

柴田 良弘

早稲田大学理工学術院
教授

現代数学解析による流体力学の未解決問題への挑戦

§1. 研究実施体制

(1)「理論研究」グループ

- ① 研究代表者: 柴田 良弘 (早稲田大学理工学術院基幹理工学部数学科、教授)
- ② 研究項目
 - ・擬微分作用素を用いた解の表示に基づく非平行流れの安定性解析手法の検討
 - ・有限要素法、境界要素法による物体後流の安定性評価手法の検討
 - ・キャビテーション現象のモデル化と数値解析手法の検討

(2)「混相流研究」グループ

- ① 主たる共同研究者: 吉村 浩明 (早稲田大学理工学術院基幹理工学部機機械科学・航空学科、教授)
- ② 研究項目
 - ・気泡に関する確率微分方程式モデルの検証
 - ・マクロな気泡雲モデルの解析と新たな数学モデルの提案

(3)「流れの安定性実験研究」グループ

- ① 主たる共同研究者: 高木 正平 (室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター、教授)
- ② 研究項目
 - ・物体近傍の非定常流体现象に着目した風洞実験の実施の実験
 - ・物体近傍流れの人工制御手法の検討

(4)「流れの大域構造研究」グループ

- ① 主たる共同研究者: 飯間 信 (広島大学大学院理学研究科、准教授)

② 研究項目

- ・対流系における流れの大域構造メカニズムの解明
- ・回転流体の自由表面変形に関する流れの大域的な層流・乱流遷移メカニズムの探求
- ・流れの大域構造を記述する離散力学系の構築の手法の開発

§2. 研究実施の概要

本研究では数学者と工学者との協働で流体力学の未解決問題に対して厳密な定式化と解の挙動の解析手法を開発し、それを社会的に重要な課題に適用し実験により検証することによってその有効性を実証することを目標とする。なお、本研究には大きく分けて

- ・物体後流の安定性メカニズムの解明と空力騒音への応用
- ・混相流現象のメソスコピックおよびマクロスコピックな観点からの現象解明
- ・流れの大域構造の解明

の三つのテーマがある。これらのテーマについて、以下順に報告する。

物体後流の安定性に関しては、実験的に確認されている二つのタイプの不安定性を数学的に解明することが目標である。その一つのタイプは不安定性から生じる波動が外乱に影響される場合で、流れがノイズ増幅器として働くタイプ、もう一つはその波動が外乱に影響されない固有の振動数をもつ場合で、流れが振動装置として働くタイプである。今年度は、数学の理論的研究を引続き推し進めるとともに、昨年度より着手した気象学の分野で用いられている波活動度および波活動度フラックスなどの概念を導入した解析と有限要素法による数値解析による検討を行い、臨界値を超える場合には波活動度フラックスが円柱中心に向かうという結果を見出した。また実験研究に関しては、物体後流における渦列形成に絶対不安定が関与していることが指摘されているが、後流のどの位置で発生しているかを明確に示した研究はない。実験研究の課題はこの絶対不安定点の位置を観測から特定することと、物体と渦列との干渉から音波が放射されることから、この音波受容過程を明確にし音波を抑制する技術を提案することである。前者に対しては対流不安定が絶対不安定にモードが切り替わる臨界点近傍までレイノルズ数を下げた実験を行い絶対不安定点の特定に成功した。また音波を抑制する技術提案の基本的なアイデアとして翼後流渦列と針金後流の渦列干渉を提案し翼後流の渦列形成の抑制に成功した。今後はその抑制機構解明を進める計画である。

混相流に関しては、キャビテーション現象を数学的に解明することが目標であり、今年度は混相流現象の根本を解明するための数学理論の構築に向けた研究を引続き行うとともに、単一球形気泡の運動を支配する Rayleigh-Plesset 方程式について数学的な性質を明らかにした。また気泡から放出される圧力波を評価する方程式を導出し、今後のキャビテーション気泡群のモデル化に向けた足掛かりを得た。

流れの大域構造に関しては、関連する現象を理論および実験的観点から解析することで、流れの大域構造の形成・維持メカニズムを明らかにすることが目標である。今年度は、ミドリムシ懸濁液の生物対流における大域構造を実験的に調べ、前年度までに得られた2種混合流体の熱対流における複数の局在解の特性と比較した。濃度を変えて実験を行い、臨界濃度近傍での局在構造を得た。その構造は大きく2種類に分かれ、しかもそれらは2種混合流体の熱対流で局在解として報告されている convecton 及び localized traveling wave に類似していることを明らかにした。また現象データから直接に数理モデルを構築する手法として離散力学系であるセル・オートマトンを採用し、構築手法の研究・開発を行った。さらには、自由界面を有する回転流れにおいて回転円盤端部で発生する乱れとその輸送について検証した、

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国際)

1. Yoshihiro Shibata, “Generalized Resolvent estimates of the Stokes Equations with first Order Boundary Condition in a General domain”, *J. Math. Fluid Mech.* 15 (2013), 1-40.
2. Yuko Enomoto and Yoshihiro Shibata, “On the R-sectoriality and the initial boundary value problem for the viscous compressible fluid flow”, *Funkcialaj Ekvacioj* 56 (2013), 441-505.
3. Yuko Enomoto, Lorenz von Below and Yoshihiro Shibata, “On some free boundary problem for a compressible barotropic viscous fluid flow.”, *Annali dell’Universita di Ferrara*, DOI:10.1007/s11565-013-0194-8
4. Yoshihiro Shibata, “On the R-boundedness of solution operators for the Stokes equations with free boundary condition”, *Differential and Integral Equations* 27 (2014), 201-399.
5. T. Funaki, M. Ohnawa, Y. Suzuki, S. Yokoyama, “Existence and Uniqueness of solutions to Stochastic Rayleigh-Plesset equation”, submitted.
6. Takagi, S., Yamaya, N. and N. Itoh: Frequency control of unstable disturbances in two-dimensional jet by artificial acoustic loop, *Transactions of Japan Society of Aeronautical and Space Sciences*. Vol.57, No.4, 2014.
7. Erika Shoji, Hiraku Nishimori, Akinori Awazu, Shunsuke Izumi, Makoto Iima"Localized Bioconvection Patterns and Their Initial State Dependency in *Euglena gracilis* Suspensions in an Annular Container", *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol.83, 043001
8. Hiroaki Yoshimura, A graph-theoretic approach to sparse matrix inversion for implicit differential algebraic equations, *Mech. Sci.*, 4, 243–250, 2013.
9. Henry Jacobs and Hiroaki Yoshimura, Tensor Products of Dirac Structures and Interconnection in Lagrangian Mechanics, *Journal of Geometric Mechanics*. pages 33, 2013.(accepted for publication)
10. Akane Kawaharada and Makoto Iima, “Constructing cellular automaton models from observation data”, *Proceedings of First International Symposium on Computing and Networking 2013*, 559–562, 2013.
11. Hiroaki Yoshimura (joint work with Fernando Jimenez), Dirac Structures in Vakonomic Mechanics, IRES Meeting on Differential Geometry and Mechanics, Ghent University, January 16, 2013.
12. Hiroaki Yoshimura and Francois Gay-Balmaz, The Hamilton-Pontryagin Principle

and Lie-Dirac Reduction with Advective Parameters, SIAM Conference on Dynamical Systems. Snowbird, May 18-24,2013.