



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Local-heterogeneous responses and transient dynamics in colloidal fluids [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Nag, Preetom
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(生命科学)
Dissertation Number	甲第11611号
Issue Date	2014-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57753
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Preetom_Nag_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（生命科学）氏 名 Preetom Nag(プリートン ナグ)

審査担当者	主査	教 授	小松崎 民樹
	副査	教 授	芳賀 永
	副査	特任教授	佐々木 直樹
	副査	助 教	寺本 央
	副査	准教授	李 振風（理学院）

学 位 論 文 題 名

Local-heterogeneous responses and transient dynamics in colloidal fluids

(コロイド流体における局所的な不均一応答と動態)

博士学位論文審査等の結果について（報告）

微視的な粒子がある溶媒中に分散して浮かんでいる物質をコロイド流体と呼ぶ。コロイド流体は自然界においても様々なところで見られる。例えば、本博士論文で対象として扱う水媒質中のシリカ粒子のようなものから、水を溶媒とし、タンパク質、アミノ酸、脂肪酸等を分散質とする複雑な細胞質基質にいたるまで、実に多様な対象がコロイド流体の定義に含まれる。近年、細胞質基質中でタンパク質などの大きな分子が基質全体の体積の30%を占め、実験室環境下よりもかなり混雑した状況にあるということが指摘されており、その混雑が化学平衡、拡散定数等に与える影響が議論されるようになってきているが、このような混雑状況を実験室環境下で作りに出すことは難しく今後の発展が待たれている状況にある[1]。対象とする物質によりその間の相互作用も多様であるから、そのような混雑したコロイド流体の応答、動力学の普遍的な側面を切り出すことができるかどうかは自明ではないが、そのような普遍的な側面があるとすれば本博士論文で対象とするコロイド流体にもその普遍的な側面は現れるはずである。

本博士論文は、そのような観点から、コロイド流体として比較的高密度でも実験可能な水溶媒中のシリカ粒子を例にとり、先のような混雑環境下におけるコロイド流体の力学摂動に対する応答とそれに伴う過渡的な動力学を調べることを目的としたものである。本研究結果がより広いクラスのコロイド流体の理解にどのように資するのかは、現在も研究がつづけられている状況であり明らかではないが、本博士論文で開発した手法は他のコロイド流体にも広く適用することが可能であるものである。

混雑環境下にあるコロイド流体の摂動に対する応答とその動力学に関しては古くから研究がなされているが、それらの多くが統計物理的な興味に端を発しており、マクロなコロイド流体に空間均一で定常な摂動を加えたときのコロイド流体の時間平均的な応答の研究が主なものであった。しかしながら、細胞という限られた空間における細胞基質への局所的な摂動に対する応答とそれによって引き起こされる過渡的な動力学を理解するためにはそれだけでは十分ではないものと容易に推察される。したがって、本博士論文では共同研究者のシカゴ大学 Norbert Scherer 教授らにより提供されたコロイド流体に局所的な摂動が与えられたときのコロイド流体中の粒子の経時変化のデータ[2]を解析することで、コロイド流体が局所的な摂動に対して、どのように応答するのかを研究した。使える情報は提供されているのがコロイド粒子の経時変化のみという条件の下、どのようなデー

タ解析が可能であるかという問いはあらゆるデータ解析に通じる普遍的な問いである。また、粒子間にどのような力が働き、その力を通して局所的な摂動がどのように伝搬していくのかをデータからどのように読み取り得るか、そのための基礎的な解析基盤は開拓されていなかった。

本博士論文では、その力が空間の各点の近傍の微小体積の変形の大きさに関連することに着目し、そのひずみが大きくなる部分を有限時間リヤプノフ指数と呼ばれる量を用いて同定した。この有限時間リヤプノフ指数は、元来、力学系理論の概念であるが、その概念をコロイド粒子のひずみの伝搬を調べるために利用できることを見出したのは本研究が初めてである。また、そのようなひずみの大きさと、コロイド粒子の局所的なパッキングの構造が摂動により壊され再構築されるといった動力学が、有意な正の相関を持つということも本博士論文により見出されており、有限時間リヤプノフ指数が、コロイド粒子間のひずみの伝搬、および、それによる局所的なパッキングの構造の崩壊、生成を調べるうえで有用な概念であることが実証された。コロイド粒子の位置の経時変化とともに力も同時計測することができれば、Shear thinning, Shear thickening 等のコロイド流体のレオロジー特性の理解にも資すると期待されている。

以上のようなひずみが大きくなる部分は、有限時間リヤプノフ指数の尾根線としてあらわれるが、面白いのはそのひずみが大きくなる部分が、実はコロイド粒子が横切ることができない分断面にもなっていることである。この経験事実が力学系理論の文脈では Sadden ら[3]によってすでに見出されていたが(後に Haller ら[4]によって証明には不備があることが指摘されている。)、コロイド流体の輸送においてもこのことが成り立つことを示したのは、この研究が初めてである。このような分断面はコロイド流体のどの部分とどの部分が混ざり合えないのかという輸送、攪拌に関するコロイド流体の動力学に重要な知見を与えるものであり、今後、コロイド流体の研究への応用が期待されている。合わせてこの有限時間リヤプノフ指数による細胞集団の集団運動の解析も現在進行中である。

著者はコロイド流体が局所的な摂動に対してどのように応答するかについての新知見を得たものであり、本研究の水媒質中のシリカ粒子のみならず、一般のコロイド流体の理解、細胞集団の集団運動の理解に対しても貢献するところ大なるものがある。例えば、野生型、変異型による表現型(運動)の違い、あるいは忌避物質による運動能変化を系統的に定量化することが可能となる。

よって著者は、北海道大学博士生命科学の学位を授与される資格があるものと判断される。

[1] R. J. Ellis, *Trends Biochem. Sci.* 26, 597, 2001.

[2] J. Pesic, Xinliang et al., *Phys. Rev. E*, 86(031403), (2012).

[3] S. C. Shadden et al., *Physica D*, 212, 271 2005.

[4] G. Haller, *Physica D*, 240, 574, 2011.