

流体界面のトポロジー転移における自己相似動力学

(お茶の水女子大学) 奥村 剛

【はじめに】

流体界面のトポロジー転移現象はいたって身近な現象である。誰しも、はちみつをスプーンですくって、はちみつが糸上にのびて、滴（しずく）が生成するのを見たことがあるだろう。さらに、その滴が、はちみつの液槽に落ちると、液槽と合一することも容易に想像できよう。このように、液体の塊は、ごく日常的に、分離や融合という形でトポロジー転移を示す。これらの転移点では、界面の形状が特異的になり、表面張力に起因するラプラス圧が発散する。これに伴い、界面の形状の動力学が自己相似的になることが知られている。現在までに、軸対称性を持つ事例がよく研究されてきており、軸方向と動径方向のそれぞれに、時間に依存した特徴的長さが現れ、それぞれの各時刻での特徴的スケールで、各時刻の界面形状を規格化すると、一つのマスターカーブに乗るといふ例がいくつも知られている。このユニバーサルな形状関数は、臨界現象とのアナロジーで言えば、スケーリング関数に相当する。このような普遍的形状の出現は、分離や融合の動力学が、転移点近傍では、初期条件の違いによらずに、普遍的になることを意味する。このように、流体界面のトポロジー転移現象は、臨界現象との強い類似性があるにもかかわらず、これまでの殆どの例は、軸対称性を持った3次元の例に限られており、次元性や対称性に関する探索が十分に行われてこなかった。

【結果と考察】

本研究では、擬2次元状況での実験を行うことにより、軸対称性を持たないトポロジー転移現象を、実験的に、はじめて発見した。具体的には、粘性液体に囲まれた気体のシートがちぎれる状況を実験的に作り出すことに成功した。この現象は、シートが引っ張られる方向とシートの厚み方向からなる純2次元問題として捉えることができる。驚くべきことに、この場合には、分離が起こるトポロジー転移点近傍において、特徴的な長さスケールが一つしか存在せず、しかも、そのスケールは、転移点を原点とする時刻に単純に比例することが、実験的に明確に示された。さらに、この長さスケールを用いて、転移点近傍の界面形状を規格化すると普遍的な形状関数が現れ、すなわち、動力学は自己相似であることも明確に示された。この実験事実は、ナビエストークス方程式と流量保存の式から、理論的に説明が可能で、実験事実にサポートされたスケーリング仮説を用いると、確かに特徴的スケールが唯一になり、それが実験で示されたように時刻に比例することがわかった。さらに、速度場と形状関数に対するスケーリング関数は、摂動論的に可解なこと（任意の次数まで解析的に解ける）が分かった。このような理論構造は、これまでの軸対称性を持った場合と比べ驚くほどシンプルであり、これまでに、理論的に解明だった流体界面のトポロジー転移現象を解明する糸口となることも期待される。

なお、本研究は、下記の共同研究（1）に基づく。

【参考文献】

- (1) Hana Nakazato, Yuki Yamagishi, and Ko Okumura, Phys. Rev. Fluids 3, 054004 (2018)