特定助教 蛭田佳樹 (流体力学)

「ながれ」に関わる現象や付随する数理的問題の理解を目指している。特に、生物の運動に動機づけられた流体と物体の連成問題や、乱流と呼ばれる時空間的に複雑な現象の発生問題、を Navier-Stokes 方程式などの流体方程式系と関連づけて理解することに興味がある。これらの対象に対し、数理解析の他、モデル化や数値解析の手法で取り組んでいる。

- 微小物体に対する運動の対称性とその破れ

流体中の微小物体は、慣性質量が小さいこと及び取り巻く流体運動の線型性・対称性から、運動に対し非常に強い力学的拘束を持つことが知られている。このため、微生物は自らの体の一部 (典型的には鞭毛や繊毛) の変形を利用した特徴ある遊泳を行う。最近の研究で、微小物体の位置の不確定性や熱ゆらぎなどのランダムネスが存在する場合、微小物体の力学的拘束は期待値レベルで破れても良いことが明らかになってきている。この力学的拘束の破れは、遊泳に目的地が存在するなど空間の並進対象性が破れる状況で重要になる。現在、対称性破れの定量的見積もりを与える方法を議論しており、グリーン関数を利用した手で解ける具体的な模型を提案している。

- 層流・乱流の双安定性の普遍性

運動の定性的特徴を理解するために安定性は重要な役割を果たす。典型的な流体運動では、レイノルズ数 (駆動力の大きさ) を大きくするとともに、層流と呼ばれる時間定常的な運動形態から乱流と呼ばれる時間的空間的に非常に複雑な運動形態へと遷移する。例えば、パイプ流れの遷移の過程では、層流状態と乱流状態が双方とも安定であり、どちらが実現するかは初期状態に依存する。このような事情を Navier-Stokes 方程式に基づき理解するため、単純な流体系の数理解析やモデリングを通して解析を行っている。その結果、レイノルズ数が無限に大きい状況でも層流状態が安定になるクラスは、必ずしも狭くはないことが明らかになってきており [1, 2]、その条件についていくつかの解析的結果を得た。関連して、乱流運動のアトラクターが、既知の解析的不等式の評価よりも圧倒的に小さなフラクタル次元を持つ場合についても興味がある。

- 二次元周期境界流れにおける局在乱流

Navier-Stokes 方程式の解の性質は、通常境界条件や空間次元に強く依存し、物理現象を流体方程式を通して理解するためには、多くの場合壁面で速度が無いとした境界条件の基で空間三次元の流体系を考慮する必要がある。このような流体系は数値解析において、現実を非常によく模擬することが可能であるが、代わりに Navier-Stokes 方程式の解としての性質は、理論的・数値的双方の意味で解析しづらくなっている。

例として、乱れが空間的に局在した局在乱流と呼ばれる現象が実験的に観察されるが、このような興味深い現象は、壁境界がある場合に典型的に観測されることが知られていた。二次元周期境界領域における Navier-Stokes 方程式の定常外力で駆動するバリエーションを数値計算したところ、局在乱流のような比較的複雑な現象も実現できることが明らかになった [3, 4]。これは境界条件や空間次元によらない理解の可能性を示唆している。数理解析と現実の流体運動の間を埋める方法にも興味がある。

[1] Y.Hiruta & S.Toh, A Simple Thermal Convection System Showing Subcritical Transition and Localized Turbulences in Two-Dimensional Periodic Domains, J. Phys. Soc. Japan, 91,1 (2022)

[2] Y.Hiruta & S.Toh, Subcritical Laminar-Turbulent Transition as Nonequilibrium Phase Transition in Two-Dimensional Kolmogorov Flow, J. Phys. Soc. Japan, 89, 044402 (2020)

[3] Y.Hiruta & S.Toh, Intermittent direction reversals of moving spatially localized turbulence observed in two-dimensional Kolmogorov flow, Phys. Rev. E,96, 063112 (2017)

[4] Y.Hiruta & S.Toh, Solitary solutions including spatially localized chaos and their interactions in two-dimensional Kolmogorov flow, Phys. Rev. E, 92, 063025 (2015)