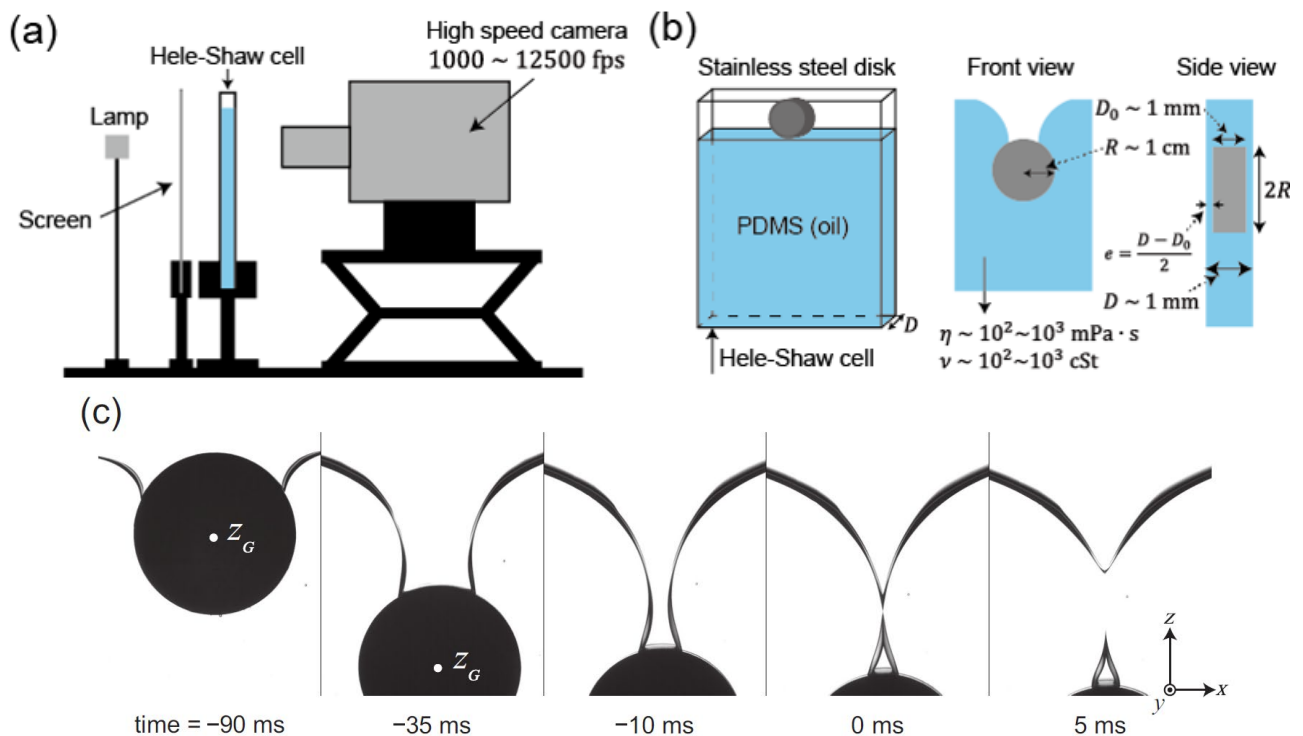


閉じ込められた流体界面の引きちぎれ：特異動力学と臨界現象のアナロジー

お茶の水女子大学物理学教室 奥村 剛, 伊井 祥子, 吉野 郁美

流体界面の特異形状は、滴の形成などの身近な現象にも現れ、その解明は物理学者のみならず数学者らの関心を集めてきた。コーティングやスプレーなどの応用にも重要であるため、基礎から工学的応用に至るまで幅広い研究がおこなわれてきている[1]。

本実験で着目する液体界面は、ヘレショウセルとも呼ばれる大きさに比べて厚みの薄い擬二次元的なセルを粘性液体で満たし、その内部に円板を落下させることで作り出す。円板の落下に伴って液体内に空気が引きずり込まれ、ある点でちぎれて元の水平な界面に戻っていく。本講演では、主に、円板が落下していく際に、液体内に引き込まれた空気が引きちぎれるまでの「前半領域」について議論し[2]、「後半領域」の場合[3]との比較も行う。



図：Hana Nakazato, Yuki Yamagishi & Okumura, Phys. Rev. Fluids 2018 より転載 (CC BY 4.0)。

前半領域については、これまでに、特徴的長さに関する明確なスケーリング則と界面形状の自己相似動力学が明らかにされてきた[4]。本講演では、自己相似動力学と熱力学的相転移における臨界現象で議論されてきたスケーリング仮説の対応関係から、界面動力学における臨界指数に対応する指数を明らかにし、実験で観測された自己相似動力学をナビエ-ストークス (NS) 方程式から導く。さらに、偏微分方程式に対して応用数学の分野で開発されてきた繰り込み群 (RG) 理論[5]と Dynamical System Description (DSD)の枠組みで議論さ

れてきた安定性の議論 [6]を組み合わせ、NS 方程式の解が、この場合の RG 変換の安定な固定点となっていることも示す。RG 解析からは、NS 方程式を含む無数の異なる偏微分方程式がなすクラス（ユニバーサリティクラス）が臨界点近傍で同一の解析解に漸近することも示す。また、臨界指数が閉じ込めのパラメータに対応する連続変数に依存しているため、不可算無限個のユニバーサリティクラスが存在していることも明らかにする。さらに、これらの議論を「後半領域」の場合と比較する。

[1] P. Doshi et al., *Science*, (2003) ; X. D. Shi et al., *Science*, (1994) ; I. Cohen et al., *Science* (2001) ; Maria Yokota & KO, *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)*, 108 (2011).

[2] Shoko Ii & KO, <https://arxiv.org/abs/2405.03006> (under review, *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)*).

[3] Ikumi Yoshiho & KO, <https://arxiv.org/abs/2408.01793>.

[4] Hana Nakazato, Yuki Yamagishi & KO, *Phys. Rev. Fluids* (2018); Hana Nakazato & KO, *Phys. Rev. Research* (2022).

[5] Bricmont, Kupiainen, *Commun. Pure Appl. Math.* (1994); Iguchi, Hosoya, Koike, *Phys. Rev. D* (1998).

[6] Eggers & Fontelos, *Singularities* (Cambridge Univ. Press, 2015); Giga & Kohn, *Commun. Pure Appl. Math.* (1985).