apply now and get benefits!

Host Institution: Faculty of Science, Autonomous University of Baja California (UABC-Ensenada)

UABC Students may qualify for 3 credit value upon participation in all the event

Please register in advance for attending the Zoom meeting for this event:
<https://zoom.us/join/zoom/register/t-J0vd-qvrzkuGdSsiddMmrMsSKaO08pSc60s>
 And get the chance to become a scientific consultant!

日本の大学生・大学院生・研究者は大歓迎!!

Details for participants: www.kumiay.com/uabc/study-group-participant.pdf

Details for problem hosts: www.kumiay.com/uabc/study-group-problem-host.pdf

Live broadcast of presentations: <https://www.facebook.com/milabuabc>



図 1. 本 Study Group の Web page

関連 Web URL:

https://www.facebook.com/events/1146685609084632/?acontext=%7B%22ref_newsfeed_story_type%22%3A%22regular%22%2C%22source%22%3A%223%22%2C%22feed_story_type%22%3A%22117%22%2C%22action_history%22%3A%22null%22%7D&privacy_mutation_token=eyJ0eXBIIjowLCJmVhdGlvb190aW11IjoxNjEwOTg5OTMwLCJjYXxsc2I0ZV9pZCI6MzU5MDM2MDAxOTY4NDMyfQ%3D%3D (最終閲覧日: 2021年3月31日)

Program

Baja California (PST)	Japan (JST)	Activity (PST)
Saturday December 5th 15:00 – 18:00	Sunday December 6th 8:00 – 11:00	15:00 – 15:15 Welcome words 15:15 – 16:45 Problems introductory presentations 16:45 – 16:50 Division in study groups 16:50 – 18:00 Work in study groups
Saturday December 12th 15:00 – 18:00	Sunday December 13th 8:00 – 11:00	15:00 – 16:30 Preparation of the final presentations 16:30 -17:45 Presentation of results by the students and feedback by problem hosts 17:45 – 18:00 Concluding remarks

図 2. Study Group のプログラム



図 3. Study Group の様子